

INFORME

Estado de funcionamiento y de conservación de los bosques nativos ante los cambios de uso de la tierra por urbanizaciones en la Cuenca de Chavacaste

Autores: Alicia H. Barchuk, A. Horacio Britos y Emmanuel de la Mata

SÍNTESIS DE PRINCIPALES DE LOS HALLAZGOS DEL INFORME

Existe un marcado deterioro de las posibilidades de recarga de los acuíferos en la zona debido al cambio de uso del suelo por crecimiento urbano y las nuevas áreas agrícolas ganaderas. Estos cambios afectan a la cobertura boscosa provocando el deterioro, la disminución de la masa forestal y la fragmentación. El fuego tiene también un efecto relevante en la cuenca.

La subcuenca alta de Chavacaste, por sus características de cobertura y morfología posee menor capacidad de recarga hídrica (55%) que la subcuenca baja más llana (69%). ambas zonas son estratégicas para el mantenimiento de los recursos hídricos aguas abajo. Se observa una degradación permanente de la vegetación activa en la cuenca Alta y Media de Chavacaste que afecta gravemente a unas 5796 hectáreas (55% del área).

La deforestación de toda la cuenca alcanza una tasa anual del 0,5%, mientras que el incremento de uso urbano-agrícola, un 2% anual (valor altamente significativo).

El crecimiento urbano está asociado espacialmente a la disponibilidad de agua subsuperficial. El acceso de la población al agua puede comprometerse severamente si no se restringe la deforestación y la urbanización descontrolada.

Para favorecer el “desarrollo” del bosque nativo es necesario legislar para la recuperación de la conectividad entre los parches además de la protección de los remanentes actuales. La recarga que posiblemente ocurriría en la zona donde está implantado el bosque nativo, podría ser muy importante para la cuenca baja (de llanura).

Se sugiere un máximo de 670 hectáreas de crecimiento urbano en el extremo

Noroeste y Suroeste de la cuenca, por encima del cual el informe recomienda restringir totalmente el uso del suelo urbano.

Para recobrar la conectividad del bosque nativo sería necesario recuperar 4617,3 hectáreas que incluyen las zonas de alto valor de recarga y las áreas periféricas a los bosques existentes.

Debido a las características del material geológico se recomienda la preservación de toda la zona circundante a la obra de captación en el vado de Candonga y no sea recomendable la urbanización de manera absoluta, hasta tanto se realicen las investigaciones del caso.

ANTECEDENTES

Los vecinos de las localidades de Agua de Oro, Comuna el Manzano, y Cerro Azul han realizado reuniones, para tratar el impacto ambiental por el Emprendimiento Inmobiliario TICUPIL S. A., que se lleva adelante en la Zona denominada: Villa Candonga, Localidad del Manzano, Pedanía San Vicente, Depto. Colón, Prov. de Córdoba. En dicha zona se encuentra también la Capilla de Candonga, monumento y patrimonio cultural, ubicado en la localidad del Manzano.

Más de 70 vecinos interponen *“acción de amparo fundado en el art. 43 de la C.N, y en el art. 30 de la Ley 25675, en contra de la Comuna el Manzano y Ticupil S.A. “Que se trataría de 300 lotes, en plena zona roja según ley provincial 9814, que ello generaría una modificación sobre todo por las especies que allí se encuentran y por sobre todo, por la toma de agua que se encuentra en la base del aludido emprendimiento y que abastece a las localidades de Agua de Oro, El Manzano y Cerro Azul. (Texto extraído de la introducción de la sentencia del Recurso de Amparo).*

El emprendimiento Ticupil S. A. posee autorizaciones para comenzar los trabajos previos al loteo mediante decretos dictados a partir SENTENCIA NUMERO: 67. JESUS MARIA, 16/05/2014. Y VISTOS: estos autos caratulados “AGUERO, MAURO Y OTROS C/ LA COMUNA EL MANZANO Y OTROS” – AMPARO – Expte. 1398919”. Dichos trabajos son según se declara en expediente UNC: 0018482/2014: tareas de manejo de escorrentías y de reforestación y cobertura vegetal, obras de alambrado y cerramiento del predio, obras de infraestructura para el almacenamiento y distribución de agua potable ejecutables sobre las calles

existentes en el emprendimiento, finalización de cortafuegos y obras de tendido subterráneo de red eléctrica a ejecutarse por las calles existentes.

En un informe del año 2010, el Dr. Guillermo Baudino hace una valoración del sistema de aprovisionamiento, conducción, almacenamiento, tratamiento y distribución domiciliaria de Agua de Oro. Esta obra fue diseñada y construida entre los años 1997 – 1998. El Geólogo Dr. Baudino dice “Esta formación geológica tiene una elevada porosidad y permeabilidad, por lo que permite la infiltración rápida del agua de lluvia y la del río Chavacaste”. La constitución geológica hace que el acuífero sea muy vulnerable a la contaminación, razón por la cual el riesgo de que un contaminante ingrese a la captación es muy alto”(Baudino, 2010). De acuerdo a la información provista por las autoridades de la Cooperativa de Servicios Públicos de Agua de Oro al Dr. Baudino, la captación produce 175.000 litros por hora, esto es 4.200.000 litros por día menos 38 a 40 % de pérdidas en el sistema de conducción. Si cada habitante consumiera 200 litros por día, la captación de Candonga podría abastecer 8.000 habitantes. La población actual estable, suministrada de agua potable, es de 3584 habitantes, sin embargo a esta información habría que agregarle la población turística. Además existe un antecedente muy importante, la sequía de 2009 – 2010, habría provocado que la mayor parte de la población quede desabastecida del agua potable.

Las imágenes satelitales muestran que Ticupil S.A., ha efectuado trabajos de construcción de calles y que esto se intensifica a comienzos del año 2013. Las autorizaciones que ha recibido del estado ignoran los aspectos concernientes a el estado de la cuenca, la situación de recarga, el estado de conservación de los parches de bosque nativo y que el sistema de toma de agua de las tres localidades de la zona (Agua de Oro y las comunas de El Manzano y Cerro Azul) ha comenzado a mostrar síntomas de que puede funcionar al límite durante una sequía.

También en el informe citado (Baudino, 2010) constan recomendaciones técnicas de los profesionales ejecutores, indican no ampliar la obra de captación de Candonga, ya que una ampliación no subsanaría el problema de escasez durante las sequías extraordinarias, sino todo el contrario, generaría una situación de emergencia para una cantidad mayor de usuarios.

De acuerdo a la SENTENCIA NUMERO: 67. JESUS MARIA, 16/05/2014. Y VISTOS: estos autos caratulados “AGUERO, MAURO Y OTROS C/ LA COMUNA EL MANZANO Y OTROS” – AMPARO, EXPEDIENTE: **1398919 - AGUERO, MAURO Y OTROS C/ LA COMUNA EL MANZANO Y OTROS - AMPARO - JUZGADO CIVL.COM.CONC. Y FAMILIA - SEC.1 - JESUS MARIA** se rechaza el Recurso de Amparo presentado y la

sentencia establece las imposiciones y restricciones para las partes respecto a los siguientes puntos: a) Mantenimiento de la cuenca hídrica, b) Desarrollo del bosque nativo y c) Restricción en la construcción en lotes ribereños. Entre otras resoluciones del Juez dice: ...”3º) *Rechazar la presente acción de Amparo Ambiental para hacer cesar el emprendimiento de urbanización inmobiliaria en Villa Candonga, Localidad del manzano, Pedanía San Vicente, Depto. Colón, Prov. de Córdoba, autorizando a Ticupil S.A., en el Decreto N° 1200, de la Secretaría de Ambiente de la Provincia, de fecha 05/10/2010, deducido por los accionantes en contra de la Ticupil S.A. y de la Provincia de Córdoba, en su calidad de tercero interesado, sin perjuicio de las imposiciones a las partes y terceros descriptas en el considerando respectivo....* 5º) *Establecer las siguientes imposiciones y restricciones para las partes respecto a los siguientes puntos: a) Mantenimiento de la cuenca hídrica, b) Desarrollo del bosque nativo y c) Restricción en la construcción en lotes ribereños, tratados en el considerando respectivo las acciones y restricciones que deberán ser presentadas al Tribunal en un plazo de treinta días (30), para ser cumplidas en la etapa de la ejecución de sentencia conforme a las previsiones de los arts. 12, ley 4915 y arts. 804 y sgtes. del C.P.C.; imponiendo a la Cooperativa de Obras, Servicios Públicos, Sociales y Desarrollo Regional de Agua de Oro y Sierras chicas Ltda., a la provisión de agua al emprendimiento Turístico Villa Candonga en las condiciones establecidas en el considerando respectivo”* (texto extraído de la Sentencia del Recurso de Amparo”.

En este trabajo se realiza una evaluación diagnóstica a fin ayudar a cumplir las imposiciones y restricciones de la sentencia en lo relativo a a) el estado de conservación de la cuenca hídrica Chavacaste, b) el estado de conservación del bosque nativo a escala de paisaje y c) un análisis multicriterio para definir la pertinencia de la localización de acuerdo a las restricciones impuestas. En base a los análisis anteriormente mencionados en los puntos a, b y c, se realizan conclusiones a escala de paisaje para que sean discutidas en el marco de un ordenamiento territorial participativo.

ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA CUENCA HÍDRICA CHAVACASTE.

Caracterización de la cuenca. La cuenca de Chavacaste - Agua de Oro – Colonia Caroya (14628,69 ha) se ubica en el norte del departamento Colón de la provincia de Córdoba (Fig. 1). Por comparación visual, en imágenes Google Earth, se puede ubicar, en particular, el emprendimiento Ticupil. Está localizado en las cercanías del monumento histórico de Candonga y presenta un trazado de calles desde comienzo del año 2013 (Fig. 2).

