

**EVALUACIÓN ECOLÓGICA RÁPIDA DE UN ECOSISTEMA
URBANO: EL CASO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO
PIRRO, HEREDIA, COSTA RICA.**

**RAPID ECOLOGICAL ASSESSMENT OF AN URBAN
ECOSYSTEM: THE CASE OF THE PIRRO MICRO-RIVER,
HEREDIA, COSTA RICA**

*Marilyn Romero Vargas**

*Lilliana Piedra Castro***

*Ronny Villalobos Chacón****

*Rolando Marín Monge*****

*Francisco Núñez Obando******

RESUMEN

Los sistemas naturales tienen un valor único e irreplicable en sí mismos, ya que son los hábitats de la flora y la fauna autóctonas, asimismo, los espacios libres o las zonas verdes en paisajes agropecuarios o urbanos actúan como equilibradores de las disfunciones ecológicas que la actividad humana introduce. El modelo de crecimiento urbano implementado en las últimas décadas en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica (GAM), carece de sensibilidad y responsabilidad ecológica y ambiental, así lo demuestran los resultados del estudio de caso de un pequeño territorio localizado dentro

* Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: mari.romerov@gmail.com

** Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: lpiedra.sweet@gmail.com

*** Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: rronnyvillalobos7@gmail.com

**** Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: rolmarin@gmail.com

***** Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: frgeoimagen@gmail.com

Fecha de recepción: 16 de marzo del 2011.

Fecha de aceptación: 14 de junio del 2011.

de la GAM, la microcuenca del río Pirro. De acuerdo con los resultados de la Evaluación Ecológica Rápida (EER), los ecosistemas urbanos presentes en el área de estudio se encuentran entre degradados y severamente degradados; desaparición completa del bosque natural ripario, así como del bosque húmedo y muy húmedo premontano, niveles severos de contaminación de la calidad del agua superficial, reducción en la biodiversidad de la fauna (aves, anfibios y reptiles) y alteraciones de la dinámica fluvial del río. Se requiere de estudios más profundos y de mayor temporalidad que permitan evaluar la resiliencia del ecosistema y las posibilidades de una recuperación a mediano y largo plazo. Es necesario además, un cambio en el modelo de desarrollo urbano tradicional, de tal manera que la planificación territorial incorpore la variable ambiental en el ordenamiento, así como una cultura ambiental de responsabilidad con los ecosistemas naturales.

Palabras Claves: Evaluación Ecológica Rápida, ecosistemas urbanos, río Pirro

ABSTRACT

Natural systems have a unique and irreplaceable value in themselves as they are the habitats of native flora and fauna. Likewise, open spaces or green areas in urban or agricultural landscapes act to counterbalance the ecological dysfunction introduced by human activity. The model of urban growth implemented in the last decades in the Greater Metropolitan Area of Costa Rica (GMA) lacks sensibility and ecological and environmental responsibility, as demonstrated in a small territory located in the Pirro River Basin. According to the results of a Rapid Ecological Assessment (REA), the ecosystems in the micro basin range from moderately degraded to severely degraded as shown by the complete disappearance of the natural riparian forest and rain forest, severe levels of contamination of surface water, reduction in biodiversity of the fauna (birds, amphibians and reptiles) and changes in flow dynamics of the Pirro river. A more extensive medium- and longer-term study is needed in order to evaluate the resiliency of the ecosystem and the possibilities of restoration. In addition, it is necessary to change the traditional urban development model in such a way that land-use planning incorporates a culture of environmental responsibility with respect to natural ecosystems.

Key Words: Rapid Ecological Assessment, urban ecosystems, Pirro River

Introducción

El desarrollo de las áreas metropolitanas van configurando territorios urbanos cada vez más extensos promovidos por las necesidades habitacionales y económicas, de la mano con un modelo de crecimiento urbano desplanificado, falta de responsabilidad ecológica y ambiental. Generalmente, la concentración de los asentamientos urbanos se produce en superficies con relieves que van desde planos a plano ondulados, en los suelos de mejor calidad y potencialidad de usos, entre otras razones porque la localización en este tipo de terrenos reduce costos de construcción. La concentración y homogeneización del paisaje urbano, unido a la intensidad de las actividades económicas produce desestructuración y

simplificación de los sistemas naturales. La homogeneización del paisaje urbano genera una pérdida de paisajes agropecuarios y forestales, de espacios abiertos, así como una degradación de los ecosistemas naturales que una vez dominaron el paisaje. Esta tendencia en el modelo de crecimiento urbano continuará si el planeamiento urbano se mantiene igual, tendencia que como señalan Rueda et al. (1999), muestra la falta de sensibilidad y desconocimiento del funcionamiento de los sistemas de la tierra, tanto a escala local como global.

Los sistemas naturales tienen un valor único e irrepetible en sí mismos, ya que son los hábitats de la flora y la fauna autóctonos, que de pronto se ven amenazados o extintos. También es importante recordar la necesidad de espacios libres como equilibradores de las disfunciones ecológicas que la actividad humana introduce, por ejemplo, las masas forestales que producen oxígeno y regulan el CO₂, permiten la ventilación y compensan los desequilibrios climáticos introducidos por los núcleos urbanos (Parès, 1992; citado por Rueda et al., 1999). Los pocos espacios abiertos remanentes en la ciudad, como áreas verdes y espacios agrícolas, no sólo afectan la biodiversidad sino la calidad de vida de los habitantes (Garitano-Zavala y Gismondi, 2003).

Modelos de equilibrio y evidencia empírica señalan que la reducción de la superficie de un ecosistema o hábitat en estado natural así como el aislamiento de un hábitat comporta una pérdida de especies (Bierregaard R.O. y Dale H.V., 2001, p. 186.). El modelo de urbanización actual produce la pérdida de ecosistemas naturales a través de un proceso de fragmentación e inclusive desaparición de la vegetación autóctona, generando con ello cambios en la estructura y función de los ecosistemas acuáticos y terrestres, cambios en la composición y riqueza de las especies y pérdida de diversidad biológica (Fleishman et al. 2005; Brandolin et al., 2007; Silva et al., 2008). El proceso urbanístico intenso simplifica y homogeniza la composición de las comunidades faunísticas como las aves, los insectos, los mamíferos y las plantas, de tal manera que las especies exóticas comienzan a dominar las comunidades (Brandolin et al., 2007).

Uno de los ecosistemas más sensibles a los procesos urbanísticos son los ecosistemas riparios, ya que en ellos confluyen las actuaciones producidas en todo el sistema fluvial o cuenca. Estos ecosistemas, humedales riparios, constituidos por el río y su ribera son tierras transicionales entre

los sistemas terrestres y acuáticos, cuyo nivel de agua está en o cerca de la superficie. Estos ecosistemas son sistemas complejos ya que constituyen "...un eje de interrelaciones entre montañas y valles, un núcleo de procesos de erosión, transporte y sedimentación, un paisaje (...) una corriente discontinúa que (...) fluctúa en el espacio y en el tiempo, sufre crecidas y estiajes, puede no llevar agua durante períodos prolongados de tiempo" (Ollero et al, 2007, p.38).

El funcionamiento hidrológico y ecológico del ecosistema ripario, está definido por las características biofísicas y el uso de la tierra de toda la cuenca; su clima, su topografía, litología, suelo, hidrogeología, geomorfología, sus características biológicas (tipo y densidad de cubierta vegetal) así como por todos los elementos y usos humanos dentro de la cuenca (Ollero et al., 2007), por tanto, el primer paso para entender la estructura y el funcionamiento del río y su ecosistema es conocer el estado general de toda la cuenca para luego profundizar en el estudio del humedal.

Con el objetivo de obtener las bases de información general que permitan profundizar y monitorear a mediano y largo plazo las transformaciones en la estructura y la funcionalidad de los ecosistemas de ribera en un área altamente urbanizada, se realizó una Evaluación Ecológica Rápida (EER) del estado general del ecosistema a nivel de microcuenca hidrográfica o el sistema fluvial. La microcuenca del río Pirro, territorio de aproximadamente 7 km², administrado por tres municipios heredianos: Heredia, San Pablo y San Rafael. El propósito final de la EER es generar insumos para el plan de ordenamiento y recuperación del estado natural de estos ecosistemas. Los resultados son parte del trabajo realizado por el Proyecto Corredor Verde Fluvial del Río Pirro llevado a cabo por la Escuela de Ciencias Geográficas y la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional.

De acuerdo con los resultados, el 73 % de la superficie total de la microcuenca está ocupada por uso urbano, con un incremento del 17 % de este uso en los últimos 20 años. El bosque autóctono, tanto zonal como de ribera, ya para 1989 había desaparecido completamente. La vegetación que hoy en día se presenta, herbáceas, árboles y arbustos, corresponden a especies dispersas localizadas en las márgenes del cauce principal, en aquellos taludes con pendientes superiores al 25%.

