

V. ARTÍCULO 1: DINÁMICA DE CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PURIRES CON ÉNFASIS EN LAS ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA DE LAS LOCALIDADES CORIS, GUATUSO Y SAN ISIDRO, COSTA RICA¹¹

RESUMEN

Samaniego, N. 2013. Análisis de vulnerabilidad en zonas potenciales de recarga hídrica por efectos de cambios de uso de suelo y por variabilidad climática en la Microcuenca del Río Purires, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 143 p.

El trabajo se realizó en la microcuenca del Río Purires, que se encuentra ubicada en la zona alta de la cuenca del río Reventazón a 10 km al sur oeste de la ciudad de Cartago (Costa Rica). El estudio tuvo como finalidad identificar y analizar la dinámica de cambio de uso de suelo tanto a nivel de la microcuenca como a nivel de las zonas potenciales de recarga hídrica de tres localidades del sector: Coris, Guatuso y San Isidro.

Para la identificación de las zonas potenciales de recarga se utilizó tanto la metodología desarrollada por SINAC-MINAET/SENARA así como la información cartográfica generada en investigaciones anteriores relacionadas a identificación de zonas de importancia hídrica. Posteriormente, para el análisis multitemporal, se generaron mapas de uso de suelo para dos fechas (1997 y 2011) y mediante el software IDRISI se modeló el cambio de uso de suelo y se generó un mapa tendencial al 2020. Se mapearon 11 categorías de uso.

Los principales resultados que se obtuvieron determinan que en general, la microcuenca presenta un aumento de cobertura boscosa del 1,36% con respecto al año base. Sin embargo su matriz es netamente agropecuaria, siendo los pastizales la categoría de mayor ocupación (35%). De la misma manera, se pudo determinar que de las categorías que indican algún tipo de actividad productiva, los cultivos perennes y los cultivos anuales son los usos que a la fecha presentan mayores áreas de ocupación, en total su extensión es equivalente al 14,2 % de la superficie. Las transiciones más evidentes, estuvieron dadas por cambios entre las categorías “invernaderos a pastizales” (161,2 has) y espacialmente están ubicadas en las zonas medias-altas de la microcuenca.

¹¹ Natalia Samaniego Rojas. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE). Costa Rica. Maestría en manejo y gestión de cuencas hidrográficas. Especialidad en prácticas del desarrollo. 2012. E-mail: nsamaniego@catie.ac.cr

Por otro lado, los estimados para el 2020, indican que, la mayor pérdida se dio en la categoría de bosques con un aproximado de 114 has y la categoría que tuvo mayor incremento fueron las áreas urbanizadas, principalmente en las zonas bajas de la microcuenca.

La dinámica en cuanto a las zonas de recarga hídrica, muestran que para el sector de Coris, los mayores cambios estuvieron relacionados a procesos de deforestación con valores que llegan a 40,79% , mientras que para la zona de San Isidro la tendencia está direccionada a un aumento en la cobertura, aproximadamente el 63% de la superficie en análisis corresponde a ganancia de las categorías charrales y bosques secundarios y, finalmente en el sector de Guatuso, se pudo evidenciar que la pérdida de cobertura boscosa se da pero en pequeñas extensiones, y lo que se destaca en esta localidad es el alto nivel de estabilidad a nivel de las categorías mapeadas, principalmente del bosque (80%).

Palabras clave: cambio de uso de suelo, zonas potenciales de recarga hídrica, análisis multitemporal.

4.1. INTRODUCCIÓN

En todo proceso de desarrollo en la dimensión en la que se lo entienda, las interacciones de los seres humanos con los elementos biofísicos de un territorio generan cambios estructurales a nivel de paisaje/ecosistemas y en definitiva de sus recursos naturales. El impacto más evidente de estas interacciones de tipo social-biofísico sin duda se visualiza en el cambio de la cobertura de una determinada zona (Koomen *et al.* 2008).

Entre las causas que generan cambios drásticos en un paisaje figuran aspectos de tipo: a) demográficos: incremento de población y patrones de asentamiento, procesos migratorios b) económicos: cambios en las condiciones macroeconómicas de un país, tendencia y acceso a los mercados, procesos de urbanización e industrialización, entre los aspectos de mayor importancia (Pérez y Valenzuela 2006; Galicia *et al.* 2007).

La conversión de la tierra puede afectar suelo, agua y atmósfera, ocasionando externalidades vinculadas directamente con aspectos ambientales de incidencia global. La evaluación oportuna y precisa de los patrones de ese cambio permite no sólo conocer el impacto y sus causas específicas sino además, su cuantificación y ubicación, contribuye a la determinación de áreas prioritarias de intervención (Meyer y Turner 2007 citado en Koomen *et al.* 2008).

En las últimas décadas, los avances tecnológicos han permitido desarrollar, actualizar y mejorar varios softwares para el análisis espacial del territorio, esto sin duda ha contribuido a contar con herramientas suficientes para evaluar el estado actual de ocupación del territorio así como prever su evolución futura. De la misma manera, la simulación prospectiva proporciona una eficaz herramienta para el establecimiento o mejoramiento de políticas e implementación de acciones correctivas y/o de planificación territorial (Rubio *et al.* 2005; Pineda *et al.* 2009; Camacho *et al.* 2010).

En el presente estudio se realiza un análisis espacio-temporal de la dinámica del uso de suelo a nivel de una pequeña microcuenca ubicada en los cantones El Guarco y Cartago, con el objetivo de evaluar la influencia del cambio de uso de suelo en las zonas potenciales de recarga hídrica de tres localidades de esta unidad hidrográfica: Guatuso, Coris, San Isidro.

4.2. METODOLOGÍA

4.2.1 Descripción general del área de estudio

En el presente capítulo se detalla cada una de las fases metodológicas que se llevaron a cabo para la concreción de cada uno de los objetivos planteados.

4.2.2 Descripción general del área de estudio

La microcuenca del Río Purires se encuentra ubicada en la zona alta de la cuenca del Río Reventazón, aproximadamente a 10 km al sur oeste de la ciudad de Cartago. Está conformada por ocho distritos¹² distribuidos en los cantones Central y El Guarco de la provincia de Cartago (Carrillo y Carrillo 2005). El distrito con mayor superficie dentro de la microcuenca es Tobosi con aproximadamente 1 948,21 Has.

La microcuenca tiene un área aproximada de 76, 27 km², esta superficie a nivel de la cuenca Reventazón - Parismina corresponde al 2,6%. Se distribuye en un rango altitudinal que va desde los 1370 hasta los 2 200 msnm y geográficamente se encuentra en las siguientes coordenadas: 1 083 100 N/496 666,6 E y 1 093 600 N/504 666,6 E.

El cauce principal es el Río Purires, cuya longitud alcanza los 14,4 km de recorrido. Este Río nace en los cerros de Patio de Agua a 2 200 msnm, confluye con el Río Reventado y da origen al Río Aguacaliente, que a su vez desemboca en el Reventazón (Medina 2005). El sistema hidrográfico presenta un patrón de drenaje de tipo dendrítico, es decir, se encuentra formado por un curso principal con afluentes primarios y secundarios que son de tipo irregular, los cuales cubren áreas amplias y llegan al cauce principal formando diferentes ángulos (Bonini y Guzmán 2003).

Tras el análisis de los principales índices morfométricos¹³, se puede inferir que esta unidad geográfica presenta un sistema de drenaje con alta eficiencia en la evacuación de las aguas lluvias y que bajo condiciones de máxima precipitación, los grandes volúmenes de agua provocados por las altas tasas de escurrimiento, generan en la mayoría de los casos un ascenso en el nivel del caudal. Estas características aunadas a la inestabilidad de laderas, procesos de tipo erosivo, sedimentación de los cauces y baja capacidad hidráulica ocasionan problemas de inundaciones en las zonas correspondientes a la cuenca baja, formada por el Valle del Guarco (Solís *et al.* 1993; Arce *et al.* 2006).

¹² Aguacaliente, Guadalupe, Patio de agua, Quebradilla, San Isidro, San Nicolás, Tejar y Tobosi

¹³ Índice de compacidad (0,78); Índice de circularidad (0,68); densidad de drenaje (5,81 km/km²), pendiente media del cauce (15,34°) y orden de corrientes (4)

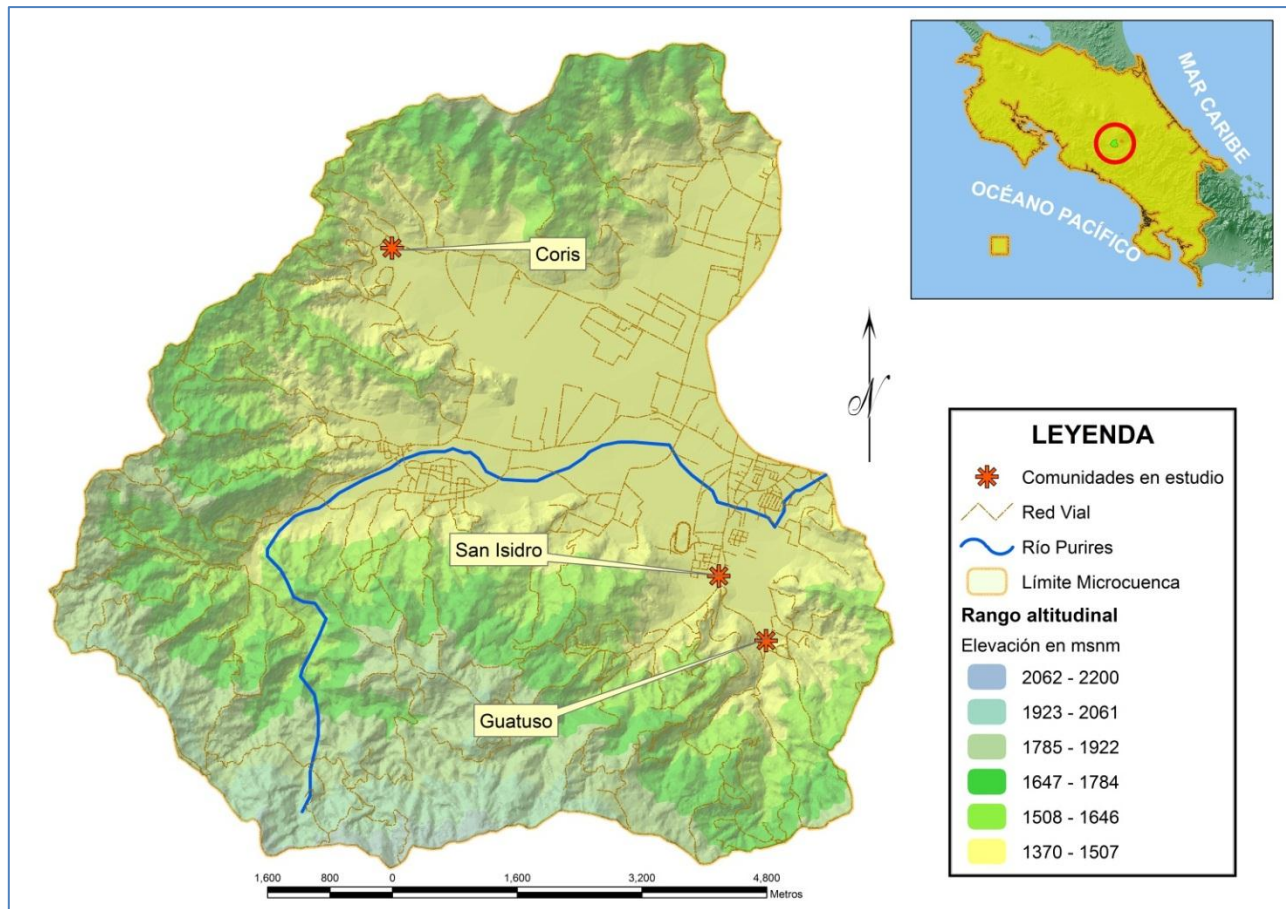


Figura 6. Mapa de ubicación de la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia con base en cartografía digital del Proyecto Terra 1998/Proyecto sobre base de datos territoriales CENIGA – MINAE 2008. Escala original: 1:25 000

4.2.3 Proceso metodológico

4.2.3.1 Mapa temporal de uso de suelo para la microcuenca del Río Purires

Para generar la información correspondiente al uso del suelo se utilizó fotografías aéreas del año 1997 (t_1) a escala 1:40 000 del proyecto Terra así como la imagen satélite “rapid eye” del año 2011 (t_2) con resolución de píxel 5 m. Con esta información se siguió el siguiente procedimiento.

Corrección de imágenes: El procedimiento para corregir errores propios de las fotografías convencionales (desplazamiento, distorsión del terreno), se realiza mediante la

ortorectificación¹⁴, en este proceso se combinan los rasgos cualitativos de las fotografías aéreas y la calidad geométrica cartográfica lo que a su vez permite remover la distorsión geométrica de la imagen y así obtener imágenes planimétricamente correctas que representan los objetos del terreno en sus verdaderas coordenadas x,y (Fallas 2004; Ramírez 2008).

Para la ortorectificación de las imágenes, se trabajó con el programa ERDAS (módulo LP), en el cual se incorporó información correspondiente a las características de las imágenes (resolución de escaneado 900 dpi, parámetros del sensor de la cámara, marcas fiduciales), modelo digital de elevación (DEM) con resolución de pixel 5m y puntos de control tomados a partir de la red vial generada en el año 1998 por el proyecto Terra.

Fotointerpretación y digitalización de usos de suelo: La digitalización se la realizó a escala 1:10 000 con una unidad mínima de mapeo correspondiente a 1 000 m². El proceso de fotointerpretación se validó con información de campo (visitas y georeferenciación de diferentes usos de suelo), para la digitalización se establecieron cinco categorías de uso de suelo a mapear y 11 subcategorías que se exponen a continuación en el cuadro 1.