La cuenca alta y media de Chavacaste tiene 10314.9 ha (684 – 1650 msnm) y la sub-cuenca alta de Chavacaste tiene 4853 ha. Allí se producen los nacimientos de los arroyos Alpatauca, Alto Fresco, Cartagena, Candonga (de Norte a Sur), entre otros, todos tributarios del arroyo Chavacaste, San Vicente o Agua de Oro (Fig. 3). Este arroyo, en su margen sur, contribuye de manera íntegra a la recarga del acuífero de captación del agua para las poblaciones de Agua de Oro, El Manzano y Cerro Azul. Los recursos hídricos que provee la captación de Candonga es administrada por la Comisión Directiva de la Cooperativa de Servicios Públicos de Agua de Oro. En inmediaciones de la zona conocida como Chacra de Candonga, al sudoeste del vado de Candonga, se encuentra la obra de captación del agua de los pueblos mencionados.

La subcuenca Chavacaste tiene dimensiones reducidas, suelo de poca profundidad y subsuelo rocoso, poco favorable para ayudar a la infiltración de las lluvias. Estos datos concuerdan con informaciones locales que durante las lluvias del verano se producen crecidas violentas y en las épocas de sequía, el arroyo se reduce a un pequeño hilo. Ha sido notoria la sequía ocurrida durante el verano de 2009 – 2010, por lo que la capacidad de regulación de la cuenca dependería directamente de las lluvias.

La pendiente general del terreno es hacia el Este y la mayor parte de la cuenca (94 %) tiene pendientes de más de 5 %. En el cuadro n° 1 se describe la cantidad de superficie por categoría de pendiente.

Los estudios geológicos y geomorfológicos de la vertiente oriental de la Sierra Chica muestran que el carácter suelto de los elementos, la energía del relieve y el deterioro de la vegetación natural determinarían una alta tendencia a la intensificación y

generalización de los procesos de escorrentía y posibles deslizamientos (Barbeito et al., 2009). La acción fluvial da lugar a procesos de erosión hídrica en forma laminar, difusa, en cárcavas y procesos de erosión de márgenes en las costas de los arroyos, como así también procesos de remoción en masa que afectan a los terrenos en forma de caídas, deslizamientos y flujos. Todos estos fenómenos pueden ser disparados por lluvias intensas o por la construcción de obras de infraestructura no adecuadas a la situación (Barbeito et al. 2009). Esta cuenca tiene más de 7700 hectáreas con 8 a 32 % de pendiente y 800 ha entre 32 y 60 % (Fig. 4) lo que hace pensar que la cuenca de Chavacaste no estaría exenta del patrón descrito.

Cuadro 1: Superficie por rango de 5 categorías de pendientes.

Cat.	Rango de pendiente	Superficie (ha)
1.0	0 - 3%	234.0
2.0	3 - 8%	1579.2
3.0	8 - 16%	3884.0
4.0	16 - 32%	3816.8
5.0	32 - 60%	800.9

Localización de la recarga. En cualquier cuenca, cuando llueve parte del agua discurre por la superficie, parte se evapora y el resto se infiltra en el terreno. Esta última vía es prácticamente la fuente primaria de toda el agua subterránea. En condiciones naturales y a medio plazo, ocurre **la recarga** que es la cantidad de agua que puede entrar en los acuíferos. Estas aguas subterráneas dan persistencia al ciclo hidrológico, permiten que los ríos lleven agua cuando no llueve, que la vegetación de ribera sobreviva y el uso para actividades humanas.

En la región la recarga se puede producir mediante dos mecanismos: 1- recarga superficial de la lluvia (ya comentada su importancia) y 2- afluencia de agua desde los ríos (hacia la cuenca baja). Una parte de esa lluvia genera una escorrentía superficial (más importante con más pendiente y suelo poco permeable), otra parte se almacena en el suelo y permitirá el crecimiento de las plantas durante el caudal mínimo, y el resto representa la recarga superficial. O sea: la escorrentía total (superficial y subterránea) resulta de restar la

evaporación y la evapotranspiración. Su cálculo es, por consiguiente, muy incierto. Los ríos llevan agua cuando no llueve gracias a la descarga de las aguas subterráneas, a excepción donde la escorrentía superficial origina ríos que desaparecen al llegar a la llanura (Vázquez-Suñé et al., 2006). Los factores que influyen en la recarga son la pendiente, la naturaleza del material, la intensidad de la lluvia, y el tipo y cantidad de vegetación. Densas lluvias que caen sobre pendientes abruptas, donde las capas suprayacentes están compuestas de materiales impermeables, provocarán, obviamente, un elevado porcentaje de agua de escorrentía. A la inversa si la lluvia cae de manera suave y uniforme sobre pendientes más graduales compuestas por materiales con son fácilmente penetrados por el agua, un porcentaje mucho mayor del agua se infiltrará en el suelo.

Teniendo en cuenta lo anterior, analizamos factores que nos permitieron obtener un posible mapa de distribución espacial de la recarga. Estos factores fueron:

1- Variación de la pendiente, la distribución de la red de drenaje principal y la cantidad de vegetación. Aunque se desconoce la variabilidad litogeomorfológica, se sabe que la naturaleza del material responde a lo descrito por Barbeito et al. (2009) para cuencas vecinas en la misma sierra (2009). 1- Se consideró que la capacidad de recarga ocurre con mayor magnitud desde pendientes entre 3 y 8 % (Cartas Geológicas para la Provincia de Córdoba). Para determinar la gradación de dicho factor se aplicó una función sigmoïdal creciente, con valores extremos entre 3 y 60 %.

2- La capacidad de recarga de la red fluvial integrada por los cauces de los principales arroyos disminuye con el alejamiento de las márgenes del cauce. Como estas márgenes no constituyen una línea fija y están expuestas a variaciones determinadas por las oscilaciones del caudal la función adoptada para determinar la intensidad de dicho factor fue considerada la función sigmoïdal decreciente, con valores extremos entre 0 y 100 m, siendo la distancia de 100 m la considerada máxima avenida probable para la recarga.

3- Se clasificaron las diferentes unidades de cobertura en función de las características de resistencias que ofrecen a la percolación. Se consideró una función lineal donde la mayor capacidad de recarga ocurre en el bosque y disminuye hacia la zona de pastizales, la zona urbana y menor aún en la cantera Los Sauces. Se conoce que una zona urbana tiene muchos problemas con el agua de escorrentía durante las tormentas. De hecho, la urbanización agrava las inundaciones ya que gran parte de las casas, caminos y pavimentos obstruyen los

canales y desagües y no aseguran que el agua fluya. En consecuencia, incluso tormentas bastante moderadas producen altos caudales máximos en los canales de descarga (Konrad y Booth, 2005; Fernández y Lutz, 2010). Los pesos relativos de los factores se detallan en el cuadro n° 2.

Cuadro n° 2. Se representa la importancia relativa de cada uno de los factores pendiente, distancia a ríos y tipos de cobertura, y el peso porcentual asignado a cada uno de ellos. Donde “1” significa igual importancia del factor de la fila y de la columna correspondiente; “1/3” el factor fila es moderadamente menos importante que el factor columna. Consistencia estadística del análisis de ponderación: altamente significativo ($P < 0.01$).

Factor de recarga	Pendiente (p)	Distancia a los ríos (r)	Cobertura (c)	Peso ($\sum = 1$)
Pendiente (p)	(p/p) = 1/1			0.669
Distancia a ríos (r)	(r/p) = 1/3	(r/r) = 1/1		0.2426
Cobertura (c)	(c/p) = 1/7	(r/c) = 1/3	(c/c) = 1/1	0.0879

De la discretización de los umbrales de recarga de la cuenca de Chavacaste (Fig. 5), se obtuvo una distribución espacial hipotética de zonas de recarga donde el 6 % (689.9 ha) representaría zonas de muy alta recarga o avenidas del agua, 37 % (3823.72 ha) se clasifica como alta, 25.8 % (2663.83 ha) como media y 30.4 % (3137.45 ha) como baja. Para la subcuenca de Chavacaste el 55 % de la cuenca representaría una zona de muy alta a media capacidad probable de recargar. Obviamente que estos números deberían estar asociados a la respuesta a la intensidad de las lluvias, pero nos permite observar que la parte alta de la

cuenca donde predominan pastizales, roquedales, se distribuyen las mayores pendientes, sería un área promotora de riesgos ambientales.

Tendencias de la serie temporal (2000 – 2013) Productividad Primaria Neta anual y la eficiencia en el uso de las precipitaciones de la vegetación en la cuenca. Se evaluó la tendencia de la Productividad Primaria Neta anual (PPN) para un periodo de 13 años (2000 – 2013). La PPN es una variable biofísica que sintetiza el funcionamiento ecosistémico de la cuenca. Este indicador representa la biomasa fotosintéticamente activa producida en un año por la vegetación, indicada como la integral anual de NDVI de MODIS 250 del área en estudio definida en la cuenca. Es decir, se sustituye la PPN por la sumatoria anual del NDVI. Las pérdidas de PPN implican disminución en la capacidad de impulsar el flujo de energía solar que es la base del funcionamiento de los ecosistemas y serán interpretadas como causadas por diversas perturbaciones de gran escala, tales como las sequías, los desastres ocasionados por los incendios y las actividades humanas por cambio de uso de la tierra o deforestación.

Un perfil de la serie 2000 – 2013 de la PPN (\sum NDVI anual de Modis -250m) de la cuenca alta, subcuenca Chavacaste (Figura 6) muestra una ligera tendencia decreciente en zona de nacimiento de los arroyos subsidiarios del arroyo Chavacaste. Estimamos que las mayores pérdidas de productividad ocurrieron en los años con incendios (2003, 2011 y 2013) y sequías (años 2009 y 2013). Mediante las imágenes Landsat, utilizando el Índice de Fuego Normalizado (NBR) y el Índice de Diferencia de Fuego Normalizado (dNBR) se pudo comprobar la relevancia de estos eventos y establecer la localización y la magnitud de los daños producidos (Fig. 7).