El sistema fluvial del río Pirro es geomorfológicamente muy joven (Cuaternario), caracterizado por procesos erosivos propios de cuenca alta, procesos ocurridos sobre rocas volcánicas –coladas de lava, tobas y material no consolidado-. Si bien, uno de los criterios para definir la cuenca alta es la presencia de una fuerte pendiente, en el Pirro predomina una pendiente ondulada del terreno, lo cual obedece a la génesis geológica de la microcuenca, producto de los depósitos de material volcánico proveniente del complejo volcánico Barva. No se observan procesos de deposición de material típico de llanuras de inundación. Por el contrario, lo que se presenta son procesos erosivos y de remoción en masa en la zona de ribera, procesos propios de la dinámica fluvial del río y que se han visto intensificados por el desarrollo urbanístico. El incremento en el volumen y la velocidad del caudal del río, asociados a la reducción en el tiempo de concentración ocasionado por la impermeabilización del suelo, pone en peligro la infraestructura cercana al cauce, infraestructura que en su mayor parte se localiza dentro de la Zona de Protección y en sitios de peligro por las fuertes pendientes y el tipo de material geológico.

Es evidente el mal manejo de los desechos sólidos y las aguas servidas, el cual repercute en la severa contaminación de las aguas del río en muchos.

Por otro lado, los indicadores de pérdida de biodiversidad utilizados en la evaluación, anfibios, reptiles y aves, indican que si bien la pérdida de biodiversidad ha sido grande, aún se encuentran especies de alto valor ecológico. Por tanto, a pesar de la severa degradación en que se encuentra este ecosistema urbano, una intervención a corto, mediano y largo plazo, por parte de las instancias competentes (municipalidades, empresa privada, instituciones, sociedad civil, etc.) podría contribuir a recuperar el funcionamiento del ecosistema, para ello se necesita una planificación territorial estratégica con enfoque de cuencas y una cultura ambiental sensible y responsable con los ecosistemas y el medio ambiente.

Métodos y materiales

El análisis se realizó mediante la metodología de Evaluación Ecológica Rápida (EER) basada en un enfoque ecosistémico. La EER es una metodología diseñada a principio de los noventa por The Nature Conservancy para obtener y aplicar, de manera rápida, información biológica y ecológica

para la toma eficaz de decisiones conservacionistas. El método integra múltiples niveles de información que resultan en mapas actualizados e informe y que describen la vegetación, fauna, así como los usos actuales de la tierra, cuya síntesis y análisis permite hacer recomendaciones sobre el uso de la tierra y las actividades de conservación en las áreas de estudio. La EER provee información base para desarrollar los programas de monitoreo a largo plazo de los procesos ecológicos y ambientales y de los recursos naturales en relación a las acciones que se ejecuten.

Si bien las EER fueron diseñadas para determinar en una forma rápida las características de paisajes completos e identificar aquellas comunidades naturales y hábitats que son únicos o que tienen una importancia ecológica alta, la metodología puede ser aplicada a ecosistemas altamente degradados como los que se encuentran en el área de estudio.

El proceso EER se inició identificando los usos de la tierra presentes en la microcuenca en los últimos veinte años, características físicas de la microcuenca (clima, geología, relieve, morfometría, hidrología, suelos y capacidad de uso de la tierra), posteriormente se elaboró una evaluación del estado del ecosistema ripario, a partir de los indicadores biológicos, la calidad del agua y otros indicadores ambientales.

Las fuentes de información utilizadas en el análisis EER fueron diversas, desde fuentes primarias, trabajo de campo, hasta fuentes secundarias obtenidas de tesis y documentos técnicos. Entre las variables analizadas mediante fuentes primarias están: el mapa de pendientes, las características morfométricas, el inventario de vegetación en las márgenes del río, el uso de la tierra en 2009 y los cambios en el uso de la tierra en los últimos 20 años, así como la identificación de sitios con deslizamientos activos a lo largo del cauce principal. Por otro lado, a partir de fuentes secundarias como informes, tesis y mapas, se realizó una recopilación y sistematización de los aspectos relacionados con la hidrología e hidráulica de la microcuenca y la contaminación de las aguas del río. Además se realizó un levantamiento fotográfico de los problemas ambientales (desechos sólidos, líquidos, sitios con problemas por desbordamiento del cauce, debido a obras ingenieriles inadecuadas o ubicaciones inapropiadas de las construcciones, entubamientos de acequias, etc.).

La información de usos de la tierra se levantó a partir de ortofotos (Catastro, 2005), cartografía oficial del IGN (proyecto JICA; mapa de uso

de la tierra escala 1:10000, 1998) y trabajo de campo (2009). Se procesó en un sistema de información geográfica (ARC GIS 9.3), se realizó el análisis de cambios en el uso de la tierra durante el período de estudio y se elaboró la cartografía respectiva. También se empleó el SIG para procesar, analizar y elaborar la cartografía correspondiente a las variables geológicas, pendientes, red de drenaje y parámetros morfométricos y capacidad de uso de la tierra.

Ubicación y características generales del área de estudio

El sistema fluvial del río Pirro forma parte de la microcuenca del río Bermúdez, el cual a su vez es afluente del Virilla y este, del Grande de Tárcoles el cual desemboca en el Océano Pacífico. Esta unidad natural está localizada dentro de un contexto político administrativo que comprende territorios de tres municipios o cantones de la ciudad de Heredia: San Rafael, Heredia y San Pablo. Del cantón de San Rafael abarca pequeños sectores del distrito Los Ángeles, San Rafael, San Josecito y Santiago. Del cantón de Heredia abarca una gran parte del distrito central de Heredia, así como parte del distrito de Ulloa y San Francisco.

De acuerdo con el último Censo de Población 2000, (INEC, 2000) se desprende que Heredia y San Francisco son los distritos que aportan mayor población a la microcuenca, 12508 habitantes y 10653 habitantes respectivamente, siendo San Josecito el más poblado (15893 hab/km²) seguido por San Francisco (21919 hab/km²). Ulloa representa el distrito con la menor densidad de población (2350 hab/km²) (ver mapa 2). Heredia, San Pablo, Santiago y San Rafael son los distritos con mayor área dentro de la microcuenca. Como cantón, Heredia y San Rafael tienen áreas parecidas dentro de la microcuenca (aproximadamente 3 Km² cada uno), siendo San Pablo el de menor área (aproximadamente 1,2 Km²). No se tuvo registro de cuanta población perteneciente al distrito Los Ángeles habita dentro de la microcuenca. Sin embargo, datos a nivel distrital señalan que todo el distrito tiene la menor población respecto a los otros distritos, patrón que posiblemente se mantenga a nivel de la cuenca.

Todos los distritos, excepto Los Ángeles y Ulloa, presentan densidades de población entre 2000 y 4500 hab/km², siendo San Josecito el distrito más poblado (4400,8 hab/km²), seguido por Heredia (3567,3 hab/km²), San

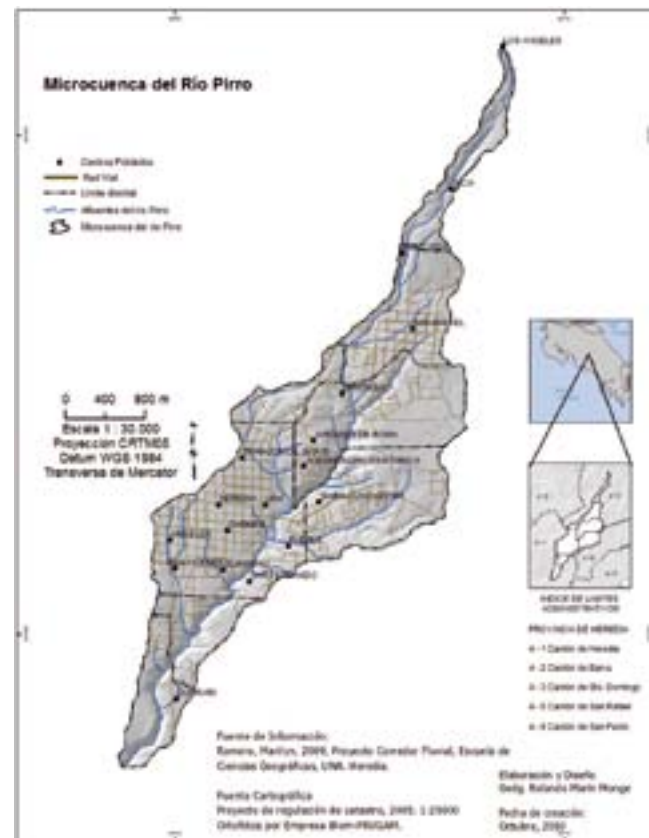
Rafael (3204,1 hab/km²) y Santiago (2277,5 hab/km²). Los Ángeles exhibe las menores densidades (153,6 hab/km²). Ulloa tiene unas densidades medias (969,6 hab/km²).