Para determinar cambios entre los periodos evaluados ($t_1=1997$ y $t_2= 2011$), se elaboró en primer lugar el mapa correspondiente al periodo t_2 y con esta información se procedió a digitalizar el mapa para el periodo t_1 , tal como establecen Brenes (2009) e Yglesias (2011). La sobreposición de los mapas temáticos para los dos periodos de ocupación de uso de suelo permite no sólo conocer los cambios existentes en términos de superficie sino también localizar los cambios sucedidos entre estas fechas.

¹⁴ En este proceso se remueve la distorsión geométrica de la imagen, por lo tanto estas imágenes son planimétricamente correctas y representan los objetos del terreno en sus verdaderas coordenadas X , Y (Ramirez 2008)

Cuadro 1. Categorización de usos de suelo en la microcuenca del Río Purires

Categorías	Subcategorías	Codificación		Descripción
Forestal	Plantaciones forestales	1	PF	Corresponde a plantaciones de coníferas (ciprés, pino, eucaliptos, casuarinas).
	Bosque secundario	2	BS	Es la vegetación que se caracteriza por la presencia dominante de árboles disetáneos y otra vegetación leñosa, de porte variado, cuyo ciclo vegetativo individual es mayor a 10 años. Corresponden a superficies de tierra compuesta por vegetación leñosa de carácter sucesional que se desarrolló una vez que la vegetación original ha sido eliminada por actividades humanas y/o fenómenos naturales)
	Charrales/tacotales	3	CT	Conformados por vegetación arbustiva, árboles de altura de hasta 5 m (regeneración natural), generalmente se desarrollan en zonas donde existió algún tipo de actividad productiva.
Agropecuaria	Cultivos anuales	4	CA	Son aquellas plantas que exigen, durante su ciclo vegetativo (un año o menos), la preparación periódica del terreno a través de su laboreo o mecanización, en estos procesos se ocasiona una gran alteración del suelo.
	Cultivos perennes	5	CP	Esta conformada por vegetación de tipo arbustivo y/o arbóreo y de ciclo vegetativo superior a cinco años asociada a alguna actividad agrícola.
	Pastizales	6	PZ	Poseen una composición florística dominada por gramíneas y leguminosas herbácea, arbustiva y arbórea, así como especies leñosas de valor forrajero. Dentro de esta subcategoría se incluyen sistemas de pastos en asociación con árboles dispersos o con arreglos silvopastoriles, tales como cercas vivas, pasturas en callejones y otros.
	Invernaderos	7	IN	Infraestructura para producción agrícola.
	Unidades agrícolas heterogéneas	8	UAH	Corresponden a usos mixtos, dentro de esta subcategoría se incluyen sistemas productivos donde no se ha podido diferenciar entre cultivos, pastizales y plantaciones forestales.
Suelo desnudo	Suelo desnudo	9	SD	Zonas donde se ha eliminado completamente la cubierta vegetal, se incluyen tajos mineros.
Infraestructura	Zonas Urbanizadas	10	ZU	Se incluyen áreas de concentración urbana y zonas de desarrollo industrial.
Cuerpos de agua artificiales	Cuerpos de agua artificiales	11	CAA	Constituidos por espejos de agua artificiales tales como plantas de tratamiento de aguas residuales, lagunas de oxidación, lagunas de depósito de material y otras.

Fuente: Elaboración propia

Análisis multitemporal: Los resultados de la fase anterior permitieron generar el análisis correspondiente a las variaciones en la dinámica de uso del suelo con respecto a los periodos estudiados. A partir de las clasificaciones y categorizaciones generadas para cada periodo (1997 y 2011) se evaluó los cambios significativos durante los periodos considerados para la presente investigación.

Los cambios en el uso de suelo se han analizado en dos dimensiones, en magnitud y dirección de cambio. La primera indica en términos de superficie de suelo, el porcentaje de cambio de uso durante los periodos evaluados, mientras que el segundo aspecto revela la tendencia del cambio, en este punto se identifica los usos del suelo con mayor variación en su superficie, así como las ganancias y pérdidas (Meneses 2000; Mendoza y García 2011).

En el análisis de la dinámica de cambio de uso del suelo se generaron matrices de transición con el software ArcGis 9.3, estas matrices, son tablas con arreglos simétricos que contienen la información correspondiente a los usos de suelo del año base en correspondencia con los usos de suelo para el segundo periodo analizado, así, cada una de las celdas de la diagonal principal de la matriz representa la superficie (ha) de cada categoría de uso de suelo que permaneció en la misma categoría en el tiempo considerado, mientras que el resto de las celdas estiman la superficie de un uso o cobertura que migró a otra categoría (Dirzo y Masera 1996 citado en Mendoza *et al.* 2001; Pineda *et al.* 2009)

En la matriz se identifican tanto las ganancias como pérdidas de superficie para cada una de las categorías, así, las “*ganancias*” de cada uso de suelo se determinaron restando el total de cada fila menos el valor correspondiente a la persistencia; mientras que, las “*pérdidas*” fueron calculadas mediante la diferencia existente entre el total de cada columna y la persistencia tal como se ilustra en el cuadro 2 (Pontius *et al.* 2004).

Cuadro 2. Ilustración de una matriz de transición para los periodos t_1 y t_2

		Clases temáticas en la fecha inicial (t_1)				Total periodo t_2	Ganancias (G)
		Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría n		
Clases temáticas en la fecha final (t_2)	Categoría 1	Persistencia (P)				T_2C_1	(T_2C_1-P)
	Categoría 2		Persistencia			T_2C	T_2C_2-P
	Categoría 3			Persistencia		T_2C_3	(T_2C_3-P)
	Categoría n				Persistencia	T_2C_n	(T_2C_n-P)
	Total periodo t_1	T_1C_1	T_1C_2	T_1C_3	T_1C_n		
Pérdidas (P)	(T_1C_1-P)	(T_1C_2-P)	(T_1C_3-P)	(T_1C_n-P)			

Fuente: Pontius *et al.* (2004)

La construcción de esta matriz muestra en un inicio la tendencia de los cambios producidos en el territorio de manera muy general. López y Plata (2009), indican que generalmente en el análisis de las matrices de tabulación cruzada o de transición se ofrece información importante pero limitada y muchas veces el análisis exclusivo de este tipo de matrices pueden llevar a entendimientos erróneos acerca de la dinámica de los cambios en el territorio, por este motivo, es importante adicionar información que permita entender de manera amplia y real los potenciales procesos que determinan un patrón de cambio en la cobertura del suelo.

Para el presente análisis, se incorpora información sobre el “cambio neto” de cada categoría, este valor es calculado mediante la diferencia (en términos absolutos) del total de cada categoría en el periodo t_2 y el total de cada categoría en el periodo t_1 , su cálculo nos da un primer indicio sobre los cambios en el paisaje pues un cambio neto en la cantidad de una categoría indica un cambio definitivo sobre el paisaje (Pérez y Bosque 2008).

Sin embargo, en ocasiones se puede subestimar el verdadero valor de la transición pues, un cambio neto igual a cero no necesariamente indica una falta de cambio, por este tipo de razones se calcula análogamente el valor de intercambio, que es equivalente al doble del valor mínimo de las ganancias o pérdidas de cada una de las categorías en análisis (Pontius *et al.* 2004; Pineda *et al.* 2009; Oñate-Valdivieso 2011), e indica el valor que cada categoría ha tomado con respecto a una categoría diferente (López y Plata 2009).

Para determinar la “*tasa de cambio*” de uso de la tierra se utilizó la expresión matemática de la FAO (1996)¹⁵ :

$$T = \left\{ \left[\left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{\frac{1}{n}} \right] - 1 \right\} * 100$$

De donde, T es la tasa de cambio, S_1 y S_2 son las superficies de uso del suelo en el tiempo inicial y tiempo final, respectivamente. La variable n corresponde a la amplitud del periodo evaluado, es decir, el número de años entre periodos. Este parámetro expresa el cambio (en porcentaje) de la superficie al inicio de cada año, muestra de una manera muy clara las tasas de conversión entre coberturas o usos identificados. Los valores que se disponen por debajo del cero indican las categorías que están perdiendo y las que son mayores a cero presentan ganancias (Velázquez *et al.* 2002).

Para finalizar el análisis espacio-temporal de los usos de suelo, se adaptó el modelo propuesto por Velázquez *et al.* (2002) para identificar los cambios (pérdidas/ganancias) en términos de procesos correspondientes a: a) alteración/cambio, b) deforestación, c) revegetación/sucesión, d) falso cambio¹⁶.

Modelación de usos de suelo para el periodo 2020 (Escenario tendencial): Para la modelación de los cambios de uso de suelo se utilizó el software IDRISI Selva (módulo Land Change Modeler-LCM- y CA_Markov), con estas herramientas se procesó la información y se determinó la magnitud de los cambios, los patrones espaciales de los cambios sucedidos y la localización de los cambios futuros (escenario tendencial al 2020).

Paegelow *et al.* (2003); Camacho *et al.* (2010), indican que la función CA_Markov de IDRISI se basa en la función Markov que permite el cálculo de las matrices de probabilidades de transición, es decir, la función permite integrar la modelización temporal basándose en un análisis cronológico de la ocupación del suelo con la adición de la lógica basada en la evaluación multicriterio y multiobjetivo (mediante la puesta en relación de las categorías de usos del suelo y un conjunto de variables de diversa naturaleza que pueden explicar o describir su dinámica), con esto, se complementa el análisis multitemporal con el análisis multivariable para obtener una modelización más ajustada a la dinámica real de los paisajes.

Además de ello, la herramienta incorpora un algoritmo de automatismo celular que mide la contigüidad local e incrementa la probabilidad de un uso o categoría de pertenecer a una nueva

¹⁵ Tomado de: Velázquez *et al.* 2002

¹⁶ Falso cambio o cambio poco probable, es una categoría que se refiere a un cambio de uso de suelo que bajo las condiciones actuales no podría ser factible de realizarse, por ejemplo, la transición de zonas urbanizadas a bosques secundarios

categoría por vecindad, es decir, los modelos asumen explícitamente que las áreas vecinas influyen en la probabilidad de transición del área o celda central (Paegelow *et al.* 2003; Henríquez *et al.* 2006; Houet y Hubert-Moy 2006).

4.2.3.2 Identificación de zonas potenciales de recarga hídrica

Se utilizó como base algunos elementos contemplados en la guía metodológica propuesta por Matus (2008), a partir del cual se siguió el procedimiento descrito a continuación:

Identificación de actores participantes: La plataforma para la identificación de los actores locales fue COMPURIRES¹⁷, este espacio de toma de decisiones permitió establecer una agenda de trabajo inicial con los potenciales participantes dentro de la investigación. En un inicio se estableció trabajar con las ASADAS de las localidades de: Tablón, Bermejo y Coris, puesto que su ubicación dentro de la microcuenca se ajustaba a los siguientes criterios de selección:

- a) Ubicación dentro de la cuenca media – alta de la unidad de estudio
- b) Contacto pre-existente con miembros de la ASADA
- c) Accesibilidad a los sitios de estudio
- d) Disponibilidad (tiempo y recursos humanos) de cada una de las ASADAS.

Sin embargo, luego de las reuniones y conversaciones mantenidas con varios miembros de las ASADAS en mención, únicamente la ASADA de Coris mostró interés real en participar en el proceso de investigación. En vista de esta eventualidad se buscaron dos ASADAS con interés suficiente y que cumplan con los requisitos antes descritos, de esta manera se incorporaron las ASADAS de Guatuso y San Isidro, ambas ASADAS ubicadas en la zona sur-oeste de la microcuenca.

Caracterización de nacientes: Una vez definida las ASADAS con las que se trabajaría se procedió a realizar una primera salida de campo cuya finalidad era identificar los manantiales o nacientes que son captadas por cada una de las ASADAS para dotación de agua para consumo humano¹⁸. Esta primera actividad de campo se constituye en la base para desarrollar las actividades que permitieron evaluar los parámetros biofísicos de las ZPRH.

¹⁷ COMPURIRES: es una instancia de participación y toma de decisiones que se inicia en el año 2007, ésta se encuentra en proceso de consolidación formal y está conformado por representantes de las entidades públicas, privadas, ONG's, la academia y miembros de la sociedad civil que velan y trabajan por mejorar las condiciones socio-ambientales de la microcuenca del Río Purires, bajo los criterios y principios de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos

¹⁸ Al trabajarse directamente con las ASADAS se toman como referencia únicamente las nacientes que son captadas para la dotación de consumo humano

Para este cometido se aplicó la metodología desarrollada por MINAET-SINAC/SENARA en donde se consideran tres ejes básicos: a) Ubicación geográfica y características biofísicas de la zona de manantial y zona de influencia a 100 m, b) Usos del agua y c) Usos del suelo. A continuación se presenta el procedimiento metodológico empleado:



Figura 7. Metodología empleada para identificación y caracterización de manantiales

La información obtenida fue incorporada a un Sistema de Información Geográfica (SIG) para obtener la ubicación espacial de las nacientes identificadas. Así mismo, se utilizó el mapa temático elaborado por Veas (2011) en donde, en base a un análisis con SIG y mediante la evaluación de información cartográfica de variables como: pendiente, cobertura vegetal, geología del sector, tipo de suelo, tipo de roca; el investigador estableció cinco categorías de recarga hídrica en la zona correspondiente a la microcuenca del Río Purires. De estos resultados se utilizaron los rangos que determinan una probabilidad media y alta de infiltración.

Las áreas de análisis, fueron delimitadas a partir de la ubicación de las nacientes de cada localidad, en este caso se tomaron como puntos de descarga o aforo las nacientes ubicadas en las cotas más bajas (figura 8) y para la delimitación de las áreas de importancia hídrica, se consideró que la cuenca hidrográfica coincide con la cuenca hidrológica. Además en cada punto de nacimiento identificado se tomó la dirección del flujo, esto permitió relacionar si en el punto de afloramiento de agua se corresponde con el área delimitada.