Por otro lado se trató de evaluar los patrones espaciales de tendencias de la PPN durante los 13 años de la misma serie temporal de PPN, mediante el análisis no paramétrico de Tendencia Monotónica (coeficiente de correlación de Mann- Kendall Tau). Los resultados sugieren que la productividad de los pastizales – arbustales - roquedales de la cuenca alta ha declinado considerablemente. La superficie de la sub-cuenca con tendencia muy decreciente en la PPN es de 3132.6 ha (-1 a -0.4) y moderadamente decreciente 1734.8 ha (-0.4 a -0.2). El Análisis de significancia de la tendencia monotónica decreciente ($P <$

0.05) indica que 3132.7 ha, 74 % de la subcuenca, corresponde a la zona de nacimiento de arroyos y con pendientes entre 10 a 60 %.

Del Análisis de la PPN en la zona de bosques nativos (cuenca media), los resultados de la Tendencia Monotónica (coeficiente de correlación de Mann- Kendall Tau) de la serie 2000 – 2013 indicaron que la PPN anual de los bosques está declinando considerablemente, desde muy decreciente (2332.35 ha) a tendencia moderadamente decreciente (330.56 ha). El 88 % de los bosques de la cuenca presenta una tendencia lineal muy decreciente con significación estadística ($P < 0.05$).

Si se dividen los valores de PPN (SumNDVI Modis 250) por las precipitaciones anuales se puede eliminar los efectos de la variabilidad de la señal de la vegetación debido a las lluvias, esto también se conoce como “eficiencia del uso del agua” de la cobertura vegetal. Si realizamos el análisis de tendencia monotónica Mann - Kendall se observan patrones de tendencia decrecientes similares al análisis anterior, aunque con menores superficies. Así fue muy decreciente en 1874 ha (38, 5 %) principalmente en zona de recarga y moderadamente decreciente en 1260 ha (26 %) en la zona de nacientes de ríos (Fig. 8). El análisis es significativo principalmente en la zona de recarga. La eficiencia del uso del agua del bosque nativo se reduce significativamente en 941.2 ha (Fig. 9) cercano a las zonas urbanas, zonas de la cuenca con menor sección y en áreas del borde norte de la cuenca donde las pendientes son más pronunciadas. La significancia estadística de la eficiencia del uso del agua del bosque nativo se evidencia solo para 941.2 ha ($P < 0.05$).

Esta información alerta acerca de la tendencia a perder la capacidad de regulación hídrica. La tendencia a menor PPN, lleva a menor cobertura y menor capacidad de infiltración, menor recarga de los acuíferos y por ende mayor caudal de las crecientes durante temporadas lluviosas. También la tendencia indica cada vez mayor vulnerabilidad a las sequías porque al reducirse la recarga del verano, deja de entregarse el agua a través de los manantiales que alimentan los arroyos de la cabecera de la cuenca. Esta tendencia también genera un alerta en relación a la Captación de Agua “Chacra de Candonga” ya que puede dejar a una gran población de usuarios expuestos a una crisis de aprovisionamiento en sequías extraordinarias. Queda subyaciendo la pregunta ¿la pérdida de la PPN y de PPN/precipitaciones estarían indicando correlativamente la reducción del agua subsuperficial y de los acuíferos?

Los bosques existentes probablemente tengan una función de incrementar la infiltración y llegada lenta de agua al río Chavacaste. Cuando el río Chavacaste egresa de la zona serrana, se infiltra en el pie de sierra y recarga un importante acuífero situado hace el este de la localidad de Agua de Oro, entre el pie de la Sierra Chica y la Ruta Nacional n° 9. Este acuífero significa la única fuente de aprovisionamiento de agua potable adicional de la que dispondría Agua de Oro. También es una importante fuente de agua de la población de Colonia Caroya mediante los sistemas de Galerías filtrantes del río Carnero.

ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA COBERTURA DEL BOSQUE NATIVO. PROYECCIONES ANTE EL CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA EN LA CUENCA DE CHAVACASTE

En primera instancia se realizaron cuatro mapas de unidades de cobertura para los años 1998, 2006, 2010 y 2014 (Fig. 10). En la figura 11 se presenta la variación de las unidades de cobertura y uso de la tierra de la cuenca analizada de 14204 hectáreas que se extiende desde la cuenca alta hasta la llanura en Colonia Caroya. Claramente se observa que desde el año 1998 a 2014 se perdieron 1261 hectáreas de bosques y ese territorio cambió a uso urbano y agrícola, así la zona urbano-rural creció de 4553 ha en 1998 a 5586 ha en el año 2014.

A fin de establecer las tendencias hacia uso urbano se estudiaron en particular los cambios ocurrido entre los años 2006 y 2014 (Fig. 12) de la cuenca alta y media (un área de 10314.9 ha). En particular, para analizar el modelo de cambio entre los años 2006 y 2014, se identificaron y determinaron las superficies de cuatro clases de cobertura: bosque, pastizal – arbustal – roquedal, zona urbana y cantera (Fig. 13, cuadro n° 3). Esta figura muestra una evaluación cuantitativa rápida del cambio al graficar las ganancias y pérdidas por tipo de cobertura de la tierra: ganancia de las zonas urbanas y suburbanas y pérdidas de bosques y pastizal – arbustal – roquedal. El cambio neto por categoría, muestra el resultado de las áreas de cobertura, sumando las ganancias y luego restando las pérdidas: incremento de 900 ha de zona urbana – suburbana a costa de la disminución de 300 ha de bosque y 600 ha de pastizales. En base al mapa de persistencia, ganancias y pérdidas de pueden visualizarse

que estos procesos se dan tanto hacia el interior del bosque como hacia la parte sur cercano a la sub-cuenca alta del arroyo Chavacaste – Agua de Oro (Fig. 12).

Cuadro n° 3. Unidades de cobertura y Uso del suelo

Unidad de cobertura y uso del suelo	Descripción	Superficie (ha)
Bosque	Bosque nativo muy diverso (Giorgis et al. 2011) y bosques degradados con espinillares sucesionales bajos y bosque exótico dominado por especies arbóreas introducidas, particularmente el siempreverde o ligustro (<i>Ligustrum lucidum</i>).	2312.9
Pastizal y arbustal	Representa los pastizales naturales del área y sus variantes fisonómicas pastizal alto y pastizal con y sin roca expuesta y el arbustal mixto, un mosaico de grano fino y baja altura de arbustales, pastizales, vegetación ruderal y zonas con suelo expuesto.	6539.9
Zona urbana y suburbana	Agua de Oro, Las vertientes de La Granja	1332.1
Cantera	Canteras El Sauce. Zona profundamente abierta, con destrucción del total de suelo y vegetación.	130

Estado de fragmentación del bosque nativo. Se observa una gran fragmentación del bosque nativo. La fragmentación está caracterizada por un gran número de parches de área pequeña. A partir de la comparación entre los años 2006 y 2014 domina el efecto de disección y de fragmentación ocasionado por la actividad urbana. En el periodo estudiado, el número de parches sigue aumentando (288 parches). El tamaño de parche mayor es de 1150 ha en el año 2014 y presenta profundos síntomas de disección (Fig. 14). El resto de parches de bosques presenta tamaños menores a 260 ha, siendo el

tamaño promedio de casi 9 ha, La distribución de frecuencias de tamaños en hectáreas se observa en la figura 14.

Mientras, en el área urbana ocurrió un proceso de agregación desde el año 2006 al 2014, es decir, el número de parches decreció y el área aumentó.

La situación de pérdida de conectividad del bosque nativo alerta sobre la pérdida de los servicios ecosistémicos de producción de agua. Un sistema ecológico requiere conexiones para mantener la vida y sus funciones. El concepto de conectividad se utiliza para describir la continuidad estructural y funcional de un paisaje en ambas escalas de espacio y tiempo. Por ejemplo, si se disponen de los elementos estructurales, es decir, la matriz, parches y corredor, los distintos tipos de hábitat están vinculados de manera efectiva, las especies y las comunidades pueden dispersarse libremente, dando al paisaje un grado de conectividad espacial. Y si estos vínculos pueden ser conservados a través del tiempo, se mantendrán las funciones. Por lo tanto, la estructura del paisaje influye fuertemente en el flujo de energía, nutrientes, agua, disturbios, así como los organismos y sus genes. Por ejemplo, la disposición particular de áreas abiertas y boscosas en una cuenca podría afectar la dirección del drenaje, la magnitud de las inundaciones, el movimiento de los incendios forestales y la aparición de la acción del viento, la propagación de semillas, insectos, y micorrizas, hongos, y la migración diaria y estacional de la fauna silvestre.

La fragmentación del hábitat es lo contrario de la conectividad. Los paisajes con bosques se interrumpen cuando los grandes parches de bosque se transforman en manchas más pequeñas rodeadas de áreas perturbadas (Fig. 14). Esta interrupción puede ocurrir a través de perturbaciones naturales como incendios, así como por la urbanización, la agricultura y otras actividades humanas (Forman, 1995; Turnbull et al. 2008). **En otras palabras, la baja conectividad estructural del paisaje de toda la cuenca determinaría la propensión del paisaje a poseer baja conectividad funcional biótica e hídrica.**

Modelo de predicciones de cambio. Modelo Neuronal Para el análisis de los cambios de cobertura y usos de la tierra se han modelado múltiples transiciones, asumiendo que las fuerzas motrices subyacentes del cambio son: distancia a la fuente de captación de agua, distancia a los bosques en 2006, distancia a caminos principales y secundarios,

distancia a todos los cambios, distancia a los arroyos, la pendiente distribuida siguiendo una distribución logística de mínimo 1 % y máximo 60 % y distancia a las zonas de recarga (Fig. 15). La importancia estadística de las variables mencionadas se evaluó a través de un test exploratorio, el índice de Kramer (cuadro nº 4). En esta tabla se puede observar el peso que tienen las variables analizadas en explicar las tendencias potenciales del modelo neuronal.