Para el año 2000, más del 60% de la población que reside en los diferentes distritos que cubren el área de estudio, laboraba en el sector terciario –comercio y servicios–, sea dentro o fuera de la Heredia metropolitana. Los distritos de Heredia, San Pablo y San Rafael son los que presentan mayor población dedicada al sector terciario y Ulloa es el de menor población dedicada a este sector (INEC, 2000)

La actividad agrícola es una actividad marginal. La población ocupada en el sector primario según el distrito es inferior al 5%, excepto en los Ángeles donde la población ocupada en este sector económico llega al 10%, aún así es un porcentaje bajo. (INEC, 2000)

En cuanto a la tasa de ocupación, Ulloa es el distrito con mayor tasa de ocupación (52,9), seguido por Santiago y San Francisco. Llama la atención que Los Ángeles tenga una tasa de ocupación (49,7) mayor que Heredia (48,7). San Josecito presenta la tasa de ocupación más baja (46,7), lo cual implica la segunda tasa de desempleo

Mapa 1. Ubicación de la microcuenca del río Pirro



abierto más alta (4,7). La tasa de desempleo abierto más alta es la de San Francisco (4,8). Ángeles y San Rafael, por el contrario, exhibe la tasa de desempleo abierto más baja (2,3 y 2,4 respectivamente). (INEC, 2000)

Resultados y Discusión de la EER

Características Climáticas

El clima del área de estudio se ha descrito con base en la información de la estación meteorológica de Santa Lucía, la cual se encuentra a una altitud (1200 m.s.n.m) similar a la del Pirro (1420 a 1050 m.s.n.m) y a una distancia muy corta (aproximadamente 3 km) en dirección oeste.

El Pirro exhibe un régimen climático típico del Valle Central, caracterizado por un período lluvioso de mayo a noviembre, con disminución en las precipitaciones durante el veranillo de San Juan en julio y unas temperaturas que se mantienen relativamente constantes durante el año, con pequeñas variaciones diarias y mensuales relacionadas con la cantidad de horas de brillo solar y los cambios en los períodos lluvioso-seco.

La precipitación promedio anual es de 2374,3 mm, siendo los meses más lluviosos setiembre y octubre con montos promedios de 410,88 mm y 424,6 mm, respectivamente. El período seco ocurre entre diciembre y abril, siendo los meses de diciembre y enero los que reciben los menores montos de lluvia; 54,5 mm y 20,4 mm, respectivamente. Abril, aunque con un monto de precipitación mayor (110.1mm), es el mes más caluroso; es un mes de transición entre los dos períodos. La humedad relativa promedio es de 79%; los mayores porcentajes de humedad se registran en octubre (86%), y los menores en febrero (72%) y marzo (71%). (Instituto Meteorológico Nacional, 2007)

Respecto al brillo solar -dado en horas y décimas de hora-, el promedio anual es de 6,1. El máximo de horas de brillo solar se registra entre enero (8,8 h) y marzo (8,9 h); el mínimo (4 h en promedio) se registra durante la época lluviosa (mayo-noviembre).

La temperatura promedio anual es de 20,1°C, la máxima promedio anual 25,1°C y la mínima promedio anual 15,2°C. Abril y marzo registran las temperaturas medias mensuales más altas, 26,6°C y 26,4°C respectivamente, y enero la temperatura media mensual más baja (14,6°C).

De acuerdo con Hernando y Ruiz (2008), el Índice Hídrico es mediano, 150%, para una precipitación promedio anual de 2415 mm, una temperatura promedio anual entre 15,6 y 26,0 y una evapotranspiración potencial de 1524 mm, correspondiendo con una zona climática II.

Por otro lado, Oreamuno y Sánchez (2008) realizaron un análisis estadístico de valores extremos de precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno (PR), con base en datos de la estación Santa Lucía para la parte alta y media de la microcuenca. De acuerdo con el estudio, para un PR de 2 años la precipitación máxima diaria corresponde a 75 mm, para un PR de 5 años el valor extremo de precipitación máxima corresponde a 90 mm, para un PR de 10 años corresponde a 100mm, alcanzando valores máximos de 140 mm diarios para un periodo de retorno de 100 años.

Aspectos geológicos e hidrogeológicos

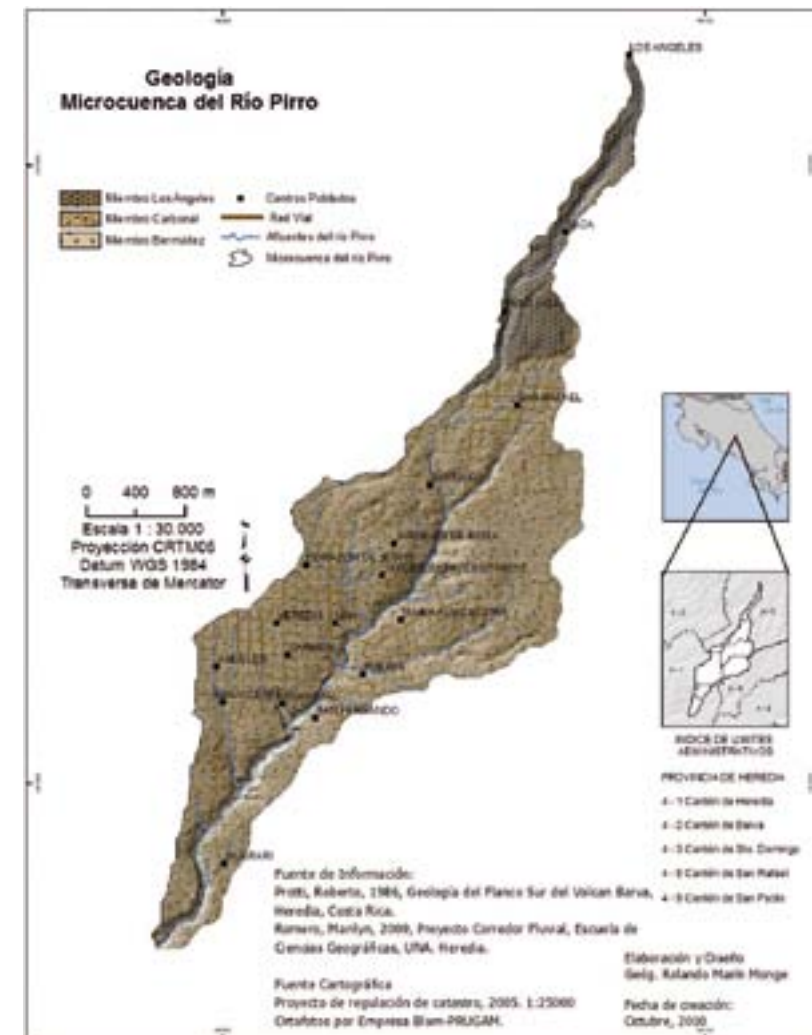
Según Protti (1987), los materiales litológicos más recientes de la Formación Barva, a la cual pertenece la microcuenca del Pirro, corresponden a lavas, tobas y piroclastos. Tres son los miembros de la Formación Barva presentes en la microcuenca: miembro Los Ángeles, compuesto por lavas, miembro Carbonal, compuesto por tobas y el miembro Bermúdez, compuesto lavas (mapa 2). Toda esta secuencia de lavas andesíticas y tobas descansa sobre roca sedimentaria.

Según SENARA (1985), el miembro Los Ángeles está presente entre la naciente –en el poblado Los Ángeles y San Rafael, compuesto por coladas de lava, forma acuíferos discontinuos, colgados y de poca extensión, conocido como el acuífero Barva Superior, el cual presenta una alta permeabilidad secundaria por fisuras y en partes brechosas que originan manantiales en la base. El miembro Carbonal subyace al miembro Los Ángeles desde San Rafael hasta la confluencia del río Pirro con el río Bermúdez, el miembro Bermúdez subyace al miembro Carbonal, donde afloran las lavas en el cauce del río Pirro desde el puente sobre la vía Santiago – San Pablo hasta la confluencia con el río Bermúdez. El miembro Carbonal, desde San Rafael a Heredia, está compuesto de arenas volcánicas gruesas y tobas arcillosas altamente meteorizadas. Esta unidad forma acuitardos de gran extensión que cubren el acuífero Barva Inferior, que descarga parcialmente en numerosos

manantiales que abastecen la ciudad de Heredia. Dicho acuífero puede producir 20 l/seg de agua potable.

Las lavas del miembro Bermúdez afloran debido a la erosión diferencial de los piroclastos sobreyacentes. El río ha escavado sus cauces a través de los piroclastos no consolidados, hasta alcanzar los niveles superiores de las lavas. (Protti, 1987).

Mapa 2. Geología de la microcuenca del río Pirro.