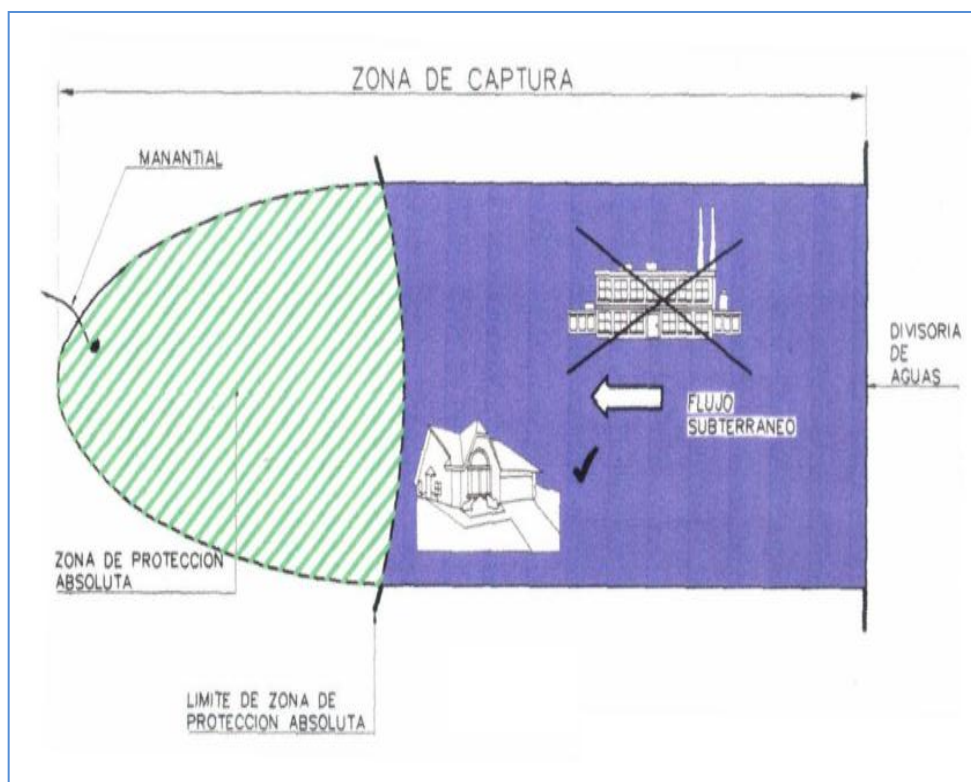


Figura 8. Descripción teórica de identificación de las zonas de recarga hídrica a partir de la localización de manantiales.

Fuente: Matamoros (2011)

Talleres introductorios y elaboración de mapas participativos: Se llevaron a cabo varios talleres con la finalidad de compartir con los actores locales los conceptos/elementos básicos para la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica. Los talleres permitieron tanto a la facilitadora como a los actores interactuar y enriquecer los conocimientos previos sobre el tema. Durante las sesiones de trabajo se llevó a cabo una parte teórica así como una parte práctica donde cada participante tuvo la oportunidad de identificar a su criterio los elementos más representativos dentro del proceso de recarga hídrica y evaluar la importancia de cada uno de éstos.

Puesto que uno de los objetivos del taller era obtener como producto un mapa parlante, se conformaron subgrupos integrados por miembros de las ASADAS, miembros de las asociaciones de desarrollo y participantes de la comunidad asistente. Luego de la sesión de trabajo se logró incorporar en el mapa, información relevante y necesaria para los fines de la investigación tal como: propietarios de las fincas, usos de suelo, amenazas que son percibidas por los habitantes de la localidad con respecto a zonas sensibles (en términos de afectación al recurso hídrico).

Un aspecto importante a considerar es que los talleres se realizaron para las localidades Coris y Guatuso, mientras que para San Isidro se llevó a cabo reuniones informales con dos de los cinco miembros de la ASADA (fiscal y fontanero) así como con la persona encargada de la administración de la ASADA.

Identificación de elementos de ZRH: Con la información que se obtuvo en cada uno de los talleres sumada a la información obtenida de investigaciones realizadas anteriormente, se procedió a realizar los recorridos de campo para validar los datos generados en las sesiones de trabajo. En campo se levantó información correspondiente a varios parámetros biofísicos de gran importancia para la determinación de las ZPRH, los cuales son descritos a continuación:

∅ *Textura del suelo en campo:* Para determinar la textura del suelo en campo se realizaron extracciones mediante barreno, se humedecieron las muestras colectadas y se hicieron pruebas al tacto. En el cuadro a continuación se muestran algunos parámetros a considerarse en la determinación de la clase textural de un suelo con pruebas de campo.

Cuadro 3. Características para identificación de clases texturales en pruebas de campo

Clase textural	Características
Arcillas (arcillo-arenosos/arcillo-limoso)	Los suelos con altos contenidos de arcilla se adhieren fácilmente entre los dedos en condiciones de humedad, y forman terrones muy duros en seco. Son pegajosos al tacto (cohesivos), de consistencia moldeable, alta plasticidad y superficie brillante.
Franco Arcillosos (franco arcillo arenosos/ franco arcilloso/franco arcillo limoso)	En condiciones de humedad se forman cintas que se adhieren a los dedos pero no son pegajosas, es débilmente moldeable, tiene superficie áspera y al secarse presenta consistencia harinosa.
Arenosa	No forman cintas, no se puede moldear, no se adhiere a los dedos y su consistencia es muy granulosa. Las partículas individuales pueden ser vistas y sentidas al tacto.

Fuente: Elaboración propia con base en: Casanova et al. (2004), FAO (2009), Cabalceta y Henríquez (2012)

∅ *Cobertura vegetal:* Su medición se realizó mediante el uso de densiómetro, este instrumento permite cuantificar la cantidad de luz que llega al suelo, por lo tanto se puede inferir el porcentaje de vegetación en un determinado lugar. Para el presente estudio se tomaron cinco lecturas, una en el punto de muestreo y cuatro restantes a 5m del mismo en dirección norte, sur, este y oeste. De manera adicional, en cada sitio, con la ayuda de las

personas de la localidad, se identificó las principales especies arbóreas que caracterizan el lugar.

Estimación de variables complementarias: Las variables complementarias se determinaron mediante análisis de laboratorio, para este efecto se llevó a cabo una campaña de muestreo de suelos; en donde se establecieron tres usos predominantes por cada localidad. Las muestras fueron colectadas a 30 cm de profundidad tal como se describe (Ríos 2006).

Los parámetros a ser analizados fueron:

- a) *Densidad aparente (DA)*, cuya medida indica la cantidad de materia sólida en un volumen dado de suelo. Este parámetro suele ser usado como indicador de porosidad de los suelos, los valores altos determinan compactación por lo tanto el espacio poroso disminuye (Valverde 1998), otra connotación de este parámetro indica, que un aumento en sus valores se relaciona de manera directa con la disminución de la cantidad de agua retenida en los suelos (Fassbender 1993).
- b) *Conductividad hidráulica (k)* influye en el comportamiento del flujo del agua en el suelo, teóricamente se define como la capacidad del suelo en estado de saturación que permite el movimiento del agua a través de sus poros su cuantificación es importante porque constituye un parámetro clave en la determinación de la cantidad de agua que penetra en un suelo y que llega hasta el nivel freático (Forsythe 1980; Cabalceta y Henríquez 2012).
- c) *Materia orgánica (MO)*, este elementos juega un papel muy importante en términos de contenido de agua en el suelo ya que a mayor porcentaje de materia orgánica la formación de agregados se incrementa y la estructura de los suelos mejora, esto favorece la velocidad de infiltración, permeabilidad y aireación (Fassbender 1993).
- d) *Humedad del suelo (H)*, característica que influye en otras propiedades físicas tales como el espacio aéreo, compactabilidad, penetrabilidad del agua en los suelos (Forsythe 1980).
- e) *Textura*, tiene influencia sobre el movimiento y la disponibilidad de la agua del suelo, la aireación, la disponibilidad de nutrientes y la resistencia a la penetración por las raíces (Casanova *et al.* 2004).

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dinámica de uso del suelo a nivel de la microcuenca del Río Purires

Por las características de la zona (especialmente la parte baja de la microcuenca-Valle El Guarco- en términos de ubicación geográfica, clima y condiciones biofísicas, desde épocas coloniales este sector ha sido catalogado como un área con vocación para el desarrollo de actividades agrícolas, así, en el siglo XVI (1563), Juan Vázquez de Coronado avizoraba estas tierras para el cultivo de trigo y maíz (COMPURIRES 2012). No obstante, con el pasar de los años se han ido incorporando un sinnúmero de actividades de tipo agropecuario e industrial, que han incidido en la diversificación de usos de suelo en este territorio particularmente pequeño, tal como se puede observar en la figura 9.

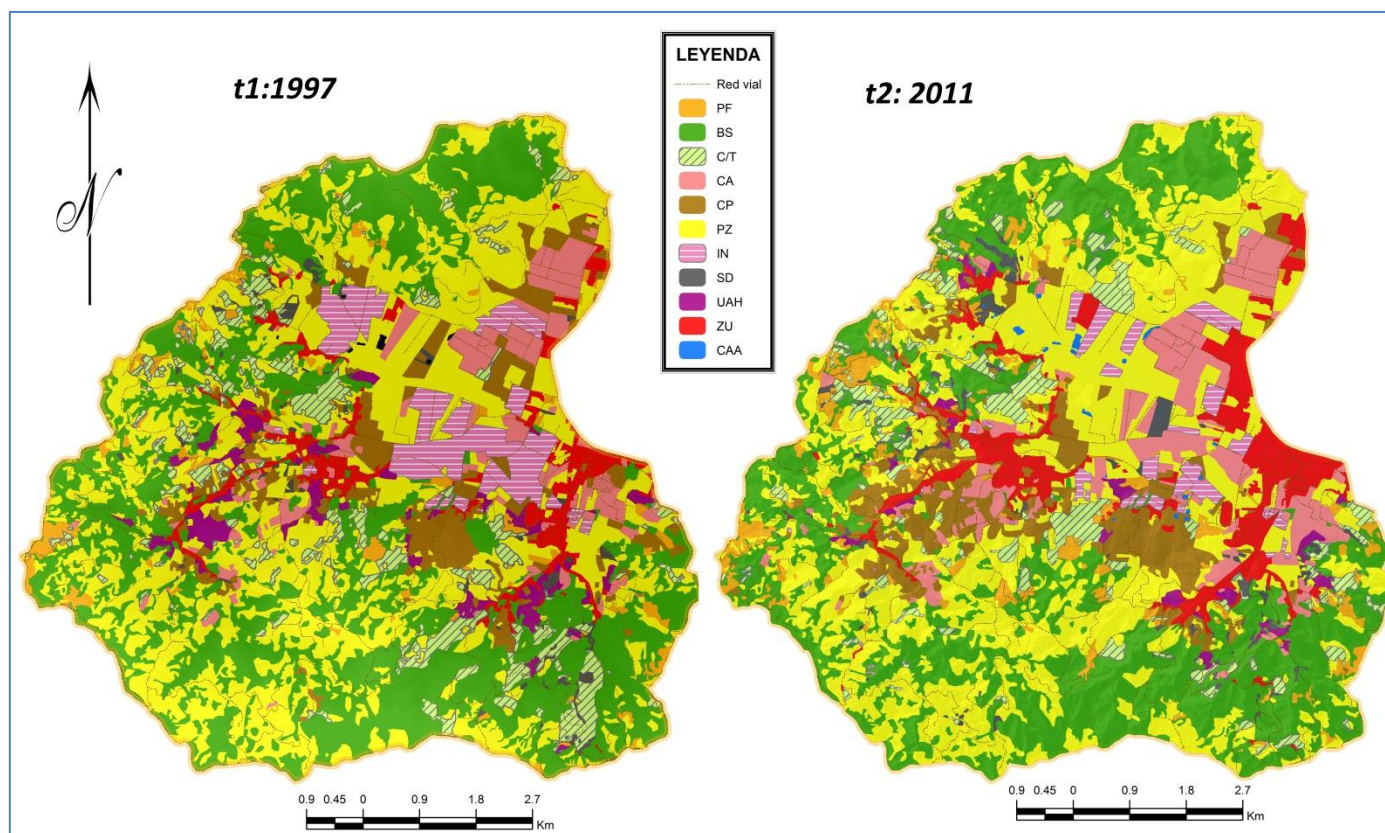


Figura 9. Usos de suelo de la microcuenca del Río Purires periodos 1997 y 2011

PF=Plantaciones forestales, BS= Bosque secundario, CT= Charrales y tacotales, CA= Cultivos anuales, CP=Cultivos perennes, PZ=Pastizales, IN= Invernaderos, SD=Suelo desnudo, UAH=Unidades agrícolas heterogéneas, ZU=Zonas urbanizadas, CAA= cuerpos de agua artificiales

Fuente: Elaboración propia con base en: fotografías aéreas 1997 del Proyecto Terra 1998 e imágenes satélite rapid eye 2011

A pesar de estar cerca a dos polos urbanos de gran importancia (Cartago y San José), el área aún puede considerarse de tipo rural, pues en este espacio confluyen: una “*historia particular, un medio natural y un conjunto de actividades dominadas por la producción agrícola, forestal y ganadera*” que según, González (1993), son los elementos que configuran los espacios rurales.

Los paisajes que dominan en la unidad de estudio, están caracterizados por ser de tipo agrícola pecuario, con algunos remanentes boscosos que se ubican principalmente en zonas de fuerte pendiente y en las riberas de los ríos y quebradas. En la figura anterior, se puede apreciar el nivel de intervención que existe en esta unidad geográfica.

Aproximadamente el 60% del territorio se encuentra ocupado por algún tipo de actividad productiva, en donde predominan los pastizales con 2 683,6 has (32,92%), el 28% corresponde a zonas con cobertura boscosa, 6% de áreas son charrales y el porcentaje restante (7%) corresponde a las zonas urbanizadas, las cuales, como se puede observar, han tenido un incremento considerable en los últimos años, especialmente en las zona sur-este (Sabana, San Isidro, Higuito y Guatuso) y en la zona nor-oriental (Tobosi, Tablón, Quebradilla).