Modelo Neuronar de predicción. El modelo de predicción, modelo neuronal de probabilidades de transiciones de todas las categorías a urbano, tuvo una precisión de 90.96 % (RMS: 0.2944 y 0.22956). El modelado dio como resultado transiciones potenciales a fin de ayudar a la interpretación de las tendencias de cambio en el uso del suelo en la cuenca (Fig. 16). Con las todas variables presentes, el modelo de predicción neuronal de probabilidades de transiciones de todas las categorías a urbano, muestra cierta estabilidad de las masas de bosques al norte de la cuenca en zonas con pendiente alta mientras que los cambios debidos a urbanizaciones se localizan al sur, cercanos a las canteras y hacia la zona de provisión de agua (probabilidad de 0.21-0.26). **Finalmente, el modelo muestra claramente una fuerte tendencia hacia el sur-oeste desde las zonas más urbanizadas.**

Previamente se analizó el valor explicativo de las variables. En general, hemos encontrado que las variables tienen un valor del índice de Cramer superior a 0,15 y aquellos valores superiores de 0,4 fueron considerados muy buenos (Cuadro nº 4). Los mejores ajustes lo presentan las distancias al bosque existente con los sitios ya urbanizados y cercanos a pastizales (0.60 y 0.70, respectivamente), a la cantera (0.80) y a la cuenca alta de Chavacaste (0.70). **Posiblemente, esto indica que los cambios ocurren en zonas previamente deforestadas, cercanas a sitios urbanos y con acceso al agua.**

Cuadro nº 4. Test exploratorio (índice de Kramer) de la importancia de las variables impulsoras intervinientes en el modelo de cambio de redes neuronales

Variables del modelo	Índice de Cramer			
	zona urbana	pastizal	cantera	Bosque
Dist_cobertura_bosque_200				
1 6	0.5995	0.6076	0.3159	0.0000
Signif.	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
2 Dist_Sub_CNC_Chavacaste	0.7145	0.5023	0.4579	0.0000

Signif.	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
3 Dist. Agua cooperat.	0.1602	0.155	0.1184	0.0000
Signif.	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
4 Dist cam. Princ. y secund	0.3045	0.1674	0.3045	0.0000
Signif.	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
5 Distancia a río	0.0662	0.084	0.092	0.0000
Signif.	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
6 Pendiente	0.3274	0.2028	0.2576	0.0000
Signif.	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
7 Distancia áreas de recarga	0.2436	0.1421	0.1915	0.0000
Signif.	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
8 Distancia a todos los cambios	0.7424	0.4978	0.4893	0.0000
Signif.	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

Modelo de regresión logística. La predicción indica que el patrón de avance de la frontera urbana continuará ocurriendo hacia el interior de la cuenca, hacia la zona sur-oeste en dirección a la toma de agua siguiendo la línea del cauce del arroyo Chavacaste (Fig. 17). Los parches falsos positivos (modelo de residuales) muestran claramente la tendencia a expandirse lo urbano en todas direcciones pero particularmente existe un salto en la zona de cantera para luego ponerse en evidencia en la zona de la Capilla de Candonga y en las cercanías de la toma de agua (Fig. 18).

Análisis de regresión logística de factores. Los valores pseudos R^2 , = 0.3245 y el Chi- cuadrado = 2493.5671, poseen valores que indican que el modelo ajusta significativamente. La Ecuación de regresión posee los siguientes parámetros: $\text{Logit}(\text{todas las categorías a urbano}) = -1.1036 - 0.003479 * \text{Fzz_pendiente} - 0.000724 * \text{Distancia_agua_cooperativa} + 0.01985 * \text{Distancia_capa_rio} + 0.000958 * \text{Distancia a subcuenca de_Chavacaste} - 0.000658 * \text{Distancia a caminos}$

ZONIFICACIÓN EN BASE A ANÁLISIS MULTICRITERIO

I- **Análisis de multicriterio para definir la localización de los sectores de alto valor de conservación (Categoría I, Roja) y de mediano valor de conservación**

(Categoría II, Amarilla), según los criterios de sustentabilidad ambiental de las Leyes Provincial 9814 y Nacional n° 26331.

Según los resultados mostrados arriba se evidencia que prácticamente no existen bosques en buen estado de conservación y que la tendencia decreciente de la PPN indica que estarían en riesgo los bosques a futuro. En la sentencia del Recurso de Amparo se advierte que “En la región existe una degradación importante de la flora autóctona como consecuencia de la explotación minera y los sucesivos incendios que azotaron la zona que resulten idóneas a los fines de la restauración y recuperación como de la conservación (Ley de Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos N° 9814) y la Ley de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos (Ley 26.331).

Proponemos definir categorías de conservación y aplicar el Criterio de Sustentabilidad n° 9 según el Anexo I de las Leyes, Provincial 9814 y Nacional 26331: “Criterio de sustentabilidad ambiental 9. Potencial de conservación de cuencas: consiste en determinar la existencia de áreas que poseen una posición estratégica para la conservación de cuencas hídricas y para asegurar la provisión de agua en cantidad y calidad necesarias. Valor de protección de cuencas, áreas de resguardo de nacientes, bordes de cauces de agua permanentes y transitorios, áreas de recarga de acuíferos, los sitios de humedales o Ramsar, áreas con pendientes superiores al 5%.”

Es por ello que se consideran los parches de bosque existentes (cobertura), áreas estratégicas de protección en cuencas: áreas de recarga y nacientes de ríos, bordes de ríos y conectividad entre parches de bosques dados por la distancia al bosque nativo en un modelo sigmooidal decreciente de 250 con respecto a los parches existentes.

El mapa de categorías de conservación (I y II) de bosques nativos es una combinación lineal ponderada de los mapas correspondientes a los distintos factores que influyen en la protección de los bosques nativos y en la conectividad. Se consideró que la mayor capacidad de recarga ocurre desde el 3 y 8 % y disminuye con el incremento de la pendiente. La capacidad de conectividad entre parches de bosques es dado por la red integrada por los cauces de los principales arroyos. La posibilidad de conectividad disminuye con el alejamiento de las márgenes del cauce. La conectividad entre parches de bosques también aumenta cuando se permite una distancia de reclutamiento de especies en

zona aledañas al bosque existente. Se consideró como un variable de restricción el área de la subcuenca alta de Chavacaste. Los pesos relativos de cada uno de los factores se detallan en el cuadro n° 5. De análisis multicriterio del tipo CLP surgieron las categorías de conservación (I y II) de bosques nativos que se indica en la figura n° 19.

Cuadro n° 5. Se representa la importancia relativa de cada uno de los factores considerados y el peso porcentual asignado a cada uno de ellos. Consistencia estadística del análisis de ponderación (Peso): altamente significativo ($P < 0.01$).

Factor de Conectividad	Bosques exist. (p)	Zona de recarga (r)	Distan. arroyos (c)	Peso ($\sum = 1$)
Bosques existentes (p)	$(p/p) = 1/1$			0.2
Zona de recarga (r)	$(r/p) = 3$	$(r/r) = 1/1$		0.6
Distancia a arroyos (c)	$(c/p) = 1/1$	$(r/c) = 1/3$	$(c/c) = 1/1$	0.2

Se establecieron entonces como zonas de alto valor de conservación, Categoría I, Roja, a 2313 ha de bosques nativos existentes (aún los pequeños parches), 4853 ha de la subcuenca de Chavacaste y a 709 ha de bordes de ríos. Se considera como zonas de mediano valor de conservación, Categoría II, Amarilla, a 1650 ha (bosques a futuro). En la zona de Ticupil, considerando el área ya afectada por calles, el 25 % es zona roja, el 50 % es zona amarilla y el 25 % restante se puede hacer cambio de uso del suelo.

II Análisis multicriterio sobre la localización de posibles lugares para urbanización teniendo en cuenta el mantenimiento de la cuenca hídrica, la conservación de bosques nativos existentes y la restricción en la construcción en lotes ribereños.

Fundamentos del modelo. Se toma nuevamente la sentencia del juez quien establece las siguientes imposiciones y restricciones para las partes respecto a los siguientes puntos: a) Mantenimiento de la cuenca hídrica, b) Desarrollo del bosque nativo y c) Restricción en la construcción en lotes ribereños. Es necesario identificar la influencia que

los distintos factores analizados hasta aquí que operan en el espacio y en el tiempo, ya que proporcionan una mejor comprensión del territorio y nos ayuda a generar estrategias sostenibles de planificación y de localización de zonas urbanas.

- a) **Mantenimiento de la cuenca hídrica.** Los datos previos ponen en evidencia que existe riesgo de pérdida de funcionamiento de la cuenca hídrica que abastece a las poblaciones, constituidas río abajo, en las cuencas medias y bajas, formadas por las Comuna El Manzano, Cerro Azul y Agua de Oro. Son esenciales considerar las zonas de recarga de la toma de agua, la pendiente, la protección de la subcuenca alta de Chavacaste, la distancia a arroyos, así como la expansión los parches de bosques y usos del suelo ya existentes.
- b) **Desarrollo del bosque nativo:** se debe propender a recuperar la conectividad ecológica (el movimiento de la biota: animales y propágulos) en todo el ecosistema, y **la conectividad funcional hidrológica, se refiere principalmente al flujo de agua, sedimentos y nutrientes sobre el paisaje.** La conectividad de la vegetación implica la conectividad entre matriz, parche y corredor (conectividad estructural) para que la conectividad hidrológica funcione.
- c) **La restricción en la construcción en lotes ribereños** tiene importancia por el riesgo de vertidos de efluentes provenientes de la futura radicación del emprendimiento de TICUPIL S.A. u otros emprendimientos urbanos. Ante la imposibilidad evaluar el peligro de contaminación de la obra de agua del pueblo de Agua de Oro de realizarse un emprendimiento de la magnitud del proyecto de Ticupil, se exploraron análisis multicriterio que apoyen la decisión de ubicar emprendimientos urbanísticos que contemplen - distancia al arroyo, - distancia a la toma de agua, y - la pendiente, entre otros.