Relieve

El relieve o fisiografía de un lugar, representada por las pendientes del terreno, está relacionada con la geología, el clima y con la dinámica fluvial. Las coladas de lava, como las de los miembros litológicos Los Ángeles y Bermúdez, han dado origen a pendientes más pronunciadas, lo cual se refleja, por ejemplo, en el relieve ondulado a fuertemente ondulado que se encuentra en los sectores de Los Ángeles- San Rafael y en algunas secciones del cauce. Por el contrario, las tobas y depósitos piroclásticos – miembro Carbonal- rellenan superficies generando relieves planos y ondulados, tal como ocurre con el miembro Carbonal presente en San Rafael y Heredia.

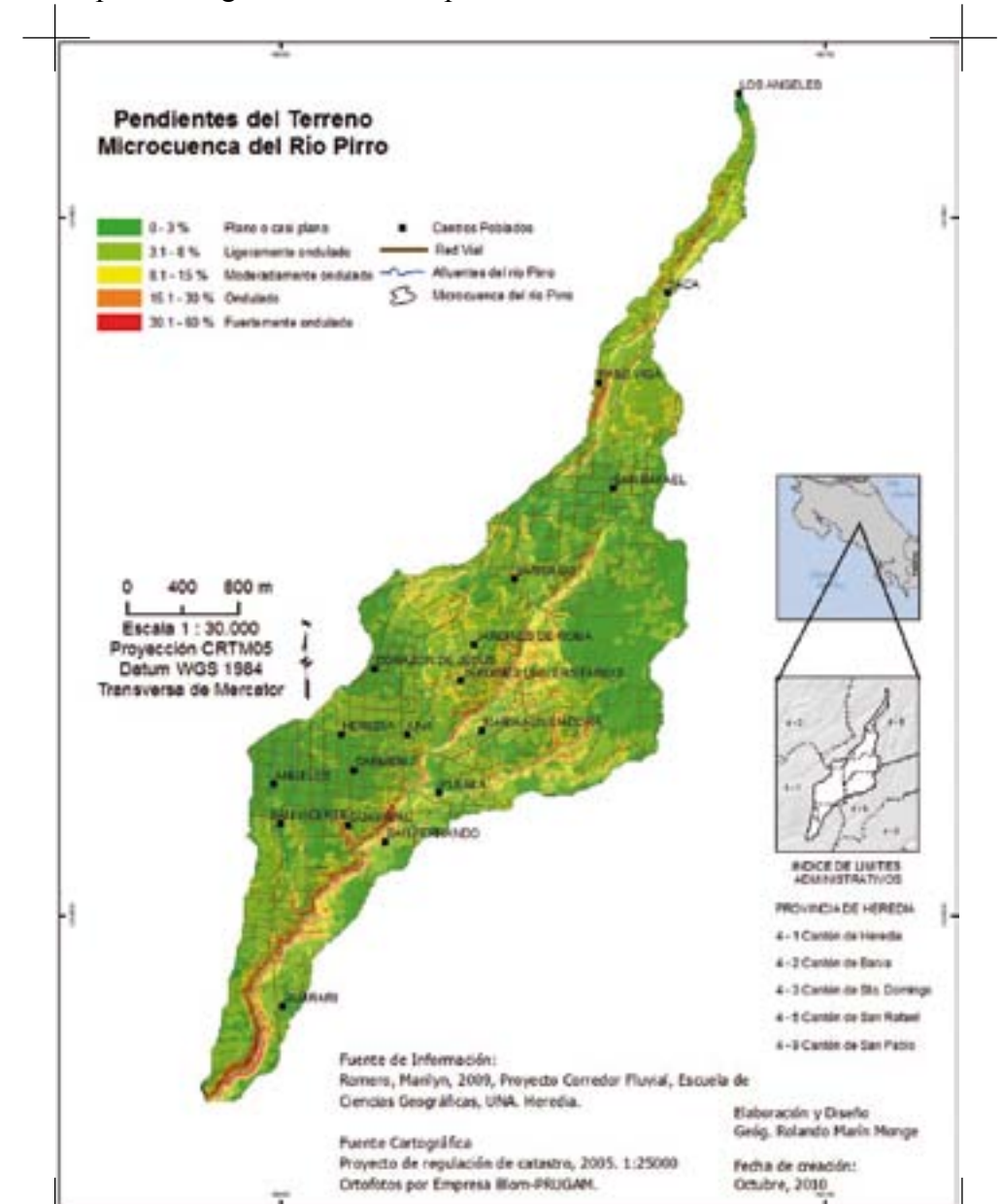
De esta manera, la litología y sus procesos exógenos explican el predominio de pendientes entre planas (0-3%) a moderadamente onduladas (15%), correspondiendo al 93,6% (590,40 Ha) de la superficie total de la microcuenca (736,69 Ha) (mapa 3). Los terrenos con pendientes superiores al 30% - umbral urbanístico, no aptas para construir según el código urbano costarricense- se localizan básicamente en algunos sectores de la zona de protección del río donde afloran las coladas de lava, debido a la profundización del río, lo que explica la intensa ocupación urbana que se presenta en el área.

Tipos de suelo y su capacidad de uso

De acuerdo con los datos del INTA-MAG (2006), los parches remanentes de paisaje agropecuario, se catalogan como: Ultic Melanudants (aquellos localizados en el sector de Los Ángeles a San Rafael); Humic Haplustands, originados por tobas y cenizas volcánicas (desde San Rafael hasta Heredia, incluyendo el sector de San Pablo). En los cauces de los ríos los suelos se clasificaron como misceláneos (mapa 4). En relación a la capacidad agroecológica de uso de la tierra, según los datos del INTA-MAG (2006), en la microcuenca predominan las clases II y III, sobre todo en San Rafael y Heredia - incluyendo el sector de San Pablo-. Hay un pequeño sector en Ponte Vedra con categoría IV, donde aflora la colada de lava del miembro Los Ángeles. La zona de protección del río es clase VII. Según el manual oficial de capacidad de uso de la tierra (MIRENEM-MAG, 1995), las clases de capacidad II y III son tierras de vocación agropecuaria con

pocas limitaciones para los cultivos. Mientras que la vocación agroecológica de la clase VII es la conservación.

Mapa 3. Categorías de Relieve presentes en la microcuenca del río Pirro.



Características morfométricas

El río Pirro es un sistema fluvial exorreico, de poca área, 7,36 km², perímetro de 20 e índice de compacidad de 2.046, expresando la forma alargada que tiene el sistema.

La altura máxima es de 1420 m.s.n.m., representa la elevación máxima del cauce principal ubicado en Los Ángeles de San Rafael, unos 300 metros al noroeste de la Escuela. La altura mínima, 1050 m.s.n.m., está presente en la confluencia del Pirro con el Bermúdez, cerca de Lagunilla de Heredia.

Parámetros morfométricos

	Valores	Unidades
Área	7,36	km ²
Perímetro	20,17	Km
Elevación máxima del cauce principal	1420	metros
Elevación media de la macrocuenca	1218	Metros
Total de cauces (afluentes)	5	Nº
Longitud del cauce principal	9,7	Km
Longitud total de los cauces	12,083	Km
Densidad de drenaje	1,62	Km/km ²
Densidad de cauce	0,81	Nº/km ²
Pendiente media del cauce principal	7,2	m/Km
Orden de cauce principal	2	Nº
Índice de compacidad	2,046	Km/Km ²
Elevación de bifurcación	2	Nº
Altura máxima	1050	M



Figura 1. Red de drenaje y parámetros morfométricos de la microcuenca

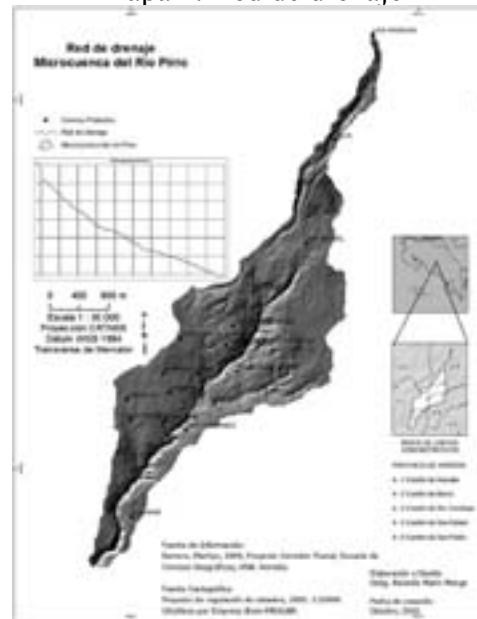
El cauce principal, cuya longitud alcanza 9.7 km aproximadamente, es alimentado por unos 5 afluentes de orden 1, todos provenientes de terrenos urbanizados, muchos de los cuales se encuentran entubados. La red de drenaje con una densidad de 1,62 Km / Km², se puede considerar alta. Esta red fluye en dirección Norte Este – Sur Oeste. El cauce principal es

poco profundo y de naturaleza intermitente en los primeros 2 kilómetros, excepto entre Paso Viga (Copey) (declaratoria de Río por parte del Instituto Geográfico Nacional) y el primer puente de San Rafael, donde adquiere ancho y profundidad reducida. Sin embargo, a partir de Santiago se profundiza o amplía el grado de disección, así como el volumen del caudal hasta llegar a la unión con el Bermúdez, del cual es afluente. Estas características de densidad resultan de suelos muy permeables – tobas del miembro Carbonal- sobrepuestos sobre las lavas de los miembros Los Ángeles y Bermúdez y su permitida permeabilidad por fisuras y materiales brechosos, por su origen volcánico. La impermeabilización del suelo debida al pavimento y construcción urbana, así como al entubamiento de algunos tramos del río y afluentes, ha modificado la dinámica hidrológica e hidráulica de la red de drenaje natural del río.