Este proceso de expansión urbana está muy relacionado a dos factores importantes, el primero, que surge por las relaciones socio-económicas, flujos financieros y comerciales que están asociados a las actividades agrícolas del sector y que por lo tanto convierten a estas áreas en pequeños núcleos de comercio que permiten articularse con las demás actividades productivas. González (1993), establece que en la medida en la que la producción agrícola, ganadera y forestal se moderniza y diversifica, los espacios rurales logran niveles mayores de desarrollo y complejidad económica y social lo cual se traduce en: incremento de áreas urbanizadas, mayores y mejores vías de comunicación vial, mayor cobertura de servicios básicos (agua potable, electricidad, servicios de salud, etc.).

El segundo factor que incide en el proceso de urbanización en la zona del Purires, está dado por su condición de “zona amortiguadora”, este término entendido como una zona que aún cuenta con ciertos componentes naturales que llaman la atención de nacionales y extranjeros que adquieren grandes extensiones de terreno para la construcción de complejos urbanísticos, turísticos, centros de retiro, entre otros.

Cuantificación de los cambios en el periodo 1997 – 2011

Para identificar las proporciones de cambio en la unidad de estudio, se realizó el análisis de matrices de tabulación cruzada, con esta metodología se determinaron las transiciones ocurridas durante los años: 1997 y 2011. En esta matriz se puede identificar de manera preliminar las modificaciones que se dieron para las 11 categorías de uso de suelo (cuadro 4). Los valores en diagonal corresponden a las áreas que permanecieron estables en el periodo evaluado y los valores fuera de esta sección indican transiciones ocurridas para cada categoría mapeada.

Cuadro 4. Dinámica de cambio de usos de suelo en la microcuenca del Río Purires durante los periodos 1997 – 2011

Usos de suelo	PF	BS	C/T	CA	CP	PZ	IN	UAH	SD	ZU	CAA	Total 2011	Pérdidas (has)
PF	126,0	46,5	21,6	0,1	23,7	65,4	3,0	7,7	0,6	0,4	0,0	294,9	68,3
BS	10,1	1838,2	152,2	1,7	13,3	167,2	0,0	10,9	8,3	0,0	0,0	2201,9	603,8
C/T	13,3	145,0	131,0	2,4	6,7	121,8	0,1	11,1	4,2	0,1	0,0	435,6	354,5
CA	2,3	11,4	8,9	183,1	60,0	119,5	97,1	20,5	6,6	0,9	0,0	510,2	169,7
CP	7,2	73,8	50,8	21,2	268,9	109,2	1,3	44,5	5,1	2,8	0,0	584,6	226,4
PZ	24,7	266,0	95,9	66,2	65,4	1946,6	161,2	36,3	15,1	6,2	0,1	2683,6	756,5
IN	0,3	0,7	0,0	18,7	20,5	20,7	106,8	5,4	0,3	1,8	0,0	175,2	285,3
UAH	2,2	9,3	9,1	1,6	5,0	23,2	0,2	21,2	4,8	1,2	0,0	77,8	166,4
SD	2,4	22,9	10,4	4,2	5,4	29,4	12,9	7,0	19,1	0,4	0,0	113,9	57,4
ZU	5,9	28,4	5,7	53,6	26,5	93,2	8,5	23,2	12,2	278,4	0,0	535,4	13,9
CAA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	0,9	0,0	0,2	0,0	5,4	13,5	0,1
Total 1997	194,3	2441,9	485,5	352,8	495,3	2703,1	392,1	187,6	76,5	292,3	5,5		
Ganancias (has)	168,9	363,7	304,6	327,1	315,8	737,0	68,4	56,6	94,9	257,0	8,1		

PF=Plantaciones forestales, BS= Bosque secundario, C/T= Charrales y tacotales, CA= Cultivos anuales, CP=Cultivos perennes, PZ=Pastizales, IN= Invernaderos, SD=Suelo desnudo, UAH=Unidades agrícolas heterogéneas, ZU=Zonas urbanizadas, CAA= cuerpos de agua artificiales

Fuente: Elaboración propia

✓ Coberturas estables

Los datos calculados en la matriz de transición (cuadro 4) y representados en la figura 10, muestran que existe un alto porcentaje de persistencia o estabilidad de las categorías en estudio; lo cual está en concordancia con los resultados que se han obtenido en diferentes estudios realizados a nivel de varias regiones del mundo, en donde se demuestra que en la gran

mayoría de paisajes las superficies estables son las que predominan en la naturaleza. Se han encontrado valores mayores al 60% de persistencia; inclusive en espacios o zonas con alto dinamismo como las ciudades (Yang 2002 citado en López y Plata 2009, Pontius *et al.* 2004). Para el área de estudio, la condición antes descrita se cumple, pues los valores de permanencia alcanzan el 64,6% que, en términos de superficie corresponde a 4 924,5 has. Del total de categorías mapeadas, dos usos se ajustan a esta tendencia: los pastizales que presentan áreas de ocupación que están en el orden de 2 703,0 y 2 683,3 has, y bosques secundarios, con áreas de 2 442,0 y 2 202,3 has para las dos fechas analizadas.

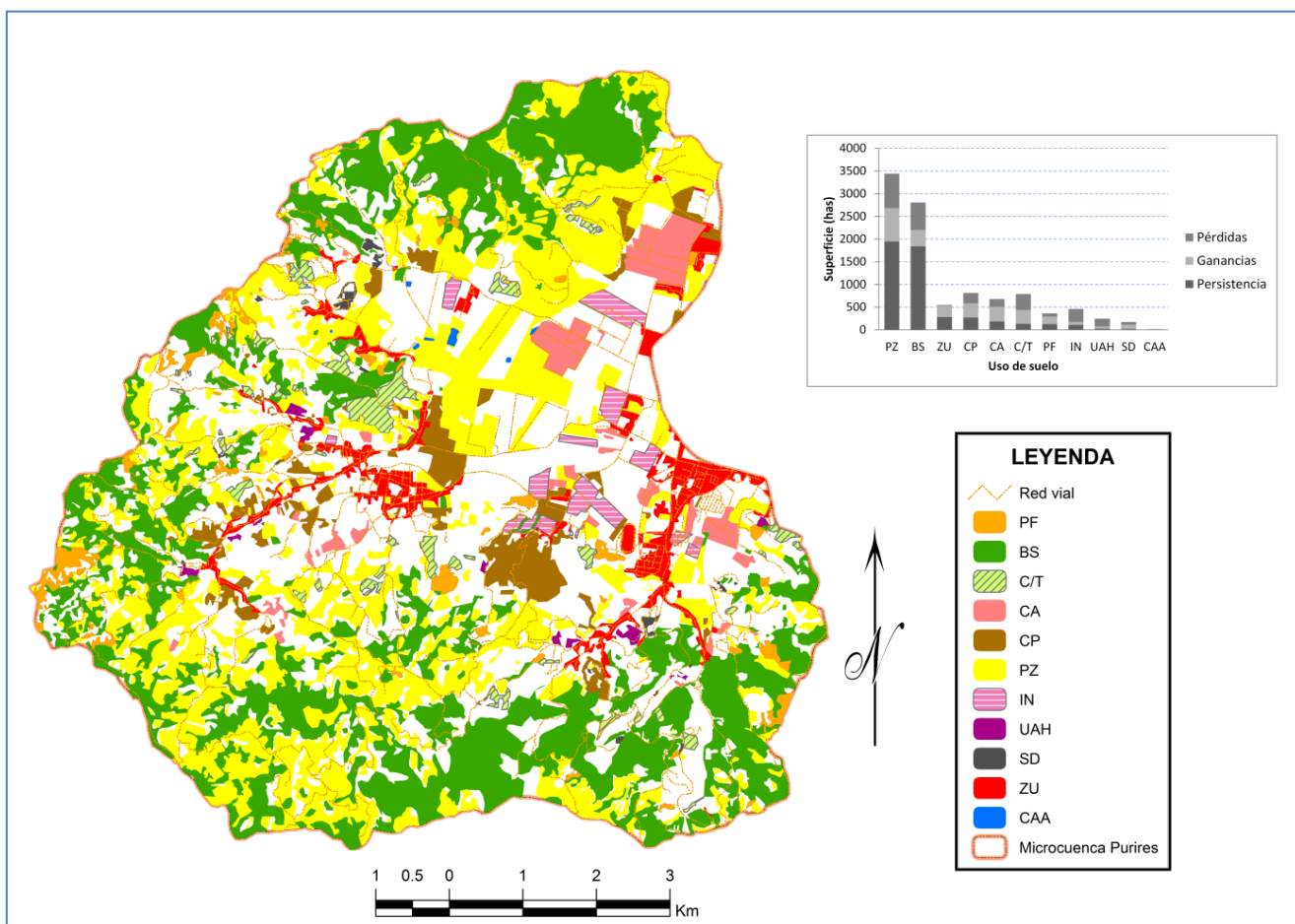


Figura 10. Relación entre valores de persistencia, ganancia y pérdida para las 11 categorías identificadas

PF=Plantaciones forestales, BS= Bosque secundario, CT= Charrales y tacotales, CA= Cultivos anuales, CP=Cultivos perennes, PZ=Pastizales, IN= Invernaderos, SD=Suelo desnudo, UAH=Unidades agrícolas heterogéneas, ZU=Zonas urbanizadas, CAA= cuerpos de agua artificiales

Fuente: Elaboración propia con base en: fotografías aéreas 1997 del Proyecto Terra 1998 e imágenes satélite rapid eye 2011

En el caso de los pastizales, éstos mantienen un nivel de permanencia del 40% del área total persistente en 14 años se tuvo una disminución neta del 0,26% de esta superficie (100 has) lo cual indica que, a pesar de que esta actividad experimentó un decrecimiento importante en los años 80's¹⁹ (Soudre 2004; Yglesias 2011; Hidalgo 2012; Morales 2012), según SEPSA (2007), en la Región Central Oriental aún se constituye en una de las principales actividades económicas.

No obstante, es importante mencionar que en el sector de estudio, la dinámica con respecto a este uso presenta ciertas peculiaridades; se observó que a pesar de contar con extensas áreas de pastizales no existe un uso pecuario importante excepto en las zonas planas y bajas de la microcuenca donde se desarrolla ganadería de leche y que, por el contrario, algunas áreas de pastizales de las partes medias y altas están en procesos de sucesión o recuperación debido al abandono²⁰ dado en los últimos años.

Los datos indican que a pesar de que el cambio neto es relativamente bajo 19,49 has; el cambio total asciende a 1 493,54 has; aquí el valor de intercambio juega un papel primordial, puesto que éste es el que indica que a pesar de la relativa “persistencia” hay una dinámica subyacente, el valor de intercambio es equivalente al 98% del cambio total (cuadro 5) y los parámetros calculados a partir de la matriz, indican que este uso cuenta con una ganancia considerable, pues su valor asciende al 49,4 % del área final de la categoría.

En cuanto a los bosques secundarios, los resultados muestran una permanencia del 37,3%; si bien es cierto es un valor alto y en una primera instancia da la idea de un buen estado de conservación, el análisis más a fondo indica la existencia de un proceso de cambio interesante en el cual, los valores iniciales subestiman la verdadera transición.

La dinámica identificada en la microcuenca presenta los mismos patrones que se dan a nivel nacional, es decir, el proceso de regeneración que existe en algunas zonas de la microcuenca invisibilizan el proceso de pérdida que se da en otras áreas de la misma, como se mencionaba anteriormente, esta es una dinámica que se da a nivel de país. Así lo demuestra el estudio realizado por el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) en el 2011, en el cual se determinó que a pesar que el país presenta una tasa de aumento del 1%²¹ en su

¹⁹ Principalmente por la caída del precio del ganado, la baja demanda para carne y productos lácteos a nivel del país

²⁰ Existen pasturas abandonadas por incremento en la mano de obra, baja rentabilidad y cuatrерismo

²¹ El dato que maneja el FONAFIFO fue obtenido de la evaluación de la cobertura forestal en el periodo 2005 – 2010 y el aumento está dado por los procesos de regeneración y recuperación en las zonas con algún sistema de protección estatal

cobertura forestal, las tasas de deforestación bruta²² indican una disminución que va en un rango aproximado de 144 398– 224 406 has²³ para un periodo de cinco años de evaluación (Saéñz *et al.* 2011), lo cual significa que existe una pérdida anual que va entre 0,5 y 0,88%.

En un primer análisis se ha podido evidenciar un cambio neto de 240 has de bosque, que se traduce en pérdidas (cuadro 5), sin embargo este valor no refleja la pérdida real de la categoría, pues la literatura indica que, el valor neto calcula, el cambio absoluto entre los periodos t1 y t2 por lo tanto su estimación da un primer indicio sobre los cambios en la categoría analizada (Pérez y Bosque 2008). Así, haciendo un análisis más a fondo, se puede aseverar que la transición real consistió en casi tres veces a lo expuesto de manera inicial.

Las pérdidas reales de este uso alcanzan el 25% con respecto al año 1997 (cuadro 5) con una tasa anual de decrecimiento que bordea el 1%, es decir, que durante el periodo en evaluación se convirtieron 603,76 has a otros usos y cada año se pierden 43,12 has de bosque secundario. Estos datos en términos globales (a nivel de la microcuenca), corresponden únicamente al 7% del total de la superficie de la unidad de estudio, sin embargo las cifras dan una idea de las presiones a las que están expuestas las zonas boscosas, así como también es evidente que a pesar de la existencia de una normativa que desde 1996 restringe y prohíbe el cambio de uso de suelo (Art. 2 y Art. 19 de la Ley Forestal 7575), aún faltan mecanismos de control estatal, comunal y local que permitan lograr los objetivos propuestos por esta ley.

²² En el estudio se entiende como: deforestación bruta, a la pérdida de cobertura en un periodo dado; se correlaciona con la pérdida de calidad de la cobertura boscosa y en el cual no se considera la regeneración.