Restricciones y variables del modelo de multicriterio

Criterio distancia de 500 m al sitio de captación de Candonga. El predio de propiedad de TICUPIL S.A. se encuentra al lado del sitio de la toma de agua y en la parte superior de

la cuenca inmediatamente contigua a Villa Candonga. La toma consta de un dren horizontal (197 m de longitud, 4,5 m de profundidad) que extrae agua subterránea de un acuífero freático localizado en la zona conocida como “Chacra de Candonga”, en la margen sur del río Chavacaste. Por tratarse de un acuífero libre, esto es una formación geológica que alberga en sus poros agua subterránea y está constituida por arenas gruesas y rodadas. Como es extremadamente vulnerable a la contaminación se determinó una zona buffer de 500 m de protección para reducir el riesgo (Baudino, 2010). Se conoce que el riesgo de contaminación de agua se puede evaluar en función de dos argumentos principales: el hidrológico y las condiciones del suelo. Así en el modelo de Romanelli et al. (2014) se muestra el estado de subcuencas evaluadas con respecto a su potencial contribución al peligro de contaminación de lagos en base principalmente a parámetros fácilmente medibles y comunes: densidad de drenaje, gradiente hidráulico, profundidad del nivel freático, la infiltración, la cobertura vegetal y la topografía. En el estudio citado se muestra que aún en cuencas de moderada a alta densidad de drenaje, con un alto nivel de gradiente hidráulico, con poca profundidad de capa del agua y aún con textura de suelo limo arcilloso, las tierras agrícolas y los sitios residenciales contribuyen a un alto peligro de contaminación.

Criterio de distancia “buffer” a bosques: Los condicionantes planteados a fin de recuperar la conectividad de los bosques nativos, se plantea que la instalación de los emprendimientos urbanos eviten la proximidad a los parches de bosques existentes y permitan una zona buffer de instalación de renovals de manera que aumente el tamaño de parche y se reduzca el efecto borde. Así la información digital es la siguiente: se consideraron tres distancias posibles a proteger desde el borde del bosque nativo: 50 m, 100 m y 250 m al mapa de parches de bosques existentes del año 2014.

Criterio de pendiente: Con el objeto de evitar los posibles problemas de inestabilidad del material litogeomorfológico debido a la acción fluvial que da lugar a procesos de erosión hídrica y de remoción en masa que afectan a los terrenos en forma de caídas, deslizamientos y flujos, se ha adoptado el criterio, según el cual, las nuevas urbanizaciones deberán ubicarse en áreas con pendientes inferiores al 10 %.

Además, **no se consideran los territorios ocupados por urbanizaciones, se limita las posibilidades a 250 metros de la cantera** por los riesgos de deslizamientos, se

mantiene el criterio de que no puede ocurrir cambio de uso del suelo en avenidas de arroyos **a distancias no inferiores a 100 m de las zonas de mayor recarga**. Finalmente, se considera crucial que la frontera urbana no avance hacia zonas de nacientes de arroyos y de recarga como lo es la cuenca alta de Chavacaste.

Los resultados del análisis de multicriterio se pueden observar en las Figuras 20, 21 y 22 donde se evidencian diferentes alternativas. En la alternativa A (50 m del bosque) se dispondrían de 670 hectáreas, en la alternativa B (100 m del bosque) 313.6 ha y en la alternativa C (250 m del bosque) 71.6 ha. También en las figuras mencionadas se muestra en detalle los sitios posibles en cercanías a la toma de agua de Candonga y las calles ya demarcadas por el emprendimiento TICUPIL S. A.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que para ayudar a sostener el funcionamiento de la cuenca hídrica que abastece a las poblaciones, constituidas río abajo, en las cuencas medias y bajas, formadas por las Comuna El Manzano, Cerro Azul y Agua de Oro, es esencial que mediante un ordenamiento territorial se limite el avance de la frontera urbana hacia las zonas proveedoras de agua, que se tenga en cuenta que es una cuenca pequeña que está mostrando deterioro a través de los indicadores PPN, fragmentación del bosque y tendencias de las urbanizaciones hacia las fuentes de agua. Como es sabido el proceso de recuperación del funcionamiento estaría ligado a la protección de las zonas de recarga.

Para favorecer el “desarrollo” del bosque nativo y recuperar la conectividad se debe considerar necesariamente proteger los bordes de bosques y así cuanto más ancha sea esa zona buffer mejor será para la conectividad. Cuanto más grande sea el parche y más conexiones o corredores se puedan diseñar en función de las zonas de mayor recarga también es posible progresar en la conectividad. Existen parches que se desarrollan en extensión longitudinal contra la pendiente y cuando más vegetados estén los bordes contra las pendientes de estos parches existentes es posible la recuperación de los mismo hacia arriba de la cuenca. Esencialmente se debería evitar la disección del único parche grande de bosque que queda en la cuenca. La recarga que posiblemente ocurriría en la zona donde está implantado el bosque nativo, podría ser muy importante para la cuenca baja (de

llanura). Para recuperar la conectividad del bosque nativo sería necesario recuperar 4617,3 hectáreas que incluye las zonas de alto valor de recarga y las áreas periféricas a los bosques existentes (fig. 23).

En cuanto a la restricción en la construcción en lotes ribereños parece necesario aplicar el principio precautorio de la Ley general de Ambiente 25.675 ante la falta de investigaciones relativas al riesgo de contaminación por efluentes urbanos. Es posible que las distancias mínimas sean mayores a 500 metros dados las características del acuífero libre de “Chacras de Candonga”. Por estas características deba preservarse toda la zona circundante a la obra de captación en el vado de Candonga y no sea recomendable la urbanización de manera absoluta, hasta tanto se realicen las investigaciones del caso.

También surgen aspectos a investigar:

- 1- La potencialidad de recarga de la Subcuenca alta de Chavacaste y de abastecimiento de la toma de agua de las tres localidades de la zona (Agua de Oro y las comunas de El Manzano y Cerro Azul).
- 2- Un rediseño del emprendimiento Ticupil que comprende menos lotes sobre una zona que tendría áreas de alto valor de protección, Roja o Categoría I, mediano valor de Conservación (Amarilla) y bajo valor de Conservación. La factibilidad de cambio de uso del suelo depende de la decisión de recuperar 50, 100 ó 250 metros de bordes de bosques nativos. La reducción del emprendimiento implicaría plantear un rediseño con los parches bosque existentes y su recuperación, además de la problemática de la recarga y cercanía a la toma de agua.
- 3- Determinar las distancias mínimas no urbanizables, en un perímetro que garantice la protección del acuífero utilizados en la toma de agua del vado de Candonga, en relación al ingreso de contaminantes, que dichas investigaciones también sean promovidas para todo el margen del río Chabacaste. Determinar la incidencia actual de la contaminación microbiológica y otros tipos de efluentes químicos en toda la cuenca para que se adecúen inmediatamente (tratamientos) respetando el principio de solidaridad de la Ley general de Ambiente.
- 4- Tener en cuenta los riesgos que podría sufrir la zona de llanura situada entre la Sierra Chica y la Ruta Nacional N° 9, tanto a nivel de aguas superficiales como de napas

subterráneas ante el estado de degradación de la cuenca alta de Chavacaste y de sus bosques nativos en la cuenca media. También la exploración de los acuíferos situados al este de la cuenca de Agua de Oro como fuente de agua a futuro.

Un aporte de este estudio es la aplicación de herramientas que facilitan la evaluación, identificación de problemas y la modelización de los factores asociados con el uso de la tierra. Se ha proporcionado un medio alternativo de visualizar diferentes imágenes del estado actual de los recursos y sus tendencias. Esto ayudaría a construir un marco más participativo con el fin de proporcionar planificaciones con información de calidad sobre la cual se basarían las decisiones. La realidad muestra que es urgente la planificación y el control sobre la expansión urbana, y que se sabe poco sobre el impacto regional de estos procesos en los ecosistemas serranos. En este sentido, se hace necesario que estas nuevas metodologías y herramientas estén disponibles en los organismos de gestión para conocer las posibles alternativas de uso de la tierra y de recuperación de la calidad ambiental.

METODOLOGÍA

En la Construcción del Sistema de Información Geográfico se utilizó el sistema GCS-WGS 1984, datum D-WGS 1984., bajo el sistema de coordenadas proyectadas UTM20s. Se trabajó con imágenes Spot5, multiespectral de resolución de 10 m y pancromática de 5 m, Landsat5 y Landsat8 con resolución de píxel de 30 metros y Modis resolución de píxel de 250 m.

Modelos Digital de Elevación (DEM). Los datos de altitud del terreno se obtuvieron de imágenes *US Geological Survey*, formato matricial de 3" (resolución 30 m). Esta base digital permitió delimitar la cuenca objeto de análisis, además se lograron los mapas de pendientes y vías de escurrimiento. Imagen de X-RADAR (Lat/Long) , s29w060.hgt.

Digitalización de pueblos y caminos, reconocimiento visual de sitios de control. Se utilizaron dos imágenes SPOT5_HRG1_2014-01-04_13-32-21_A_684_412_S0_L2A y

SPOT5_HRG1_2014-01-04_13-32-21_A_684_413_S0_L2A, pancromáticas de resolución espectral del 5 m.