Aspectos hidrológicos e hidráulicos asociados

Caudales y velocidades. El estudio realizado por Oreamuno y Sánchez (2008), el cual comprende únicamente la parte alta y media de la microcuenca, establece que, bajo las condiciones de uso del suelo del 2008, y sin tomar en cuenta posibles cambios futuros, el río Pirro está “en capacidad de producir crecientes con caudales superiores a los 50 m³/s al menos una vez cada 10 años y caudales que superan los 80m³/s al menos una vez cada 50 años” (p. 17). De acuerdo con los autores, el río ha experimentado un incremento de caudales máximos, relacionado con el incremento en la velocidad de escurrimiento, producto del incremento de la impermeabilización del suelo por el desarrollo urbanístico, sin embargo, el estudio concluye que el Pirro no presenta peligro inmediato de desbordamiento en el tramo estudiado por los autores (de San Rafael al puente de la salida del Campus Omar Dengo). Por otro lado, el estudio señala que el incremento en las velocidades del flujo ha propiciado un proceso de transformación de la sección transversal y el perfil longitudinal del río, proceso que ha intensificado los deslizamientos en los márgenes del río, lo cual pone en riesgo aquellas estructuras muy cercanas al cauce. Las velocidades reportadas por los autores superan los 3m/s, lo cual es considerado altamente erosivo. El estudio concluye que el proceso de modificación del cauce en el tramo del Campus Omar Dengo se incrementará si continúa el proceso de urbanización aguas arriba, ya que los caudales

Mapa 4. Red de drenaje



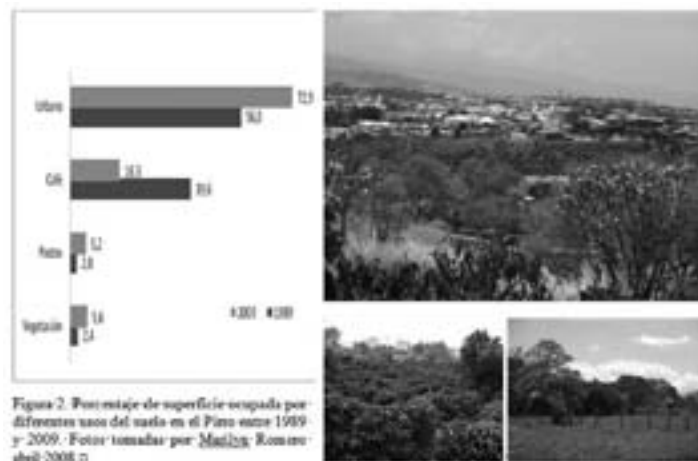
máximos podrían crecer aún más de lo estimado. Es decir, mayores a 31.2 m³/s para un período de retorno (PR) de 2 años y una precipitación de 75 mm, mayores a 87,0 m³/s para un PR de 50 años y una precipitación de 125 mm. Establecieron además que, en el tramo de la propiedad del Campus Omar Dengo - parte media de la microcuenca- las velocidades estimadas, con un caudal de 87 m³/s, oscilan entre los 4 y los 9m/s lo que representan velocidades altamente erosivas.

Estructura del paisaje actual y sus tendencias en los últimos 20 años

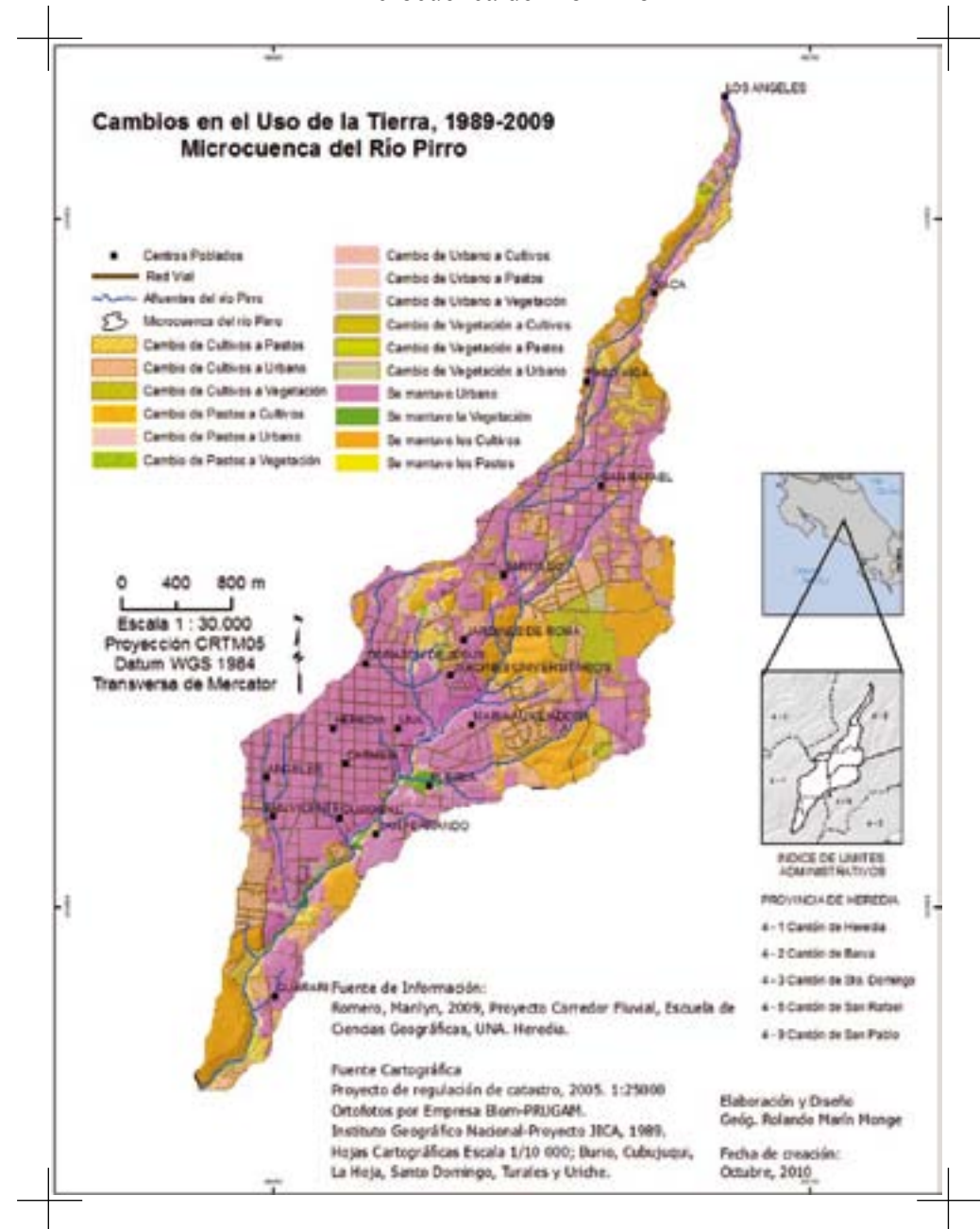
El paisaje actual de la microcuenca es mayoritariamente urbano (73%). El paisaje agrícola queda restringido a una pequeña área ubicada entre el punto de inicio del sistema fluvial, en el poblado de Los Ángeles y Copey de San Rafael, así como pequeños parches de café distribuidos por toda el área de estudio. El paisaje forestal natural, es decir, lo que una vez fue bosque húmedo y muy húmedo premontano, ya para 1998 había desaparecido completamente. La vegetación natural espontánea se reduce a la presencia de árboles y arbustos dispersos, localizados en los márgenes del cauce principal, particularmente en tramos cuya pendiente es superior al 25%; árboles nativos y exóticos dispersos en jardines y parques públicos, importantes para la fauna de este ecosistema urbano, principalmente para las aves.