²³ La alta diferencia en el rango estimado se debe a la presencia de nubes en el momento del análisis espacial

Cuadro 5. Valores que determinan transiciones para cada categorías de uso de suelo mapeadas, superficie en hectáreas

Usos de suelo	Año 1997	Año 2011	Ganancias	Pérdidas	Cambio neto	Intercambio	Cambio total	Relación	
	t1	t2						P/G	G/P
PF	194	295	168,91	68,30	100,61	136,595	237,21	0,40	2,47
BS	2442	2202	363,73	603,76	 -240,03 	727,460	967,49	1,66	0,60
C/T	485	436	304,63	354,49	-49,87	609,255	659,12	1,16	0,86
CA	353	510	327,13	169,67	157,46	339,345	496,80	0,52	1,93
CP	495	585	315,77	226,40	89,38	452,790	542,17	0,72	1,39
PZ	2703	2683	737,02	756,51	-19,49	1474,045	1493,54	1,03	0,97
IN	392	175	68,40	285,26	-216,86	136,790	353,65	4,17	0,24
UAH	188	78	56,61	166,39	-109,78	113,220	223,00	2,94	0,34
SD	77	114	94,86	57,40	37,46	114,805	152,26	0,61	1,65
ZU	292	535	257,04	13,93	243,10	27,865	270,97	0,05	18,45
CAA	5	14	8,10	0,09	8,01	0,185	8,20	0,01	87,59

PF=Plantaciones forestales, BS= Bosque secundario, CT= Charrales y tacotales, CA= Cultivos anuales, CP=Cultivos perennes, PZ=Pastizales, IN= Invernaderos, SD=Suelo desnudo, UAH=Unidades agrícolas heterogéneas, ZU=Zonas urbanizadas, CAA= cuerpos de agua artificiales

En letra negra, se muestran los principales usos que presentaron los cambios totales más notables

Fuente: Elaboración propia con base en: fotografías aéreas 1997 del Proyecto Terra 1998 e imágenes satélite rapid eye 2011

✓ Ganancias y pérdidas

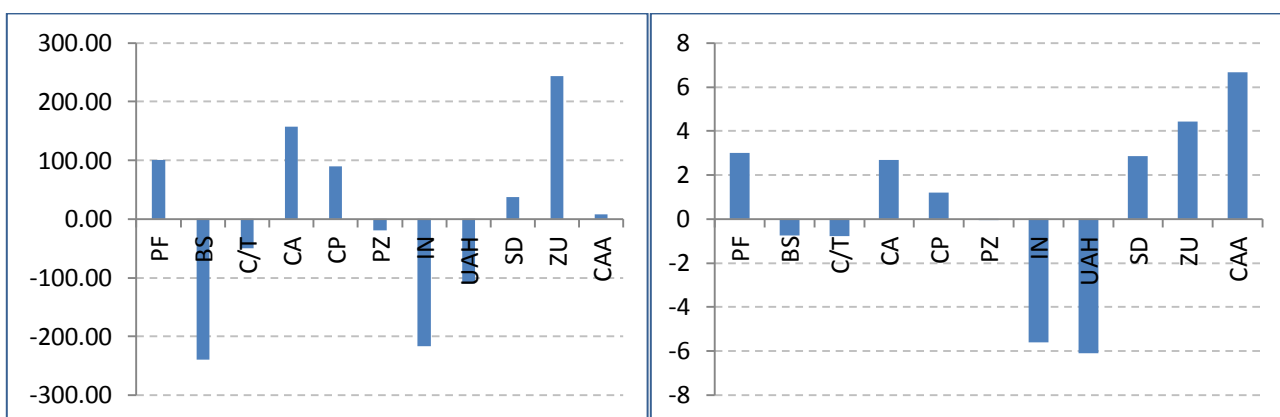


Figura 11.a) Dinámica de pérdida y ganancia neta (has) y b) tasa de cambio (en porcentaje) de las categorías identificadas en la microcuenca del Río Purires

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el porcentaje de superficie que estuvo expuesta a cambios corresponde a 2 702,5 has, lo cual indica que la tasa de cambio (ganancia o pérdida) en la microcuenca es del 2,53% o 193 has. Las transiciones más importantes en términos de incrementos netos de superficie corresponden a cuatro usos de suelo: zonas urbanizadas, cultivos anuales, cultivos perennes y plantaciones forestales tal como se puede apreciar en la figura 11a.

La categoría que presenta cambios más drásticos, corresponde a los cuerpos de agua artificiales, aunque en términos netos no se visualiza su incremento, su tasa de cambio (figura 11b) indica que ésta es la categoría con mayor aumento en superficie, sin embargo para el presente estudio no se dará énfasis a este uso, pues su área de ocupación no es representativo para los objetivos que persigue la presente investigación, no obstante es importante mencionar que su incremento se da básicamente en la zona de Coris, esto ocasionado por el crecimiento del área industrial que ha experimentado esta zona en los últimos 20 años (Quesada 2012)²⁴.

Los cuerpos de agua corresponden básicamente a las relaveras de las fábricas de cemento y vidrio así como plantas de depósito de aguas residuales provenientes de industrias dedicadas a la producción de alimentos, depósitos, que valga la aclaración, no necesariamente cuentan con un tratamiento post-uso y son descargadas directamente a los cursos de agua.

Otro cambio significativo constituye el incremento de las áreas urbanizadas, en el año base esta categoría ocupaba el 3,8% de la superficie total del área de estudio y para el 2011 duplicó su área de ocupación. Los datos obtenidos muestran que hubo un cambio total de 271 has de las cuales 257,04 has corresponden a ganancias, en este caso se asumirá que el cambio real es equivalente al total de las ganancias, pues, en el análisis de transición se detectó un porcentaje de pérdida de esta cobertura lo cual de acuerdo al modelo estimado por Velázquez *et al.* (2002) se corresponde con un “falso cambio”, que para este caso es equivalente a 13 has o 2,5% del área actual de la categoría evaluada .

De manera general, es evidente que la tendencia de cambio es alta, inclusive el valor correspondiente a la tasa de conversión indica que existe un crecimiento anual equivalente al 4,41%. Nuevamente esto se corresponde con lo expuesto por González (1993) en relación a la dinámica de las zonas rurales y su proceso de conversión a áreas urbanas, así mismo, Veas (2011), corrobora esta tendencia mencionando cómo la dinámica socioeconómica que ha experimentado en los últimos años esta zona ha influido en la incorporación paulatina de nuevas actividades de tipo agrícola, aumento del área industrial y procesos de expansión urbanística.

²⁴ Comunicación personal: Víctor Quezada morador del sector de Coris

Para la categoría “cultivos anuales”, la dinámica es bastante similar, existe un aumento considerable con miras a seguir expandiéndose en años futuros. La producción hortícola de la zona ha tenido un incremento importante en los últimos años, el porcentaje de crecimiento con relación al año base fue del 44,6%, su cambio neto muestra una ganancia de 157,46 has y el índice de ganancia/pérdida mostró que para el periodo evaluado su superficie ganó el doble en relación a la superficie que migró a otra categoría.

Este aumento puede responder, al estímulo generado por la gran demanda de productos hortícolas, principalmente desde los supermercados y cadenas de comida rápida de la ciudad de Cartago, esta tendencia es corroborada con el estudio realizado por el MAG en el año 2011 a la asociación AGRITEC, en el cual se determina que el 30% de agricultores de esta asociación destinan su producción a los centros antes mencionados. Aunque este tipo de actividad productiva no tiene un área de concentración definida, se puede decir que las mayores áreas de cultivo se encuentran ubicadas en las localidades correspondientes a Guatuso, Higuito y San Isidro. Para el último año de evaluación (2011) la superficie de ocupación de esta categoría fue de 6,7% correspondiente a 510,26 has.

Finalmente, se evalúa el comportamiento de la categoría correspondiente a “plantaciones forestales”, ésta presenta un aumento neto y una tasa de incremento anual bastante homogénea, en términos porcentuales, la categoría tiende a ganar anualmente un aproximado de 3% de cobertura y su distribución está concentrada en las zonas medias-altas de la microcuenca especialmente en las cercanías de los poblados de Alto Quebradilla, Copalchí y Guatuso. La relación “ganancia/pérdida” indica que la categoría durante los años evaluados, ganó alrededor de 2,47 veces más en relación a la superficie que perdió durante este periodo (cuadro5).

En las figuras 11a y 11b, las barras con valores por debajo de cero indican las categorías que estuvieron expuestas a algún tipo de pérdida en su cobertura, además de los bosques, de los cuales se analizó su dinámica en párrafos anteriores, otro uso que presenta cambios negativos constituye la categoría correspondiente a “invernaderos”, este uso presenta una pérdida neta de 216 has, y un decrecimiento anual equivalente al 6%.

• **Dirección de cambio de uso entre categorías mapeadas**

Para identificar las transiciones que se dieron entre categorías se utilizó el módulo LMC de IDRISI, de esta manera se identificaron 91 transiciones (ganancias y pérdidas). En el cuadro 6, se expone únicamente los cambios de mayor importancia dentro de cada categoría y en la figura 12 se exponen los cambios en términos de macroprocesos: alteración/cambio; deforestación, revegetación o sucesión y falso cambio. En los párrafos posteriores se detallarán cada uno de estos procesos y sus aspectos más relevantes.

Cuadro 6. Transiciones entre categorías y tipología de cambio

Uso inicial (U ₁)	Uso final (U ₂)	Pérdida de superficie de U ₁ en el periodo 1997-2011(has)	Superficie en transición (U ₁ a U ₂)	Porcentaje cambio	Proceso
			has		
BS	CT	603,75	145,0	24,0	Deforestación
	CP		73,8	12,2	
	PZ		266,0	44,1	
	Otros usos		119,0	19,7	
CA	CP	169,672	21,2	12,5	Alteración/cambio
	PZ		66,2	39,0	
	IN		18,7	11,0	
	ZU		53,6	31,6	
	Otros usos		10,0	5,9	Sin especificación
CP	CA	226,39	60,0	26,5	Alteración/cambio
	PZ		65,4	28,9	
	ZU		26,5	11,7	
	Otros usos		74,5	32,9	Sin especificación
CT	BS	354,492	152,2	42,9	Revegetación
	CP		50,8	14,3	Alteración/cambio
	PZ		95,9	27,0	Sin especificación
	Otros usos		55,6	15,7	
IN	CA	285,25	97,1	34,0	Alteración/cambio
	PZ		161,2	56,5	
	Otros usos		26,9	9,4	Sin especificación
PF	BS	68,297	10,1	14,8	Revegetación
	CT		13,3	19,5	
	PZ		24,7	36,2	Alteración/cambio
	Otros usos		20,2	29,6	Sin especificación

Continuación de Cuadro 6. Transiciones entre categorías y tipología de cambio

Uso inicial (U ₁)	Uso final (U ₂)	Pérdida de superficie de U ₁ en el periodo 1997-2011(has)	Superficie en transición (U ₁ a U ₂)	Porcentaje cambio	Proceso
			has		
PZ	BS	756,512	167,2	22,1	Revegetación
	CT		121,8	16,1	
	CA		119,5	15,8	Alteración/cambio
	CP		109,2	14,4	
	ZU		93,2	12,3	
	Otros usos		145,7	19,3	Sin especificación
SD	BS	57,402	8,3	14,4	Revegetación
	CA		6,6	11,4	Alteración/cambio
	PZ		15,1	26,3	
	ZU		12,2	21,2	
	Otros usos		15,3	26,7	Sin especificación
UAH	CP	166,38	44,5	26,7	Alteración/cambio
	PZ		36,3	21,8	
	ZU		23,2	13,9	
	Otros usos		62,5	37,5	Sin especificación
ZU	Todos los usos	13,932			Sin especificación

PF=Plantaciones forestales, BS= Bosque secundario, CT= Charrales y tacotales, CA= Cultivos anuales, CP=Cultivos perennes, PZ=Pastizales, IN= Invernaderos, SD=Suelo desnudo, UAH=Unidades agrícolas heterogéneas, ZU=Zonas urbanizadas, CAA= cuerpos de agua artificiales

En negritas se indica las transiciones más importantes dentro del macroproceso “cambio/alteración”

Fuente: Elaboración propia

1. **Alteración o cambio:** Se identifica como “alteración o cambio” a cualquier transición que suponga cambios desde un uso con intervención antrópica a cualquiera otra categoría del mismo tipo. Este proceso es equivalente al 63,14% de las 2 702,5 has que cambiaron desde 1997 al 2011. En la figura 12 se pueden observar cómo se dieron los cambios espacialmente a nivel de toda la microcuenca, sin embargo únicamente se detallarán los procesos más importantes.