Mapas de Productividad Primaria Neta (PPN). Se construyó una serie temporal de imágenes del sensor de Modis (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), satélite Terra, de resolución temporal de 16 días. Los cuadros utilizados corresponden a la mayor parte del centro y norte de Argentina: MOD13Q1- h12v11 y MOD13Q1-h12v12; según el calendario desde el 18 de febrero de 2000 al día 19 de diciembre de 2013. Se construyeron series temporales de 296 periodos. Se realizó un pre-procesamiento de las Imágenes MODIS a un formato compatible con un software de SIG IDRISI y la re-proyección desde elipsoide y se calculó el índice de vegetación: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Luego se hizo la sumatoria anual del NDVI para sustituto de la Productividad Primaria Neta (PPN) anual.

Base de datos y calibración de imágenes para la construcción de los mapas de cobertura 1998, 2006, 2010 y 2014. Se trabajó con escenas del sensor Landsat TM 5 y Landsat 8 *Path 229 Row 82*: 1998, 2006, 2010 y 2014 (Tabla 1). Primero se obtuvo una imagen ortorectificada Landsat5 2006, con corrección de radiancia y fue tomada de imagen patrón. Todas las imágenes corresponden a la base de datos de acceso libre del *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais* de Brasil, INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). La base de datos se muestra en la (Tabla 1). Se trabajó con una resolución de 30 m. Se utilizó ArcGis para la georeferenciación (veinte puntos para RMS, promedio de 15 m) de las imágenes 1998, 2006, 2010 y 2014. Las correcciones radioatmosféricas se realizaron en base al método por sustracción de cuerpos oscuros. Para esto fueron apropiados los valores de los números digitales del lago San Roque (departamento Punilla) presente en la imagen satelital (Tabla 2).

Tabla 1. Bases de datos del Sistema de Información Geográfico para el estudio de cambio de cobertura de bosques y zonas urbanas, años 1998, 2006, 2010 y 2014.

Satélite	Observaciones	Path/Row	Resolución
----------	---------------	----------	------------

Landsat TM5 (1998_07-12)	229/82	30
Landsat TM5 (2006_03-12)	229/82	30
Landsat TM5 (2010_09-15)	229/82	30
Landsat 8 (2014_01-30)	229/82	30

Tabla 2. Técnicas de calibración y clasificación aplicadas a las imágenes Landsat 1998, 2006, 2010 y 2014.

.Método	Observaciones	Software
Composición de bandas	Se unen las bandas de cada imagen para cada fecha	Arc_Gis
Corrección geométrica	10 puntos de control manual más asignación automática por comparación de nivel digital (vecino más cercano) y suman 100 puntos de control. RMS: menor a 0.5 del pixel.	Arc_Gis
Resampleo	Coordenadas Proyectadas UTM 20s	Reproyección ARC GIS 9.2 Módulos Project Raster.
Corrección Radiométrica	Gain and Biases	RADIANCE_Idrisi
Recorte por área de estudio	Todas las imágenes fueron recortadas utilizando como ventana los límites de la cuenca de Chavacaste	Quantum_Gis

Corrección Atmosférica	Sustracción de cuerpo oscuro	ATMOSC_Idrisi
Clasificación Supervisada	Interpretación visual más verificación a campo, en Google Earth	Segementation y kmeans
Concatenación de imágenes Spot5 de 5 y 10 m de resolución. Rescalado de imágenes spot5 2014 de pixel de 10 a 30 m.	Se multiplica o se divide por un factor de agregación	CONCAT, CONTRACT y Idrisi

Determinación de las categorías de cobertura / uso de la tierra. La determinación de las categorías de cobertura /uso de la tierra se realizó mediante una clasificación supervisada de las imágenes Landsat5 2006 y Landsat8 2014 (Path 230 Row 81) del sector correspondiente a la cuenca Chavacaste delimitada con el módulo *Watershed* de Idrisi.

Fue obtenido por clasificación supervisada de 6 bandas de la imagen Landsat Path 229 Row 82. El método requiere disponibilidad de áreas de entrenamiento, se conoce a priori la clase a la que pertenecen y se genera una firma espectral, es decir, patrones de respuesta espectral. Se tuvo en cuenta información proveniente de mapas de vegetación existentes, visualizaciones de imágenes de *Google Earth* y las imágenes Spot5 de resolución de 5 m. Se aplicó el Módulo *Segmentation* de Idrisi para la definición de los sitios de entrenamiento, con el Módulo Sigcomp se evaluaron la firmas para ver si hay solapamientos en las firmas, luego se evaluó la verosimilitud a que pertenezca a una clase con el algoritmo de Máxima Verosimilitud (*Maximun Likelihood Classification*, Módulo Maxlike de Idrisi). Finalmente mediante *Segmentation Classification* se obtienen las categorías de cobertura (Tabla 3). En un proceso posterior fue necesario revisar la clasificación de la cobertura de bosques mediante los sitios de entrenamientos y corregirlas.

Tabla 3 Descripción de las unidades de cobertura – uso de la Tierra

Clases de Cobertura	Características
Bosque	Bosque original de molle
Cantera	Cantera El sauce
Pastizal - roquedal	Pastizales, roquedales y arbustales
Zona urbana y periurbana	Pueblos y zona periurbana

Para obtener puntos de control se realizó un viaje de reconocimiento desde Agua de Oro hasta la divisoria de agua. También se deficiaron sitios de entrenamiento mediante *Google Earth*.

Análisis de incendios en la cuenca Agua de Oro en los años 2003, 2011 y 2013

Se trabajó con escenas del sensor Landsat TM 5 y Landsat 8 *Path 229 Row 82*. De 2003, 2011 y 2013. Se utilizó la imagen Landsat 2006 ortorectificada con corrección de radiancia y fue tomada como imagen patrón. Todas las imágenes corresponden a la base de datos de acceso libre del *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais* de Brasil, INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). La base de datos se muestra en la (Tabla 4). Se trabajó con una resolución de un píxel de 30 metros, para la georeferenciación (veinte puntos con RMS promedio de 15 m) se utilizó en ArcGis y el sistema de coordenadas proyectadas UTM20s.

Las correcciones radioatmosféricas se realizaron en base al método por sustracción de cuerpos oscuros. Para esto fueron apropiados los valores de los números digitales del lago San Roque (departamento Punilla) presente en la imagen satelital (Tabla 5).

Tabla 4. Bases de datos del Sistema de Información Geográfico para el estudio de fuego.

Satélite	Observaciones	Path/Row	Resolución
Landsat TM5 (2003)		229/82	30
Landsat TM5 (2011)		229/82	30
Landsat 8 (2013)		229/82	30

Tabla 4. Técnicas de calibración y clasificación aplicadas a las imágenes Landsat 2003, 2011 y 2013.

.Método	Observaciones	Software
Composición de bandas	Se unen las bandas de cada imagen para cada fecha	Arc_Gis
Corrección geométrica	10 puntos de control manual más asignación automática por comparación de nivel digital (vecino más cercano) y suman 100 puntos de control. RMS: menor a 0.5 del pixel.	Arc_Gis
Resampleo	Coordenadas Proyectadas UTM 20s	Reproyección ARC GIS 9.2 Módulos Project Raster.
Corrección Radiométrica	Gain and Biases	RADIANCE_Idrisi
Recorte por área de estudio	Todas las imágenes fueron recortadas utilizando como ventana los límites de la cuenca de Chavacaste	Quantum_Gis
Corrección Atmosférica	Sustracción de cuerpo oscuro	ATMOSC_Idrisi

Índices NDVI, BRN (*)	Interpretación visual más verificación a campo	RECLASS, Idrisi
Identificación de áreas quemadas	Función de los valores de NDVI y BRN	IDRISI
Determinación de superficie área quemada	Extracción booleana y cálculo de área	IDRISI
Determinación del grado de severidad del fuego	En función del delta BRN	IDRISI

Cálculo del Índice de Fuego Normalizado (NBR) y del Índice de Diferencia de Fuego Normalizado (dNBR). Para evaluar el daño del fuego, la recuperación y comparar fechas se aplicó el NBR y se calcula de la siguiente manera: $NBR = \frac{\text{banda } (0.78 - 0.86 \mu\text{m}) \text{ infrarrojo cercano} - \text{banda } (2.185 - 2.225 \mu\text{m}) \text{ infrarrojo de onda corta}}{\text{banda } (0.78 - 0.86 \mu\text{m}) \text{ infrarrojo cercano} + \text{banda } (2.185 - 2.225 \mu\text{m}) \text{ infrarrojo de onda corta}}$. El índice es sensible a la interferencia atmosférica y más sensible a los fuegos que las bandas visibles. El índice varía entre +1 y -1. Sobre una imagen NBR el fuego aparecerá como un área oscura con un bajo valor de NBR. El dNBR es la diferencia entre la imagen NBR pre y pos fuego. La medida inicial de dNBR es el cambio inmediato después del fuego y muestra las áreas quemadas. Es entonces un dibujo del perímetro del fuego. El dNBR extendido mide el recrecimiento por comparación de la cantidad de vegetación antes y después del fuego (Escuin et al., 2008).

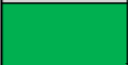






Estimación de índices NDVI y BNR: $NBR = (R4 - R7) / (R4 + R7)$; $NDVI = (R3 - R4) / (R3 + R4)$, R3, R4 y R7: corresponden a las bandas 3, 4 y 7 de las imágenes Landsat.

Serie temporal (2000-2013, cada 16 días) de 279 imágenes de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) del sensor de satélite Modis (MOD13Q1- h12v11 y h12v12, 250 m) (<http://glovis.usgs.gov/>).

El Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI) está basado en las diferencias entre las longitudes de ondas del rojo e infrarrojo cercano (Chuvieco, 2006),

varía entre -1 y +1 según la productividad sea mínima (nula captura de energía luminosa) o máxima (total utilización de la energía luminosa disponible). El aumento de los valores positivos del NDVI, se muestran en el aumento de tonos de verde en las imágenes, indican cantidades cada vez mayores de la vegetación verde. Los valores de NDVI cerca de cero y la disminución de los valores negativos indican características sin vegetación tales como las superficies estériles (roca, suelo, agua y nubes).

Tabla 6. Escala de colores para escala de severidad del fuego del índice dNBR

	dNBR	Severidad del fuego
	< -0.25	Alto recrecimiento pos-fuego
	- 0.25 a - 0.1	Bajo rebrote pos-fuego
	- 0.1 a 0.1	no quemado
	0.1 a 0.27	Baja severidad del fuego
	0.27 a 0.44	Moderada severidad del fuego
	0.44 a 0.66	Moderada a alta severidad del fuego
	> 0.66	Alta severidad del fuego

Modelo digital de elevación del terreno (DEM). Proveniente del US Geological Survey, formato matricial de 3" (90 m, fuente 1") (<http://srtm.csi.cgiar.org/>). A partir del DEM se calcularon las pendientes, se estimaron las vías de escurrimiento y los límites de la cuenca.

Construcción del mapa sitios de recarga en la cuenca de Chavacaste

El mapa de recarga es una combinación lineal ponderada de los mapas correspondientes a los distintos factores que influyen en la inestabilidad: $M = \sum p_i x_i$, donde M: mapa de riesgo, p: pesos asignados a cada factor, x: factores. Así, los factores considerados más determinantes de la recarga son: distancia a los ríos, pendiente y tipo de

cobertura. A los efectos del cálculo, los factores parciales considerados se han valorado en escalas 0-255, de acuerdo a las funciones de distribución.

Entonces, se aplicó *Fuzzy* (Hong y Eastman, 2000) a la siguiente información digital.

Por último, se realizó un análisis multicriterio del tipo CLP (*Analysis/Decision Supporti*). El mapa de recarga fue reclasificado para la obtención de categorías discretas de umbrales de recarga (*GIS Analysis / Reclass*): muy alto, alto, medio y bajo.

Modelación espacio - temporal de los CCyUT. Para evaluar las transiciones (Bogaert *et al.*, 2004) se analiza el cambio pasado, se modela el potencial para transiciones, se evalúan de los factores directos e indirectos, se determinan los parámetros estadísticos del modelo y tendencia espacial de cambio mediante redes neuronales (Schneider and Pontius, 2001) y regresiones logísticas (Clark y Hosking, 1986; Pontius, 2000; McConnell *et al.*, 2004).

Modelación de las tendencias de PPN anual en base la serie temporal de NDVI de MODIS (250 m).

Se construyó una serie temporal de imágenes del sensor de Modis (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), satélite Terra, de 250m de resolución espacial y 16 días de frecuencia; por ejemplo, área de cobertura es de 10° x 10° divididos en “tiles” o cuadros correspondiendo para la mayor parte del centro y norte de Argentina: MOD13Q1- h12v11 y MOD13Q1-h12v12; según el calendario desde el 18 de febrero de 2000 al día 19 de diciembre de 2013, para un total de 296 periodos. Se realiza un pre-procesamiento de las Imágenes a un formato compatible con un software GIS, que brinde herramientas de extracción, re-proyección desde elipsoide y cálculo de los índices de vegetación NDVI. Otro pre-procesamiento de las imágenes satelitales incluye la sumatoria anual del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para estimar la Productividad Primaria Neta anual (PPN=sumatoria de NDVI cada 16 días) (Ivits *et al.*, 2013). Fueron estudiados mediante Earth Trends Modeler (ETM de Idrisi) (Eastman, 2009) que permite realizar el análisis de series temporales de imágenes, determinar cuáles son las tendencias de cada serie. Se aplica el procedimiento de eliminación de ruido del filtro temporal sobre la serie

NDVI-Modis: 2000-2013. Se utiliza un filtro para la eliminación de ruido y se especifica la longitud del filtro en unidades de tiempo.

Se exploró la correlación de la serie de imágenes en el tiempo con una tendencia lineal, por ejemplo, el análisis no paramétrico de Tendencia monotónica (coeficiente de correlación de Mann- Kendall Tau). Se calcula la significación de las tendencias lineales. Se obtienen gráficos / mapas de tendencias. También se calcula – Se estima la importancia de los valores de Mann - Kendall mediante el cálculo de los z-score y p-probabilidad de la tendencia monotónica. La opción tendencia monotónica (Mann - Kendall) proporciona un indicador de tendencia no lineal que mide el grado en que una tendencia está aumentando o disminuyendo constantemente. Tiene un rango de -1 a +1. Un valor de 1 indica una tendencia que aumenta continuamente y nunca disminuye. Lo contrario es cierto cuando se tiene un valor de -1. Un valor de 0 indica que no existe una tendencia consistente. El estadístico de Mann- Kendall es simplemente la frecuencia relativa de los aumentos menos la frecuencia relativa de disminuciones. Tau es la frecuencia relativa de concordancias menos la frecuencia relativa de discordancias (Mather, 1999; Gupta, 2004).

Eficiencia del uso del agua. Se evaluó la relación PPN (Productividad Primaria Neta / Precipitaciones (Le Houérou, 1984). Se construyó el índice relacionando la serie integral NDVI (PPN) de MODIS (2000 – 2013) con la precipitación anual (datos pluviométricos de Agua de Oro, cuadro n° 5). Las lluvias de la región se concentran en el verano y alcanzan los 700 mm anuales en promedio.

Tabla n° 7. Serie de precipitaciones anuales periodo 2000-2013 de Agua de Oro.

Año	Precipitaciones
2000	868.4
2001	777
2002	847
2003	926
2004	682
2005	883.6
2006	827.02
2007	908.4
2008	924.3
2009	775.3

2010	925.3
2011	642.7
2012	975.4
2013	857.8

Modelación análisis multicriterios

Esta parte del trabajo se basò en la Teoría de la Decisión. La decisión multicriterio, se fundamenta en la lógica según la cual una decisión es la elección entre varias alternativas. Se consideró que cada criterio brinda la base para una decisión que puede medirse y evaluarse. Se siguieron dos tipos de criterios: las restricciones (mapas de máscara) que limitan las alternativas en consideración (zona urbana, parches de bosques existentes), y los factores que mejoran o reducen la aptitud de una alternativa para la actividad específica (pendiente, distancia a ríos, etc.).

Se aplicaron dos tipos de evaluaciones multicriterios. La primera consistió en una superposición booleana en la que todos los criterios (restricciones) se reducen a variable lógicas de viabilidad (sí/no) y se empleó operaciones lógicas como intercepción, unión, etc.. Esta evaluación se aplicó para la delimitación de la categoría de alto valor de conservación de bosque nativo y para definir los sitios donde era posible establecer emprendimientos urbanos. El segundo método consistió en la Combinación Lineal Ponderada (CLP) (Eastman, 2009) y se utiliza analizar la localización de áreas de recarga. El método CLP permite obtener un mapa continuo de probabilidad de ocurrencia, que se adapta bien a una variable continua como es el índice de riesgo considerado.

Construcción del mapa de zonificación de alto valor de conservación de bosques nativos.

Se aplica como restricción el criterio las áreas de resguardo de nacientes de ríos de acuerdo al criterio de sustentabilidad ambiental “Potencial de conservación de cuencas” de la Ley Nacional 26331, dado que por definición corresponden a áreas estratégicas de alto valor de conservación. La zona de nacientes de arroyos, área de la subcuenca de Chavacaste fue considerada como factor tipo restricción y entra al modelo como una capa booleana.

El mapa de categorías de conservación (I y II) de bosques nativos es una combinación lineal ponderada de los mapas correspondientes a los distintos factores que influyen en la protección de los bosques nativos y en la conectividad: $B = \sum p_i x_i$, donde B: mapa de conservación y recuperación de bosques, p: pesos asignados a distancia a bosques existentes, distancia a arroyos y zonas de recarga. A los efectos del cálculo, los factores parciales considerados se han valorado en escalas 0-255 (fuzzy). Se consideró que la mayor capacidad de recarga ocurre entre 3 y 8 % y disminuye con el incremento de la pendiente. Para determinar la intensidad de dicho factor se aplicó una función sigmoideal decreciente, con valores extremos entre 3 y 30 %. Las márgenes de arroyos no constituyen una línea fija y la función adoptada para determinar la intensidad de dicho factor fue sigmoideal decreciente, con valores extremos entre 0 y 100 m, siendo la distancia de 100 m la considerada máxima avenida probable de protección de acuerdo a la Ley 9814. La función adoptada para determinar la intensidad de zonas aledañas al bosque existente fue sigmoideal decreciente, con valores extremos entre 0 y 250 m, siendo la distancia de 250 m la considerada máxima probabilidad de dispersión secundaria y de sobrevivencia de rebrotes.

Se realizó un análisis multicriterio del tipo CLP (*Analysis/Decision Supporti*).

2- Análisis multicriterios booleano. Posibles localizaciones de nuevos emprendimientos urbanos

El objetivo es determinar los sitios posibles a generar nuevos emprendimientos urbanos, se dispuso de la siguiente información digital a manera de restricciones:

Restricciones:

- **Criterio “not” distancia “buffer” a bosques:** se consideraron tres distancias a proteger desde el borde del bosque nativo: buffer de 50 m, buffer de 100 m y buffer de 250 m de los parches de bosques existentes en el año 2014.
- **Criterio “not” urbano.** Los emprendimientos urbanos no pueden estar donde ya está urbanizado.
- **Criterio “not” zona buffer de 250 m borde de cantera.** Los emprendimientos urbanos deben estar a distancias no inferiores a los 250 m del borde de cantera.