En términos generales, esta estructura del paisaje se ha mantenido durante los últimos veinte años (mapas 5), con una tendencia al incremento de la ciudad en detrimento

del cultivo de café y de las áreas de pasto. El área urbana se incrementó en aproximadamente un 17% entre 1989 y el 2009, pasando de 412,5 a 536,4 ha aproximadamente (figura 2).



Mapa 5. Cambios en el Uso de la Tierra 1989-2009. Microcuenca del río Pirro



La superficie ocupada por el café se redujo en un 23 % entre 1989 y 2009. Se presentó además un incremento (6%) en el área ocupada por pastos y vegetación en detrimento del cultivo de café. La situación de la vegetación hace unos veinte años, si bien, era similar a la actual en el sentido de que no existía bosque, en la actualidad los resultados muestran un leve incremento (3%) en la superficie ocupada por la vegetación. Vegetación con árboles dispersos localizada a lo largo del cauce principal, particularmente en sitios de taludes con pendientes mayores al 30%.

Indicadores del Estado Actual de los Ecosistemas en la Microcuenca

- **Distribución y composición de la vegetación arbórea y arbustiva**

Según la clasificación de Holdridge (1987), las zonas de vida del área de estudio corresponden al Bosque Húmedo y Muy Húmedo Premontano, sin embargo, el bosque que una vez existió en esta zona ha desaparecido completamente. En su lugar se localizan árboles dispersos –nativos y exóticos- presentes en el interior de los paisajes agrícolas remanentes, jardines de casas de habitación, parques o plazas urbanas, pero sobretodo en las márgenes del río, en aquellas secciones donde sus taludes superan el 25% de pendiente (mapa de vegetación).

De acuerdo con el inventario de vegetación para conocer la composición arbórea y arbustiva de los parches de vegetación presente en ambos márgenes del cauce principal, (Villalobos R, et al, 2010) la especie mayormente registrada corresponde a *Robinsonella lindeniana* (Velo de novia) con 85 individuos, seguida por *Cecropia polyphlebia* y *Croton draco*. El 70% de las especies que se encuentran son nativas, lo cual es favorable.

Se encontraron 25 especies de plantas herbáceas que



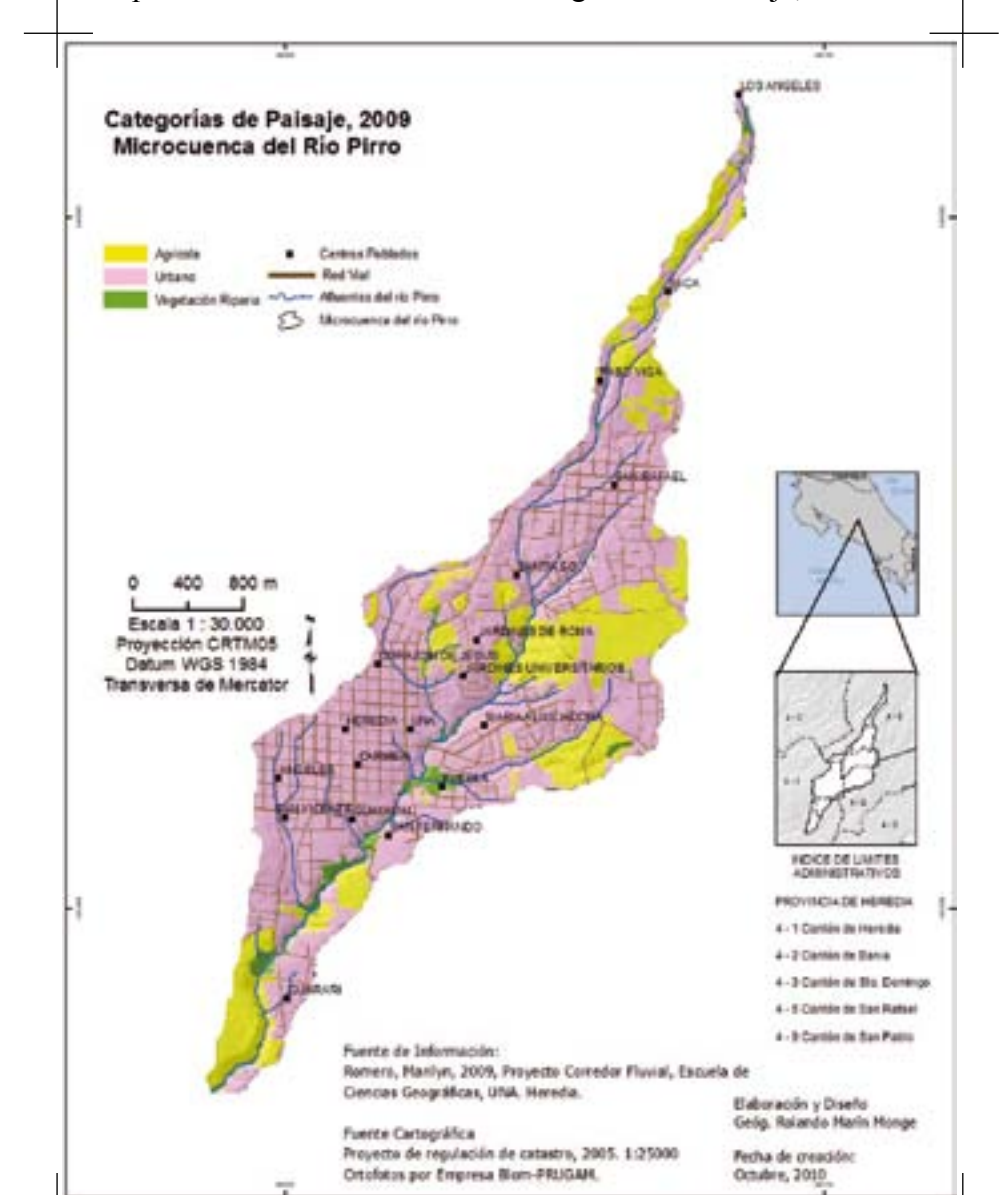
Nombre científico: *Cordia gerascanthus* L.
Nombre común: Laurel negro



Nombre científico: *Sapium glandulosum* L.
Nombre común: Yac

crecen en taludes con 45° de pendiente; como *Blechum pyramidatum* (Acanthaceae), *Yucca guatemalensis* (Agavaceae), *Cyclospermum leptophyllum* (Apiaceae) y *Brickellia difusa* (Asteraceae) (Quesada, 2010).

Mapa 6. Microcuenca Río Pirro: Categorías del Paisaje, año 2009



• Indicadores faunísticos de pérdida de biodiversidad

Piedra et al (2010) reportaron los siguientes resultados:

Anfibios: Los resultados del estudio señalan la presencia de tres especies de anfibios observados en contraste con 35 especies reportadas, lo cual implica una pérdida de 91.8% de las especies totales probables para la zona.

Reptiles: Se reportaron únicamente dos especies de reptiles en el área de estudio, mostrando una pérdida de 93.54 % de las especies totales probables para la zona.

Aves: Mediante búsquedas intensivas en las márgenes de los ríos, los parques, las calles y las urbanizaciones, se observaron 36 especies de aves, con una pérdida de 59.1 % de la ornitofauna reportada históricamente.



Foto 1. *Basiliscus basiliscus*
Tomada por Lilliana Piedra.



Foto 2. *Cheunus marinus*
Tomada por Kimberly Rojas

Como parte de su estudio de tesis, Cordero et al. (2010), preliminarmente reportan 40 especies de aves observadas en los parches de vegetación remanente (cafetales, jardines, parques y vegetación riparia), de las cuales cuatro son migratorias, *Icterus gálbula*, *Dendroica petechia*, *Vermivora peregrina* y *Dendroica virens*, asociadas a los parches de vegetación con menor influencia urbana. De acuerdo con dicho estudio, las especies más comunes observadas son *Turdus grayi*, *Zonotrichia capensis*, *Pitangus sulphuratus*, y *Thraupis episcopus*, que se adaptan fácilmente a todo tipo de ambiente, es común además encontrarlas desde

los parches de vegetación agroforestal en la parte alta hasta los parches de vegetación que se encuentran en la zona urbana ubicados en la parte media de la microcuenca. Algunas especies poseen un bajo rango de tolerancia a la urbanización como es el caso de la *Piranga bidentata*, observada en la parte alta de la microcuenca donde predominan la mayor cantidad de cafetales y jardines, sin embargo, esta no traspasa a la parte media de la microcuenca donde los parches de vegetación son más pequeños y están más alejados por influencia del urbanismo.



Foto 3. *Icterus g. gálbula*
Tomada por: Daniela Cordero



Foto 4. *Thraupis episcopus*
Tomada por: Daniela Cordero

Contaminación de las aguas del río

Las aguas del río Pirro están contaminadas desde su nacimiento, debido fundamentalmente al vertedero de residuos líquidos ordinarios domiciliarios y comerciales, así como al vertedero de desechos sólidos ordinarios en diferentes partes de la microcuenca, los cuales finalmente terminan en el cauce principal del río.