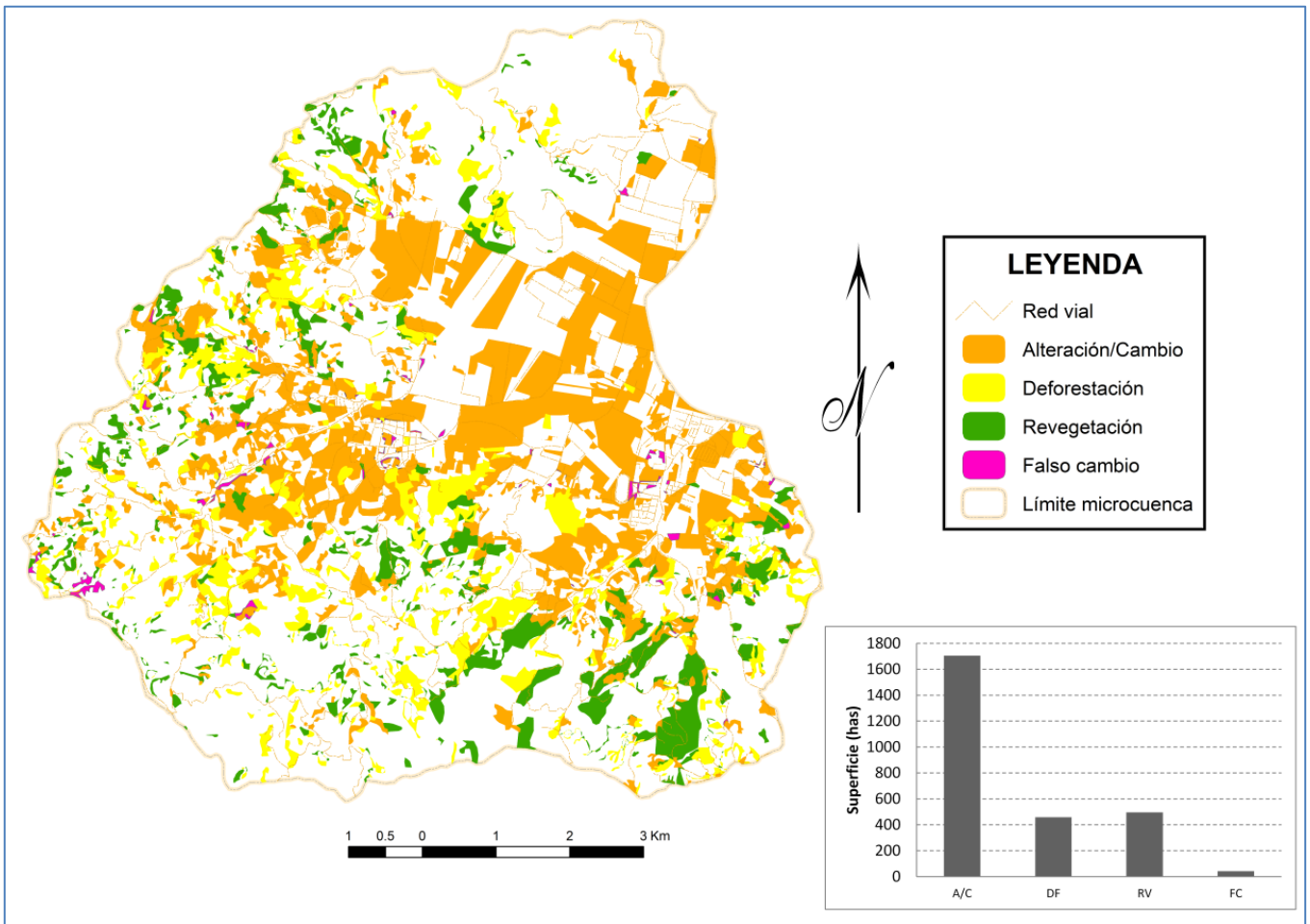


Figura 12. Procesos de cambio a nivel de la microcuenca del Río Purires

A/C= Alteración o cambio; DF= Deforestación; RV=Revegetación o sucesión y FC=Falso cambio

Fuente: Elaboración propia con base en: fotografías aéreas 1997 del Proyecto Terra 1998 e imágenes satélite rapid eye 2011

La transición más significativa se llevó a cabo desde la categoría “invernaderos hacia pastizales” (figura 13), esta categoría aportó con 161,2 has a la superficie total de PZ (cuadro 6) y estuvo espacialmente ubicado en las zonas de Coris y Bermejo (zona norte de la microcuenca) así como en la zona de Barrancas, Sabana y San Isidro tal como se expone en la figura a continuación.

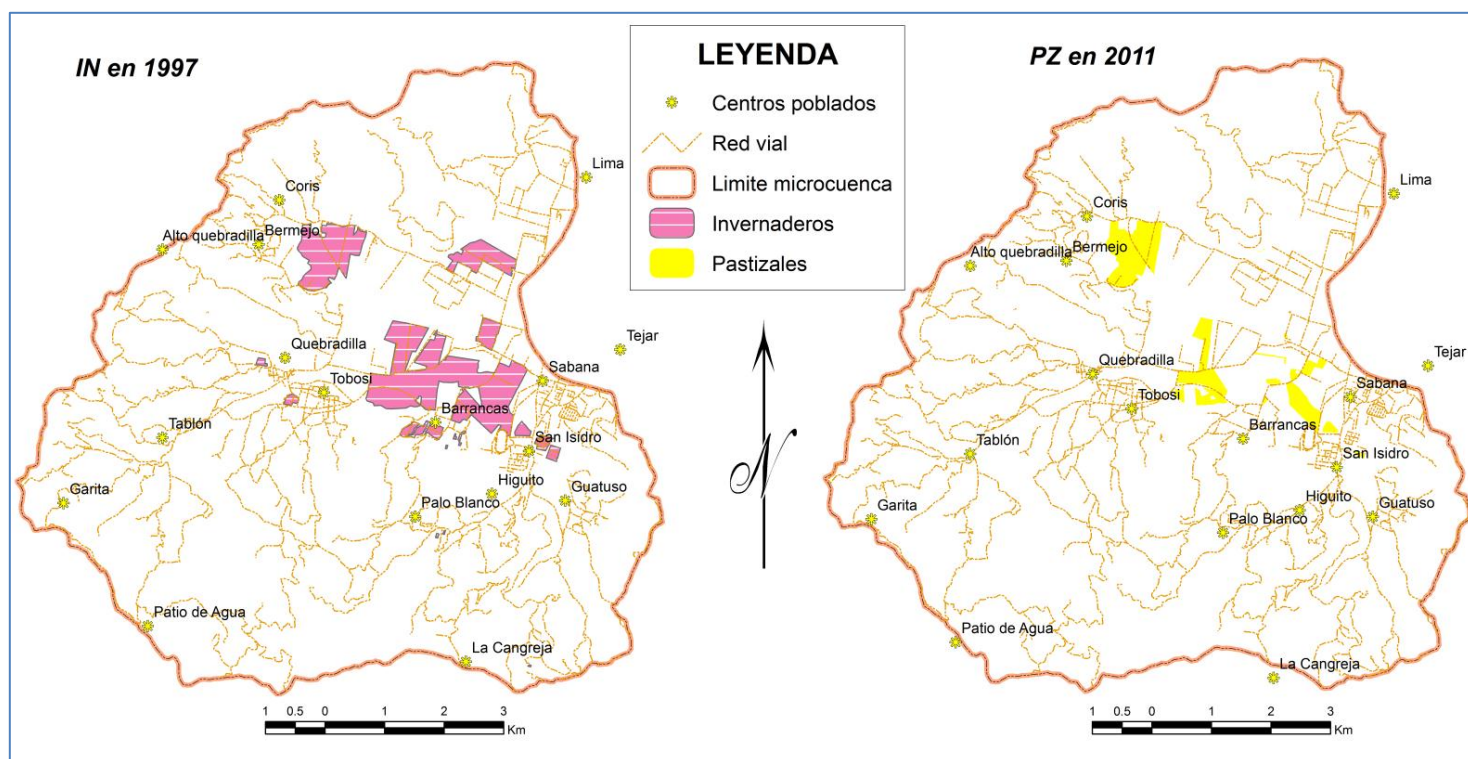


Figura 13. Transición desde la categoría “Invernaderos” a “Pastizales”

Fuente: Elaboración propia con base en: fotografías aéreas 1997 del Proyecto Terra 1998 e imágenes satélite rapid eye 2011

En el caso de los pastizales, se identificó que esta categoría aportó básicamente a tres tipos de uso: en las zonas medias –altas de la microcuenca las transiciones fueron hacia cultivos perennes, la pérdida de 109,2 has en la categoría de pastizales supuso una ganancia del 18,7% del total de la superficie de CP al 2011.

Estos cambios se dieron principalmente cerca de los poblados Tablón, Quebradilla y Tobosi, mientras que, el proceso de cambio hacia cultivos anuales se dio básicamente en la zona sur-este, en los poblados de Guatuso, San Isidro e Higuito aunque también hay cambios considerables en la zonas de Tablón y Quebradilla y en menor proporción en Coris y sus alrededores; el aporte total hacia esta categoría fue del 24,4%. La última transición estuvo dirigida a la categoría de “zonas urbanizadas”, el aporte fue del 17,4% y aunque su ubicación espacial estuvo claramente concentrada en la zona más baja de la microcuenca también se dan cambios de este tipo en las zonas medias y altas (figura 14).

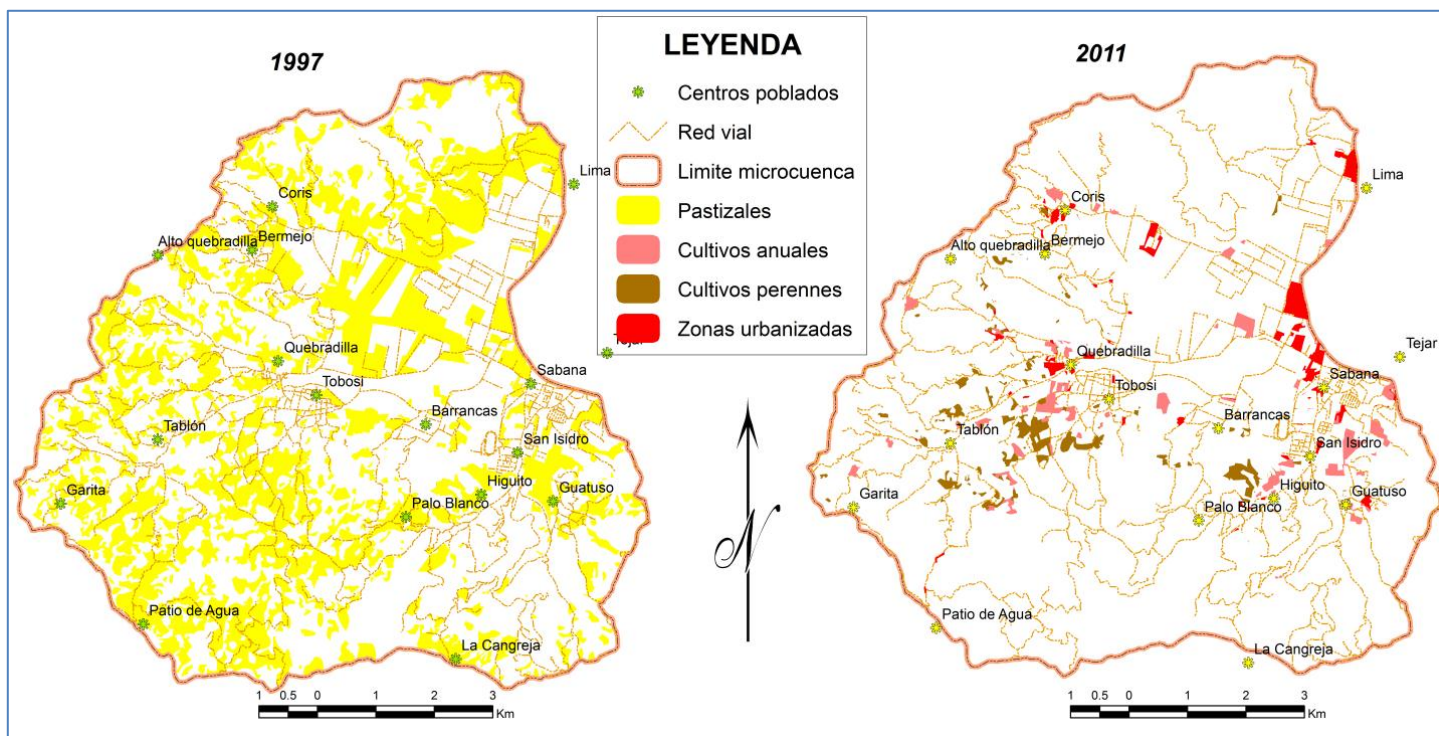


Figura 14. Transición desde la categoría “Pastizales” a “Cultivos anuales, Cultivos perennes y Zonas urbanizadas”

Fuente: Elaboración propia con base en: fotografías aéreas 1997 del Proyecto Terra 1998 e imágenes satélite rapid eye 2011

2. **Deforestación:** Este proceso está asociado a la pérdida de cobertura arbórea, por lo tanto cualquier cambio existente de bosque a cualquiera de las otras categorías significa un proceso de deforestación. Los resultados indican que este proceso abarcó un total de 17% del total de la superficie de cambio. La transición más importante se da entre Bosque y Pastizales la superficie que migra desde la categoría 1 a la categoría 2 es correspondiente a 266 has que equivale al 10% del total del área final de PZ. Este tipo de transición es generalizado a nivel de toda la microcuenca con una mayor concentración en la zona sur oeste entre los poblados Tablón, Patio de agua y Palo blanco.
3. **Revegetación:** Es una dinámica que se ha llevado a cabo desde los años 90’s en Costa Rica, tal como se vio en apartados anteriores, este proceso se debe en gran medida a la implementación de políticas y mecanismos que el Estado Costarricense estableció a raíz de las altas tasas de deforestación que presentaban entre los años 50’s y 80’s: En la microcuenca el porcentaje de revegetación corresponde al 18,34% y está dado por todas las transiciones dadas desde cualquier uso (excepto las zonas urbanizadas) hacia charrales o bosque secundario. Los usos que más han aportado a este proceso son charrales con 42% (152 has) y pastizales con 167 has (22%).

✓ *Escenario tendencial del uso del suelo 2020*

Una vez que se obtuvieron los resultados entre los periodos 1997 – 2011, se generó un mapa tendencial al 2020, para este mapa se utilizó el software utilizado fue IDRISI versión Selva y de los datos generados se obtuvo la siguiente información.