- **Criterio “not” distancia buffer de 500 m a la toma de agua:** Los emprendimientos urbanos deben estar a distancias no inferiores a los 500 m de la toma de agua de la Cooperativa de agua y servicios de Agua de Oro.
- **Criterio “not” distancia buffer de 100 m a los ríos.** Los emprendimientos urbanos no deben estar a distancias no inferiores a 100 m de las zonas de mayor recarga.
- **Criterio “not” subcuenca alta de Chavacaste.** Los emprendimientos urbanos no deben estar en las zonas de nacimiento de ríos.
- **Pendientes entre 0 a 10 %** calculados a partir del DEM, con una resolución espacial de (píxel) de 30 x 30 m en un fichero raster. Los emprendimientos urbanos pueden estar en las zonas con pendientes inferiores a 10 %.

Confección cartográfica: Se aplicaron técnicas cartográficas en ARCGIS para la construcción de los siguientes mapas: Cuenca de Chavacaste, Agua de Oro sobre una imagen Spot5 (Resolución 10 m), combinación multiespectral RGB (rojo, verde y azul), de 4 de enero de 2014, path 684, row 413. Modelo digital de altitud y ubicación política de la cuenca. Mapa Falso color compuesto RGV Landsat 2014, Mapa de latitud, Mapa de ubicación política, Mapas de la cuenca con de Imágenes satelitales compuestas 2007 y 2013, Mapa de sector “nuevo emprendimiento” Ticupil, Mapa de cobertura de 1998, Mapa de cobertura de 2006, Mapa de cobertura de 2010, Mapa de cobertura de 2014, Mapa de altitud y ríos de la cuenca alta de Chavacaste.

BIBLIOGRAFÍA CITADA CONSULTADA

Aldrich, John H. and Forrest D. Nelson, 1984. Linear, Probability, Logit, and Probit Models (in Series L Quantitative Applications in the Social Sciences). (Newbury Park: Sage University Publication).

Baudino G. 2010. Agua potable en Agua de Oro: situación actual y recomendaciones. Agua de Oro, Departamento Colón, Provincia de Córdoba Argentina. Informe inédito

Bürgi M., Hersperger A.M. and Schneeberger N. 2004. Driving forces of landscape change-current and new directions. *Landscape Ecology* 19: 857-868.

Capitanelli R. 1979a. Geomorfología. En: Vázquez J., Miatello R., Roque M. (Eds). *Geografía Física de la Provincia de Córdoba*. Ed. Boldt, Buenos Aires, pp. 213- 296.

Capitanelli R. 1979b. Clima. En: Vázquez J., Miatello R., Roque M. (Eds). *Geografía Física de la Provincia de Córdoba*. Ed. Boldt, Buenos Aires, pp. 45-138.

Chuvieco E. 2006. *Teledetección Ambiental. La Observación de la Tierra desde el Espacio*. Editorial Ariel Ciencia, Barcelona. 485 pp.

Clark W. A. and Hosking P. L. 1986. *Statistical Methods for Geographers*. New York: John Wiley & Sons.

Escuin S., Navarro R. and Fernández P. 2008. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. *International Journal of Remote Sensing* 20: 1053–1073.

Eastman J.R. 2009. *Idrisi Taiga. Land Change Modeller*. Clark Labs. Clark University. Worcester. MA. USA.

Fernández D. S., Lutz M. A. 2010. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology* 111: 90–98.

Forman R.T.T. 1995. *Land Mosaics. The ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press. 632 pp.

Geist H.J. and Lambin E.F. 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience* 52: 143– 150.

Geist H.J. and Lambin E.F. 2004. Dynamic Causal Patterns of Desertification. *BioScience* 54: 817 – 829.

Giorgis M. A., Cingolani A. M., Chiarini F., Chiapella J., Barboza G., Ariza Espinar L., Morero R., Gurvich D. E., Tecco P. A., Subils R. y Cabido C. 2011. Composición florística del Bosque Chaqueño Serrano de la provincia de Córdoba, Argentina. *Kurtziana* 36: 9-43.

Hong J. y Eastman J. R. 2000. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal Geographical Information Science*, 14: 173-184.

Ivits E., Cherlet M., Mehl W. and Sommer S. 2013. Ecosystem functional units characterized by satellite observed phenology and productivity gradients: A case study for Europe. *Ecological Indicators* 27: 17–28.

Konrad C.P., Booth D.B. 2005. Hydrologic changes in urban streams and their ecological significance. *American Fisheries Society Symposium* 47: 157–177.

Lambin E.F., Turner B.L., Geist H.J., Agbola S.B., Angelsen A., Bruce J.W., Coomes O.T., Dirzo R., Fischer G., Folke C., Geogre P.S., Homewood K., Imberoni J., Leemans R., Xiubin L., Moran E., Mortimore M., Ramakrishnan P.S., Richards J.F., Skanes H., Steffen W., Stone G.D., Svedin U., Veldakamp T.A., Vogel C. and Xu J. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11: 261–269

Le Houérou H.N. 1984. Rain use efficiency: a unifying concept in arid land ecology. *Journal Arid Environmental* 7: 213-247.

McConnell W., Sweeney S. and Mulley B. 2004. Physical and social access to land: spatio-temporal patterns of agricultural expansion in Madagascar. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 101: 171–184.

Pettorelli N., Vik J.V, Mysterud A., Gaillard J.M., Tucker C.J. and Stenseth N.C. 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change *TRENDS in Ecology and Evolution* 20: 503-510.

Phillips L.B., Hansen A.J. and Flather C.H. 2008. Evaluating the species energy relationship with the newest measures of ecosystem energy: NDVI versus MODIS primary production. *Remote Sensing of Environment* 112: 4381–4392.

Pontius Jr. R.G. 2000. Quantification Error Versus Location Error in Comparison of Categorical Maps. En *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66: 1011-1016.

Ramsey R.D., Wright Jr. D.L., McGinty C. 2004. Evaluating the Use of Landsat 30m Enhanced Thematic Mapper to Monitor Vegetation Cover in Shrub-Steppe Environments. *Geocarto International* 19: 39-47.

Reiners W.A. and Driese K.L. 2001. The propagation of ecological influences through heterogeneous environmental space. *Bioscience* 51(11): 939-950.

Rietkerk M., Dekker S.C., Rutler P.C. and Van de Koppel J. 2004. Self-organized patchiness and catastrophic shifts in ecosystems. *Science* 305: 1926–1929.

Romanelli A, Lima M.L., Massone H. E., Esquiús K. S. 2014. Spatial decision support system for assessing lake pollution hazard: southeastern pampean shallow lakes (Argentina) as a case study. *Wetlands Ecol Manage* 22: 247–265

Sangermano, F., Eastman, J.R., Zhu, H. 2010. Similarity weighted instance based learning for the generation of transition potentials in land change modeling. *Transactions in GIS*, 14: 569-580.

Scheffer M.S., Bascompte J., Brock W.A., Borvkin V., Carpenter S., Dakos V., Held H., van Nes E.H., Rietkerk M. and Sugihara G. 2009. Early-warning signals for critical transitions. *Reviews. Nature* 3: 53 – 59.

Schneider L. and Pontius Jr. R.G. 2001. Modeling land-use change: the case of the Ipswich watershed, Massachusetts, USA.. *Agric. Ecosyst. Environ.* 85: 83–94.

Sellers P.J. 1985. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *International Journal of Remote Sensing* 6:1335–1372.

Serneels S. and Lambin E. 2001. Proximate causes of land-use change in Narok District, Kenya: a spatial statistical model. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 85: 65–81

Tongway D.J., Cortina J. and Maestre F.T. 2004. Heterogeneidad espacial y gestión de medios semiáridos. *Ecosistemas* 13: 2-15.

Turnbull L., Wainwright J. and Brazier R.E. 2008 A conceptual framework for understanding semi-arid land degradation: ecohydrological interactions across multiple-space and time scales. *Ecohydrology* 1: 23–34.

UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification) Secretariat, Fact Sheet. 2002. An Introduction to the United Nations Convention to Combat Desertification and Frequently Asked Questions. UNCCD, Bonn.

United Nations. 1994. Elaboration of an international convention to combat desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa. Final text of the Convention. www.unccd.int/convention/text/pdf/conv-eng.pdf (consultado 20/03/2013).

Vázquez J.B., Robles A.L., Sosa D.F. y Sáez M.P. 1979. Aguas. En: Vázquez J., Miatello R. y Roqué M. (Eds). *Geografía Física de la Provincia de Córdoba*. Ed. Boldt, Buenos Aires. Pp. 213-296.


Walker B., Holling C.S., Carpenter S.R. and Kinzig A. 2004. Resilience, Adaptability and Transformability in Social – ecological Systems. Ecology and Society 9 (2): art 5. [online] URL: [http:// www.ecologyandsociety.org/ vol9/iss2/art5](http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5).

Vázquez-Suñé, E.; Abarca, E.; Carrera, J.; Capino, B. [et al.]. 2006. Groundwater modelling as a tool for the European Water Framework Directive (WFD) application: The Llobregat case. Physics and Chemistry of the Earth, 31(17): 1015-1029.

Washington-Allen R.A., West N.E., Ramsey R.D. and Efroymson R.A. 2006. A protocol for retrospective remote sensing-based ecological monitoring of rangelands. Rangeland Ecology and Management 59: 19-29.

Yaffee R.A. and MacGee M. 2000. An Introduction to Time Series Analysis and Forecasting. Academic Press, 528 pp.

Córdoba, 15 de Octubre de 2014


Dra Alicia H Barchuk


ANDRÉS H. BRITOS