Foto 5. Contaminación del río por desechos sólidos ordinarios. Tomada por: Marilyn Romero



Foto 6. Contaminación del río por desechos líquidos ordinarios -aguas grises- Tomada por: Marilyn Romero

Así lo evidencian las observaciones de campo (fotos 5 y 6) y el estudio realizado por Herrera (2009). Según esta autora, la calidad del agua en el tramo en estudio varió de “contaminación moderada” a “contaminación muy severa”, contaminación que se asocia a la alta densidad poblacional. En la época de transición y en la estación seca, la calidad del agua en el punto Santiago fue clasificada como “contaminación severa” y en los puntos Uriche y La Puebla como “contaminación muy severa”; mientras que en la época lluviosa, el punto Santiago fue de “contaminación moderada” y en los puntos Uriche y La Puebla, de “contaminación severa”. Los puntos Santiago y La Puebla presentaron una alta vulnerabilidad ambiental, independientemente de la estacionalidad; mientras que el punto Uriche presentó poca vulnerabilidad en la época lluviosa y de transición, y una vulnerabilidad significativa en la época seca.

Herrera (2009) concluye que el deterioro de la calidad del agua del río Pirro en los puntos muestreados está relacionada con las actividades agrícolas, residenciales y comerciales desarrolladas en las cercanías del río. Lo cual no es ninguna sorpresa dado que no existe una red de saneamiento ambiental, ni una gestión integral de tratamiento de desechos sólidos, aunque si proyectos aislados en algunas de las comunidades, principalmente en San Rafael.

• Deslizamientos.

La inestabilidad de las laderas –deslizamientos- presente en los márgenes del río el Pirro están localizados geológicamente en el miembro Carbonal, la litología presente corresponde a tobas altamente meteorizadas, por lo que en sectores donde el talud tiene pendientes mayores al 60% las fuerzas cortantes superan a las fuerzas resistentes, proceso que se incrementa con la escorrentía superficial, provocando de esta manera el deslizamiento. Por un efecto geomorfológico el río ha ido profundizando y ensanchando el cauce, primeramente sobre las lavas andesitobasálticas del miembro Los Ángeles, cuya reciente edad y propiedades litológicas no han permitido un socavamiento significativo del cauce, proceso que si ocurre cuando las aguas pluviales se encuentran con las tobas del miembro Carbonal en cuyo punto el caudal escurre sobre un material más blando que sobreyace a la base del miembro Bermúdez de alta dureza litológica. La profundidad del cauce sobre el miembro Carbonal oscila entre 2 y 30 metros hasta

llegar a la base del miembro Bermúdez, entre mayor sea el grosor de las tobas más profundo y ensanchando se encuentra el cauce. Este proceso de ensanchamiento del cauce, debido a que las lavas del miembro Bermúdez forman una barrera para la profundización, generara, en primera instancia, inestabilidad en la base del talud, seguidamente los taludes cederán como proceso natural de normalización de la pendiente de los márgenes. Este proceso natural propio de la dinámica fluvial del río relacionado con la litología de la microcuenca se ha visto acelerado por la impermeabilización urbana de los suelos y el entubamiento de distintas secciones del sistema fluvial. Tres sectores del río pueden ser identificados como expositores de estos procesos de remoción en masa: un primer sector entre el puente cercano al tanque de agua de la ESPH conocido como Copey o Paso Vega y el depósito Rafaeleño, en San Rafael centro. Un segundo sector va de Jardines 2 - en Santiago- hasta el Campus Omar Dengo de la Universidad Nacional en las cercanías al cauce. Un tercer sector desde el puente del Pirro, salida de Heredia, hasta el Guayabal. El mapa 7 muestra la localización de los deslizamientos activos.

Mapa 7. Ubicación de los deslizamientos activos, octubre 2010

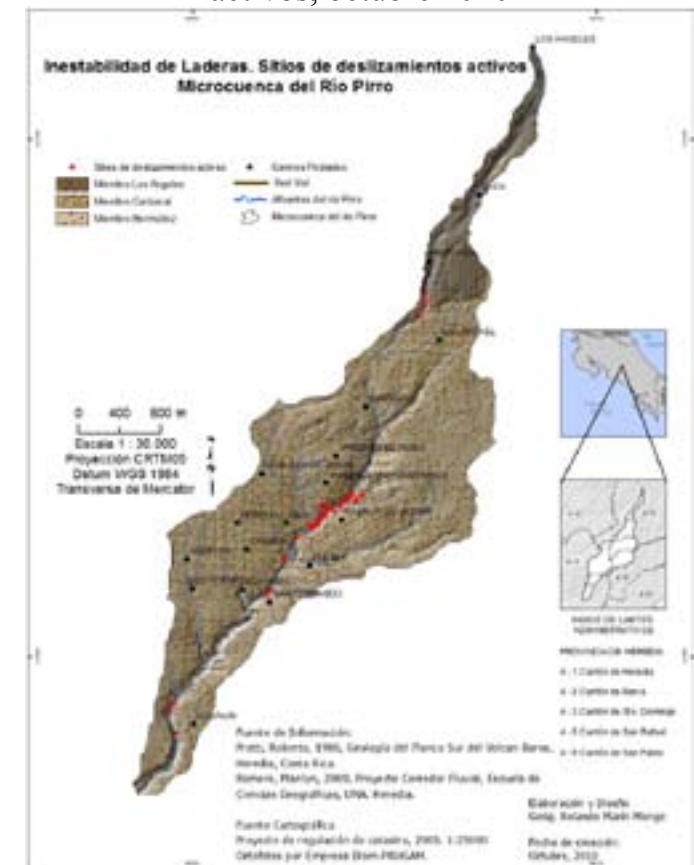




Foto 7. Inestabilidad de las laderas en el cauce del río, sector San Rafael (al costado del Depósito) Derecha. Nótese la ubicación de la vivienda respecto al borde del talud. Izquierda. Gaviones instalados en eventos anteriores con el objetivo de proteger el talud. Sin embargo estos también fallaron debido a un mal diseño. Tomada por Marilyn Romero, 2009.

- **Otros impactos ambientales**

- a. Entubamiento de acequias, de yurros y del cauce principal en diferentes tramos: si bien, el río es declarado como río por el IGN a partir del km² en Paso Viga de San Rafael, el cauce principal del Pirro presenta obras de entubamiento prácticamente desde su nacimiento en Los Ángeles. En la parte alta entre Los Ángeles y Copey el cauce es intermitente, significa que naturalmente sólo debería presentar caudal en la época lluviosa, sin embargo, debido al vertedero de aguas servidas, presenta un caudal permanente. Una manera que ha utilizado la población para manejar las aguas pluviales y servidas ha sido el uso de alcantarillado y otro tipo de entubamiento del cauce. Las fotos de la 10 a la 16 muestran esta situación.
- b. Obras ingenieriles inadecuadas: en este caso, en lugar de construir un puente, se colocaron dos alcantarillas, las cuales se obstruyen por desechos sólidos de grandes proporciones que se lanzan aguas arriba, consecuentemente se produce el desbordamiento del agua sobre la vía pública llegando hasta un residencial ubicado pendiente abajo. Estos problemas ocurren mayormente en San Rafael.



Foto 8. Izquierda: ocupación del suelo en la Zona de Protección Derecha. Artificialización del cauce para reducir la velocidad del agua. Tomada por: Marilyn Romero, 2008

- c. Ocupación de la zona de protección del río: la invasión de la zona de protección de ríos y quebradas (ZPRQ) establecida por la Ley Forestal (7575) es el común denominador a lo largo de todo el cauce principal.

- **Instrumentos de Planificación Territorial**

Desde el punto de vista territorial, la gestión de los territorios localizados dentro de la microcuenca del Pirro es competencia de tres municipalidades: la municipalidad de Heredia, la municipalidad de San Rafael y la de San Pablo. Esto significa 3 planes reguladores, los cuales deberían considerar la fragilidad ambiental, los efectos acumulativos ambientales y el alcance ambiental de la zonificación del uso del suelo y su respectiva reglamentación en materia urbana, según lo establece la SETENA. El alcance ambiental debe estipular, entre otros aspectos, la manera en la que se recuperarán las zonas ambientalmente impactadas antes y después de ejecutarse el plan regulador cantonal.

Esta condición de alcance ambiental aún no es efectiva en ninguno de los tres cantones. Los planes reguladores de Heredia, San Rafael y San Pablo aún no han sido aprobados por todas las instancias correspondientes. En el caso de San Pablo, el Plan Regulador ya cuenta con la viabilidad ambiental por parte de la SETENA, quedando pendiente la aprobación por parte del INVU. En el caso de Heredia, su formulación

aún está en proceso de elaboración. El plan regulador de San Rafael se encuentra de momento sin vigencia.