Cuadro 7. Matriz de probabilidad de cambio de uso para cada categoría . Año2020

Usos de suelo	PF	BS	C/T	CA	CP	PZ	IN	UAH	SD	ZU	CAA
PF	0,77	0,02	0,06	0,00	0,02	0,08	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00
BS	0,01	0,84	0,05	0,00	0,02	0,07	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
C/T	0,04	0,28	0,38	0,01	0,10	0,16	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00
CA	0,00	0,00	0,00	0,65	0,05	0,13	0,05	0,00	0,01	0,10	0,00
CP	0,04	0,02	0,01	0,10	0,68	0,08	0,04	0,01	0,01	0,03	0,00
PZ	0,02	0,04	0,04	0,03	0,03	0,81	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00
IN	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,34	0,39	0,00	0,03	0,00	0,00
UAH	0,03	0,04	0,07	0,10	0,26	0,15	0,03	0,18	0,05	0,10	0,00
SD	0,00	0,08	0,06	0,08	0,05	0,16	0,00	0,08	0,37	0,12	0,00
ZU	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,97	0,00
CAA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99

PF=Plantaciones forestales, BS= Bosque secundario, C/T= Charrales y tacotales, CA= Cultivos anuales, CP=Cultivos perennes, PZ=Pastizales, IN= Invernaderos, SD=Suelo desnudo, UAH=Unidades agrícolas heterogéneas, ZU=Zonas urbanizadas, CAA= cuerpos de agua artificiales

En la matriz de probabilidades (cuadro 7) se puede observar que el pronóstico presenta un alto nivel de estabilidad, condición que se da principalmente para las categorías pastizales y bosques con probabilidades de permanencia que van de 0,81 a 0,84 respectivamente, los usos que presentan probabilidades medias de cambio, corresponden a las categorías de charrales, invernaderos y unidades agrícolas heterogéneas que ganan superficie a bosques, pastizales y cultivos perennes respectivamente.

Por otro lado en el cuadro 8, se muestran los cambios (en términos de áreas) ocurridos para los tres años en evaluación. Como se observa, la categoría de bosques sigue perdiendo superficie; el cambio ocurrido entre el periodo 2011 al 2020 fue de 114, 9 has; esto equivale al 4,7% del total de superficie inicial. De manera similar ocurre para el uso “pastizales” que pierde aproximadamente el 4,4% de su superficie de ocupación.

Cuadro 8. Superficies por categoría mapeada para los años 1997, 2011 y 2020

Usos de suelo	1997 (t ₁)		2011 (t ₂)		Cambio t ₂ -t ₁	Tasa de cambio	2020 (t ₃)		Cambio t ₃ - t ₂	Tasa de cambio
	Área (has)	%	Área (has)	%	Área (has)	%	Área (has)	%	Área (has)	%
PF	194,40	2,50	294,80	3,90	100,40	3,02	334,80	4,40	40,00	0,91
BS	2442,00	32,00	2202,30	28,90	-239,70	-0,74	2087,40	27,40	-114,90	-0,38
CT	485,50	6,40	435,80	5,70	-49,70	-0,77	421,70	5,50	-14,10	-0,23
CA	352,80	4,60	510,30	6,70	157,50	2,67	534,00	7,00	23,80	0,32
CP	495,30	6,50	584,80	7,70	89,50	1,19	606,70	8,00	22,00	0,26
PZ	2703,00	35,40	2683,30	35,20	-19,70	-0,05	2629,80	34,50	-53,50	-0,14
IN	392,10	5,10	175,20	2,30	-216,90	-5,59	136,90	1,80	-38,30	-1,75
UAH	187,50	2,50	77,80	1,00	-109,70	-6,09	70,40	0,90	-7,40	-0,71
SD	76,50	1,00	113,80	1,50	37,30	2,88	114,10	1,50	0,40	0,02
ZU	292,20	3,80	535,30	7,00	243,10	4,42	677,40	8,90	142,00	1,70
CAA	5,50	0,10	13,50	0,20	8,00	6,62	14,00	0,20	0,50	0,26

PF=Plantaciones forestales, BS= Bosque secundario, C/T= Charrales y tacotales, CA= Cultivos anuales, CP=Cultivos perennes, PZ=Pastizales, IN= Invernaderos, SD=Suelo desnudo, UAH=Unidades agrícolas heterogéneas, ZU=Zonas urbanizadas, CAA= cuerpos de agua artificiales

Fuente: Elaboración propia

Análogamente, se puede observar que el uso que presenta una mayor tendencia a ganar superficie corresponde a la categoría “zonas urbanizadas”, ésta contó con un incremento del 48% con relación al periodo inicial y al igual que en el periodo (1997-2011) su crecimiento básicamente se da en las zonas más bajas y planas de la microcuenca (figura 15).

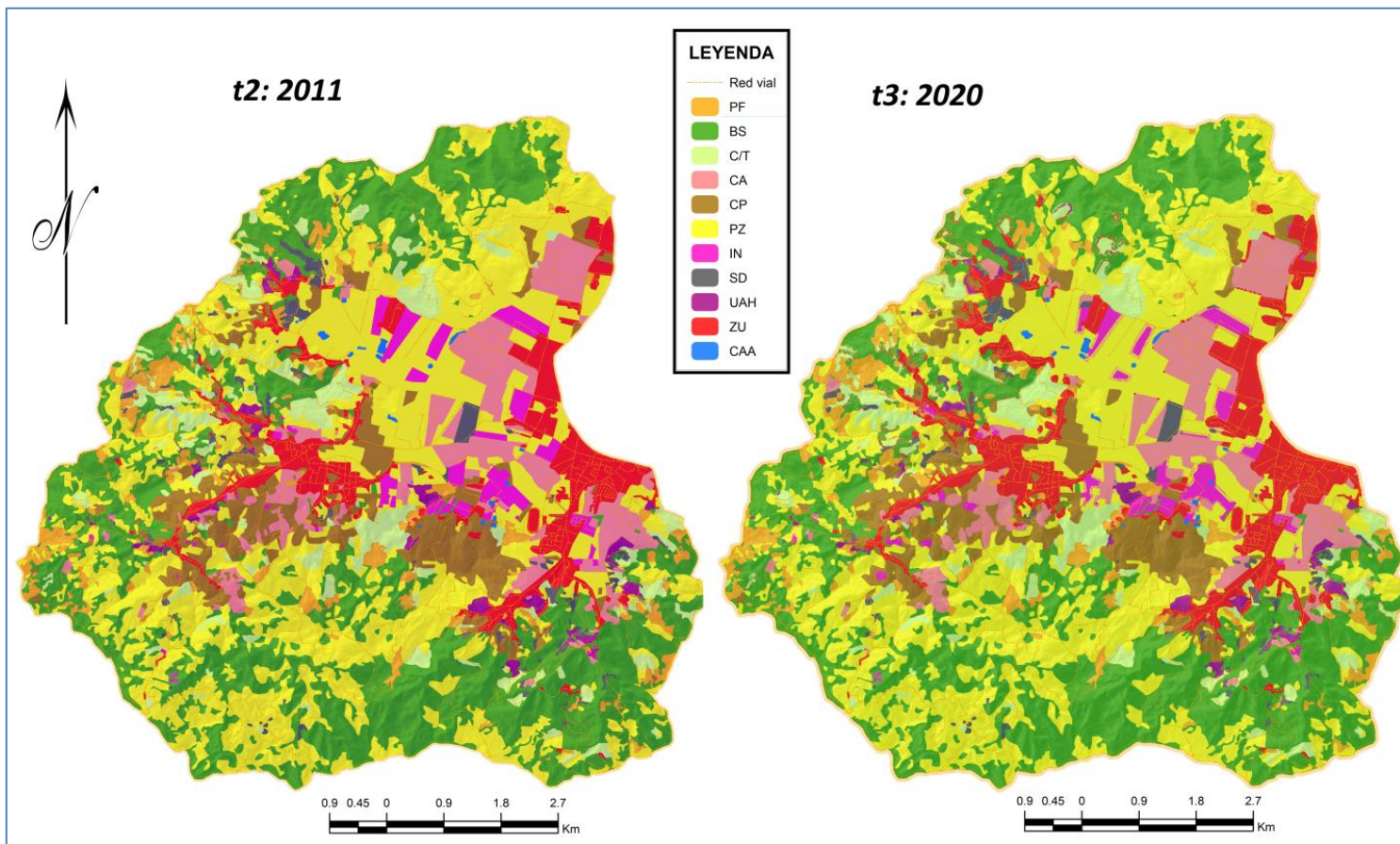


Figura 15. Usos de suelo de la microcuenca del Río Purires periodos 2011 y 2020
 PF=Plantaciones forestales, BS= Bosque secundario, CT= Charrales y tacotales, CA= Cultivos anuales,
 CP=Cultivos perennes, PZ=Pastizales, IN= Invernaderos, SD=Suelo desnudo, UAH=Unidades agrícolas
 heterogéneas, ZU=Zonas urbanizadas, CAA= cuerpos de agua artificiales
 Fuente: Elaboración propia con base en: fotografías aéreas 1997 del Proyecto Terra 1998 e imágenes satélite
 rapid eye 2011

- **Zonas potenciales de recarga hídrica. Características y dinámica de uso de suelo**

- ✓ **Identificación y caracterización de nacientes identificadas**

Como establece Matus (2008), la primera actividad para poder identificar las potenciales zonas de recarga de un determinado sector es la ubicación y caracterización de las nacientes o manantiales. Con la ubicación de éstos, se puede tener una idea de la dirección del flujo del agua, pues de manera general ésta se mueve desde los lugares de mayor presión hacia los de menor presión y/o por gravedad de las partes más altas a las bajas, por lo tanto es lógico pensar que la recarga normalmente se produce en las zonas topográficamente elevadas o intermedias. Así, se supone que las zonas potenciales de recarga se encuentran aguas arriba de cualquier zonas de descarga (manantiales, nacientes, ojos de agua) Auge (2009).

Para las localidades en estudio se identificaron 13 manantiales, éstos se encuentran distribuidos en rangos altitudinales que van desde los 1 466 en Coris hasta 1 710 msnm en San Isidro tal como se observa en el cuadro 9.

Cuadro 9. Principales características de las nacientes identificadas para las localidades de Coris, Guatuso y San Isidro

Localidad	Nombre Naciente	Altitud msnm	Caudal registrado (l/s)	Dirección de flujo	Uso de suelo en 100 m (ley 75757)
Coris	Aguacate	1532	1,70	NE-SO (194°)	C/T/UAH
	Aguacate 1	1637	0,21	NO-SE (235°)	BS/PZ
	Bertilia	1466	0,2	NO-SE (130°)	CT/PZ
Guatuso	Gt1	1738	0,64	SE-NE (293°)	BS
	Gt2	1814	0,04	SE-NE (310°)	BS/PZ
	Gt3	1811	0,2	SE-NO (173°)	BS/PZ
	Gt4	1831	0,04	SE-NO (320°)	BS
	Gt6	1683	0,06	S-N (10°)	BS/PZ
	Gringo 1	1783	0,2	BS/PF
	Gringo 2	1769	0,6	SE-NO (310°)	BS
San Isidro	Gt7	1675	0,178	SE-NE (2°)	BS
	El gringo	1710	1,6 ²⁵	Sd	BS
	Lobo 2	1692	0,53	SE-NO (290°)	BS

NE=Noreste; SO=Suroeste; SE=Sureste; NO=Noroeste; S=Sur; N=Norte; Sd=Sin datos

CT=Charrales/tacotales; UAH=Unidades agrícolas heterogéneas; BS=Bosque secundario; PZ=Pastizales;

PF=Plantaciones forestales

Fuente: Elaboración propia con base en información de campo

La localidad de Coris, cuenta con tres captaciones: Aguacate, Aguacate 1 y Bertilia que dotan de agua a 270 usuarios. Éstas se constituyen en las tres únicas fuentes de suministro de la localidad. En conjunto producen aproximadamente 182,3 m³/día²⁶, lo que representa 5 469 m³/mes. A pesar de contar con caudales relativamente bajos 1,70 l/s, 0,21 y 0,20 l/s, hasta la actualidad no se han presentado problemas de desabastecimiento. Sin embargo crece la preocupación entre las personas que administran el recurso pues en los últimos meses han presenciado una disminución del caudal en más del 50% (Macís 2012)²⁷. En relación a la demanda del recurso, en Coris, cada usuario consume aproximadamente 15 m³, con mínimos

²⁵ El aforo de esta naciente se realizó directamente en el tanque de reunión denominado “el cubano”, pues el total de agua captada es conducida a este reservorio

²⁶ Los aforos se realizan de manera periódica y se cuenta con registro desde octubre del 2011

²⁷ Comunicación personal: Sr. Manuel Macís fontanero/administrador de la ASADA de Coris

de 9 m³ y máximos de 40m³, lo que representa una demanda aproximada de 4 050 m³ mensuales, a su vez, esto indica que existe aún un excedente del 26,31% del recurso para poder abastecer las necesidades hídricas de la población. El consumo per cápita en esta locación está en correspondencia con lo establecido

En Guatuso se identificaron 8 nacientes que son aprovechadas por la ASADA. A pesar de ser el sector con mayor número de nacientes presenta los caudales más bajos (cuadro 9), considerando la totalidad de nacientes, la producción de agua se estima en 153,79 m³/día (4 613,7 m³/mes), cantidad que sirve para abastecer a un aproximado de 740 usuarios (148 abonados). La demanda del suministro²⁸ es de aproximadamente 3 714,95 l/persona/mes Aunque el caudal total es escaso, hasta el momento no se han reportado cortes de agua debido a baja disponibilidad del recurso, sin embargo de manera constante se buscan nuevas fuentes abastecedoras del recurso (Montoya y Díaz 2012)²⁹.

A diferencia de las dos ASADAS anteriores, en San Isidro se utilizan aguas provenientes tanto de fuentes superficiales como subterráneas. Para el presente estudio se ubicaron y tomaron en consideración dos de las cuatro nacientes captadas por la ASADA: Lobo 2 y “El gringo”, éstas, generan alrededor de 184 m³/día y sirven para dotar de agua a 4 000 usuarios (600 abonados). Un estudio de consultoría llevado a cabo en la zona de estudio, determinó que en total, la ASADA capta un caudal de 1 013,4 m³/día³⁰ (30 402 m³/mes), es decir que las dos nacientes consideradas aportan con el 18, 16% del caudal total. En cuanto a la demanda existente se ha calculado que aproximadamente por persona en este sector se consume 20 080,8 m³/mes, lo cual existe un excedente del 33.94%.