Revisando las propuestas de zonificación de los tres planes reguladores aún sin aprobación en diciembre 2010, la zona urbana actual y futura propuesta dentro del área de estudio, es aproximadamente un 80% del área total de la microcuenca, lo cual significa que se busca seguir promoviendo el crecimiento urbano horizontal.

Por otro lado, si bien en los tres planes reguladores, la zona de protección de ríos y quebradas (ZPRQ) queda establecida conforme a la ley forestal, la declaratoria de la ZPRQ, importante porque permite regular a futuro los nuevos permisos de construcción en esta zona, no es suficiente si la reglamentación no viene acompañada de una estrategia de recuperación y restauración del ecosistema ribertino. La ZPRQ del Pirro está invadida por la actividad residencial y comercial, y afectada por la contaminación de residuos sólidos y líquidos provenientes de las actividades urbanas localizadas a lo largo de la microcuenca, tal y como lo demuestra el estudio de Herrera (2009). El problema se agrava debido a que no se cuenta con un sistema de saneamiento ambiental. En su lugar, existe tanques sépticos y una obsoleta red de saneamiento en el casco urbano de Heredia que funciona como un gran tanque séptico, cuyos residuos finalmente van a parar al río, a la altura de la parte baja de la microcuenca.

Finalmente, si bien en las propuestas de los tres planes reguladores se contempla una trama verde que sirve como amortiguamiento y mejoramiento ambiental, no está explícito el mecanismo de ejecución de esa dicha trama.

Conclusiones

- El modelo de desarrollo urbano que ha prevalecido y que se mantiene en el área de estudio no promueve una ciudad sostenible desde el punto de vista ecológico y ambiental. Por el contrario, el modelo ha llevado a la degradación casi total de los ecosistemas y el paisaje natural. Los problemas registrados van desde “malos olores”, sobre todo en la época seca, invasión de la zona de protección de ríos y quebradas, pérdida total del bosque zonal y de la vegetación de ribera, contaminación del río y por tanto del ecosistema acuático de ribera, deslizamientos en los

taludes del cauce causados por la dinámica fluvial del río, la cual se ha visto modificada por las actividades urbanas (impermeabilización del suelo, entubamientos, barreras en la dinámica fluvial producto de la invasión del cauce, un caudal constante de aguas residuales, etc.), las cuales incrementan el volumen del caudal, así como la velocidad del agua, afectando la dinámica transversal y longitudinal del cauce. Además de los daños ecológicos, ya se notan los daños en la infraestructura y la afectación a la calidad de vida de la población local.

- Revertir este proceso de degradación parece sumamente complejo y no es posible lograrlo sino mediante una responsabilidad compartida de todos los actores locales, las municipalidades, las instituciones, la empresa privada, la sociedad civil. Importante para ello es la validación y puesta en marcha del Plan Estratégico de Gestión Integral de la Microcuenca, plan formulado por la Comisión río Pirro, así como acciones concretas dirigidas a promover el uso del suelo en la zona de protección del río que establece la Ley Forestal 7575, el desarrollo del proyecto de saneamiento ambiental dirigido por la Empresa de Servicios Públicos de Heredia, mejoramiento en el diseño de puentes y alcantarillado, el proyecto de reforestación con especies adecuadas en la zona de ribera u otros sitios posibles y la aplicación de la reciente Ley de Residuos Sólidos.
- Se requieren estudios técnicos y científicos detallados que permitan monitorear y evaluar procesos ecológicos asociados al deterioro actual, así como aquellos nuevos procesos que conduzcan actuaciones más sostenibles para el ecosistema.

Bibliografía

- Blake, J. G. & Loiselle, B. A. (2000). Diversity of birds along an elevational gradient in the Cordillera Central, Costa Rica. In: *Auk* 117 (3). pp. 663-686.
- Brandolin, P.; R. Martoli & Ávalos, M. (2007). Variaciones temporales de los ensambles de aves de la reserva natural de fauna laguna La Felipa Córdoba, Argentina. En: *Hornero* 22 Vol. 1. pp. 1-8.

- Bieregaard R. O. Jr. y Dale V. H. (2001). Islands in an Ever-Changing Sea: Tahe Ecological and Socioeconomic Dynamics of Amazonian Rainforest Fragments. (Edited by John Schelhas and Russell Greenberg). Forest Patches in Tropical Landscapes. Washington: Island Presse. DC. pp. 187-204.
- Cordero, D.; Ovarés, Lisbeth.; Piedra, L.; Bermúdez, T. y Romero, M. (2010). Riqueza y Composición del ensamble de aves en parches de vegetación en la microcuenca del río Pirro, Heredia, Costa Rica. En: Memoria Congreso Mesoamericano de Biología de la Conservación.
- Crooks, K. R.; Suárez A. V. y Bolger, D. T. (2004). Avian assemblages along a gradient of urbanization in a highly fragmented landscape. In: Conservation Biology No.115. pp. 451-462
- Fleishman, E.; Thomson, J.; Mac Nally, R.; Murphy, D. & Fay, J. (2005). Using indicator species to predict species richness of multiple taxonomic groups. In: Conservation Biology N° 4, Vol 12. pp. 1125 -1137.
- La Gaceta N° 72. (16 de abril, 1996). Ley Forestal de Costa Rica, 7575.
- Garitano-Zavala, A y Gismondi, P. (2003). Variación de la riqueza y diversidad de la ornitofauna en áreas verdes urbanas de las ciudades de La Paz y El Alto (Bolivia). En: Ecología en Bolivia 38 (1). pp. 65-78.
- Holdridge, L. R. (1987). Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica: IICA.
- Hernando L. y Ruiz, A. (2008). Balance Hídrico de la microcuenca del río Segundo. Informe final proyecto de Investigación. Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- Herrera, J. (2009). Caracterización preliminar de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del Campus Universitario Omar Dengo y su impacto sobre el cauce receptor río Pirro. Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Química Industrial. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- INEC. (2000). Censo de Población Costa Rica.
- INTA-MAG. (2006). Capacidad de Uso de la Tierra, Región GAM.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2007). Series de datos de precipitación y temperatura. Período 1997-2006.
- Leenders, T. (2001). A Guide to amphibians and reptiles of Costa Rica. Miami: Zona Tropical.
- MIRENEM-MAG. (1995). Metodología de Capacidad de Uso de la Tierra, Costa Rica.

- Ollero, A.; Ballarín, D.; Díaz, E.; Mora, D.; Sánchez, M.; Acín, V.; Echeverría, M. T.; Granado, D.; González de Matauco, A. I.; Sánchez Gil, L. y Sánchez Gil, N. (2007). Revista Geographicalia 52. pp. 113-141
- Oreamuno y Sánchez (2008). Estudio Hidrológico e hidráulico del río Pirro. Informe presentado a las autoridades de la Universidad Nacional. Escuela de Ciencias Ambientales (EDECA), Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- Piedra, L.; Bermúdez, T. y Romero, M. (2010). Ecosistemas urbanos; sumideros u oportunidades para la conservación. En: Memoria Congreso Mesoamericano de Biología de la Conservación.
- Protti, R. (1986). Geología del Flanco Sur del Volcán Barva, Heredia, Costa Rica. En: Boletín de Vulcanología N° XX. OVSICORI. Heredia, Costa Rica. pp. 23-31.
- Quesada, S. (2010). Plantas herbáceas presentes en los taludes del río Pirro, Heredia, Costa Rica. Práctica Profesional Supervisada. Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional.
- Rueda, S.; Sanz, A.; Cárdenas, F.; Cabrera, P.; Monclús, X.; Figueras, J.; Olivella, M.; Xercavins, J.; Martínez, J.; Tello, E.; Oliveres, A. & Puig, J. (1999). La ciutat sostenible: un procés de transformació. Girona, España: Servei de Publicacions de la Universitat de Girona.
- Romero, H. y Vásquez, A. (2005). Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del piedemonte andino de Santiago de Chile. En: EURE N°94, Vol. 31. pp. 97-117.
- Silva, E.; Ortega, G. & Jiménez, J. (2008). Descripción del ensamble de aves en un agrosistema del sur de Chile. En: Boletín Chileno de Ornitología 14(2). pp. 81-91.
- Skelly, D. K.; Yurewicz, K. L.; Werner, E. E. & Relyea, R. A. (2003). Estimating decline and distributional change in amphibians. In: Conservation Biology No.17. pp. 744-751.
- Villegas, M y Garitano, A. (2010). Bird community responses to different urban conditions in the Paz, Bolivia. In: Urban Ecology 13. pp. 375-391.
- Villalobos, R.; Romero, M.; Piedra, L. y Bermúdez, T. (2010). Composición arbórea y arbustiva actual de la Zona de Protección del Río Pirro. En: Memoria Congreso Mesoamericano de Biología de la Conservación.