✓ ***Identificación de zonas potenciales de recarga hídrica para las localidades de Coris, Guatuso y San Isidro.***

Para la delimitación de las áreas de interés, el parámetro más importante fue la dirección del flujo de agua en cada naciente. Éste permitió identificar en una primera instancia las zonas en las cuales potencialmente se da el proceso de recarga hídrica (figura 16).

Asimismo, para cada sector seleccionado, se realizaron tanto observaciones y mediciones en campo como recolección de muestras de suelo para análisis en laboratorio. El análisis de estos resultados se basó en las características texturales y su relación con el conjunto de variables

²⁸ Para el cálculo de la demanda del recurso, tanto para Guatuso como para San Isidro se tomó la cifra estimada por Veas (2011) para tres localidades de la microcuenca en estudio (167,34 l/día)

²⁹ Comunicación personal: Porfirio Montoya (secretario) y Antonio Díaz (Fontanero)

³⁰ El aforo realizado por los técnicos de la Empresa consultora ICEA S.A, indica que el caudal total es de 11,73 l/s, este dato fue obtenido directamente en la ASADA

complementarias. Los resultados obtenidos son de tipo referencial y se exponen para cada localidad.

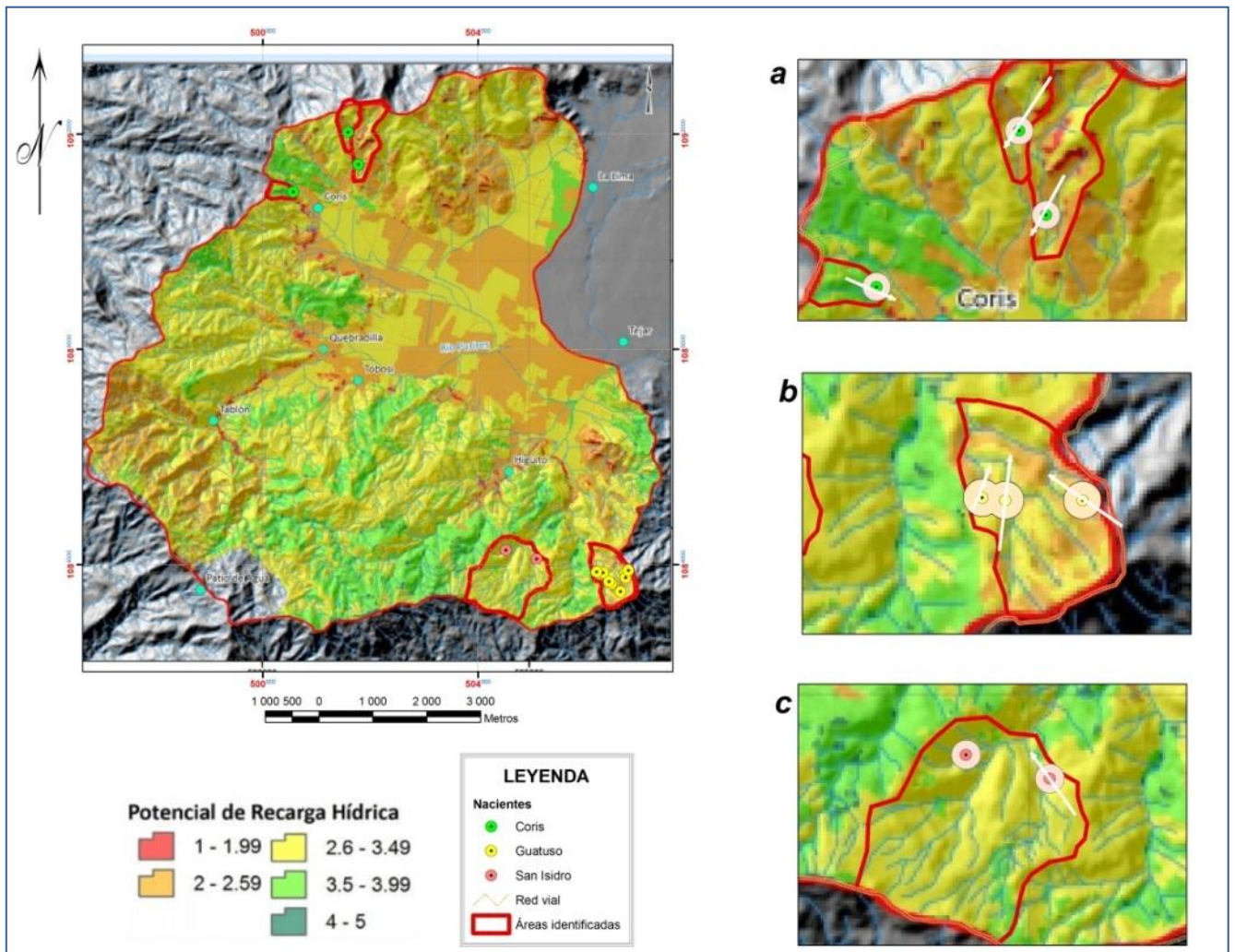


Figura 16. Delimitación de zonas potenciales de recarga para las localidades Coris, Guatuso y San Isidro

Fuente: Adaptado de Veas (2011), los rangos en la figura establecen 1: bajo nivel de infiltración y 5: alto nivel de infiltración.

Las áreas que abastecen de agua a los manantiales identificados, tal como se puede observar en la figura 16, se ubican en las zonas con niveles medios – altos de infiltración (color amarillo y verde). En el caso específico de Coris (figura 16a), en la zona de recarga identificada para las nacientes Aguacate y Aguacate1, la figura muestra valores que indican bajo nivel de infiltración, esto a pesar de ser un área con condiciones favorables para que la recarga se lleve a cabo (relieves ondulados, superficies cóncavas, suelos con texturas francas) elementos que Matus (2008) destaca como importantes en una zona de recarga hídrica, sin

embargo el uso del territorio influye y es un factor determinante en estos procesos, pues de su manejo depende que los suelos mantengan las condiciones adecuadas para que la recarga sea efectiva o no.

✓ *Coris*

En primera instancia se puede observar que, para la localidad de Coris (figura 16a), se identificaron dos áreas de importancia hídrica, la primera, correspondiente a las nacientes aguacate y aguacate 1 con una superficie de 83, 25 has y, para Bertilia se determinó un área de 13, 23 has.

A continuación en el cuadro 10, se exponen los resultados que se obtuvieron de las muestras colectadas en campo en las zonas en alusión, las mismas que sirvieron para determinar las características físicas de los suelos de estas áreas de importancia hídrica. Los datos en color azul corresponden a una interpretación cualitativa de algunas características físicas de los suelos en función de las clases texturales (Nuñez 1981) y los datos en color gris muestran los resultados que se obtuvieron en laboratorio.

Cuadro 10. Resultados de muestras de suelos para la localidad de Coris. Laboratorio INTA

Uso de suelo	Símbolo textural	Capacidad de retención de humedad	Aireación	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	DA (g/cm ³)	MO (%)	H (%)	K (cm/h)
BS	FAa	Media	Regular	48	20	32	1,1	1,88	18,26	7,52
C/T	FAL			18	52	30	1,14	1,75	18,51	16,08
PZ	Aa	Media-alta	Regular	36,47	26,67	36,00	1,9	1,1	19,0	6,01
	FAa									
	FA									
	Fa	baja	Excelente a buena (>60mm)	32	34	34	1,09	1,66	17,56	
Promedio general				33,89	33,56	32,56	1,11	1,83	18,50	18,09

BS= Bosque secundario; CT= Charrales/tacotales; PZ= Pastizales

FAa=Franco arcillo arenoso; FAL=Franco arcillo limoso; Aa=Arcillo arenoso; FA= Franco arcilloso y Fa= Franco arenoso

DA= densidad aparente; MO = Materia orgánica; H=Humedad, K=conductividad hidráulica

Fuente: Grassi 1976 citado en Valverde 1998 y CENICAFE 1975 citado y modificado en Núñez 1981

Por ser la textura del suelo una de las características básicas del suelo, el análisis de los datos obtenidos se realizará en función de ésta. Núñez (1981) indica que la textura de un suelo es muy importante pues esta característica influencia otras propiedades hídricas, la fuerza o succión con que es retenida el agua por los coloides o arcillas del suelo y el rango de

disponibilidad de agua para las plantas. También, determina parcialmente el grado de aireación del suelo, ya que dependiendo del tipo de textura predominante se puede estimar la presencia de macroporos o microporos, los mismos que están asociados a procesos de aireación y desplazamiento del agua a capas más profundas.

En la localidad de Coris, los suelos pertenecen al orden Inceptisoles, son estructuras jóvenes con escaso desarrollo pedogenético que presentan un horizonte cámbico (ATLAS 2008). En este sector los suelos presentan clases texturales de tipo franco-arcillo-arenoso en áreas de bosque, franco-arcillo-limoso en charrales y variaciones de arcillo-arenosa a franco-arenosa en zonas de pastizales.

Por las características texturales del suelo, se puede inferir que en el área, los suelos presentan poros de tamaño intermedio con capacidad de aireación regular y capacidad de infiltración media, tal como se puede observar en el cuadro 10. En este sentido, Nuñez (1981), indica que la infiltración o velocidad con que el agua penetra en la superficie del suelo, está directamente relacionada a la textura de un suelo, ésta es mayor en suelos de textura gruesa (arenosa, franco arenosa, arenosa franca) que en suelos de textura fina o pesados, como los arcillosos.

Otros factores que también tienen gran influencia en las características hídricas de los suelos son densidad aparente y materia orgánica. Los resultados de laboratorio arrojan valores de densidad aparente medios ($1,1 \text{ g/cm}^3$) y valores de materia orgánica bajos³¹ (1,10 a 1,14%).

En este contexto, Cabalceta y Henríquez (2012), sugieren que la relación existente entre estas variables se da de manera inversamente proporcional, altos contenidos de materia orgánica disminuyen los valores de densidad aparente debido a que sus componentes son menos densos que los componentes minerales, esta característica en la mayoría de los suelos es el principal agente estimulante de la formación y estabilización de los agregados, característica importante que se relaciona con el movimiento del agua en el suelo. Por otro lado, Thompson y Troeh (1988), atribuye altos valores de densidad aparente a la existencia de problemas de compactación de suelos, dados principalmente cuando en un área existe sobrecarga animal y compactación por maquinaria agrícola.

Lo interesante de esta zona es que pese a que presenta niveles de densidad aparente que sugieren compactación del suelo y niveles bajos de materia orgánica, los resultados correspondientes a conductividad hidráulica indican que en esta zona el agua se mueve a través del perfil de manera rápida ($18,09 \text{ cm/h}$), por lo tanto, éste se constituye en un buen indicador que determina un proceso de recarga hídrica eficiente. La razón a la que se puede

³¹ Se considera alto contenido de MO si los porcentajes son mayores a 4,5; medios si MO está entre 1,8 – 4,5 y bajo si MO es menor a 1,8 (Nuñez 1981)

atribuir esta particularidad, es básicamente a que es una zona de falla geológica con presencia de rocas muy permeables (molejón) y con altos niveles de fractura.

✓ **Guatuso:**

De la misma manera, para Guatuso (figura 16b) se identificó un área correspondiente a 62,97 has; para la delimitación de esta área se contemplaron las tres nacientes ubicadas en las cotas más bajas pues se asume que todas las nacientes de esta localidad por la cercanía entre ellas, ubicación altitudinal, condiciones biofísicas del sector, presentan un área de recarga en común.

De acuerdo con la información cartográfica del Atlas (2008), los suelos de esta localidad presentan características ándicas; son suelos minerales formados a partir de cenizas volcánicas con baja saturación de bases, tienen 60% o más de ceniza volcánica vítrea no calcárea en su composición y se ha determinado que en profundidades de hasta 35 cm se pueden encontrar densidades aparentes con valores $< 0,85 \text{ g/cm}^3$ (Mata 1996). Evaluando los resultados que se obtuvieron de laboratorio, se puede observar correspondencia con lo descrito para este orden.

Cuadro 11. Resultados de muestras de suelos para la localidad de Guatuso. Laboratorio CATIE

Uso de suelo	Símbolo textural	Capacidad de retención de humedad	Aireación	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	DA (g/cm ³)	MO (%)	H (%)
BS	Fa	Baja	Excelente a buena	60,2	29,6	10,1	0,8	8,0	83,4
C/T				74,5	19,6	5,9	0,6	11,7	125,1
PF				73,5	19,6	6,9	0,9	8,9	58,7
PZ	aF	Baja	Excelente a buena	79,5	16,7	3,9	0,5	10,7	143,9
	F	Media	Buena	50,5	32,8	16,8	0,9	4,8	54,7
	Fa	Baja	Excelente a buena	65,8	23,4	10,8	0,7	8,6	103,3
Promedio general				68,43	23,19	8,36	0,73	9,21	92,23

BS= Bosque secundario; C/T= Charrales/tacotales; PF= Plantaciones forestales; PZ= Pastizales

Fa=Franco arenoso; aF=arenoso franco; F= Franco y Fa= Franco arenoso

DA= densidad aparente; MO = Materia orgánica; H=Humedad

Fuente: adaptado de Grassi 1976 citado en Valverde 1998 y CENICAFE 1975 citado y modificado en Núñez 1981

En campo se encontraron suelos con profundidades que van desde 30 cm en las zonas correspondientes a los pastizales y charrales, hasta profundidades mayores a 50 cm en las zonas de bosques. Las texturas encontradas corresponden a clases texturales de tipo franco hasta arenoso franco con porcentajes de arena que alcanzan valores altos, en promedio para el sector

de estudio, los valores llega a 68,4% lo que indica que la estructura del suelo presenta poros grandes que facilitan el movimiento del agua, pues un suelo arenoso retiene el agua con menor fuerza (Nuñez 1981).

Los valores de densidad aparente (DA) que arrojaron los análisis de laboratorio, se corresponden con lo citado en la literatura para suelos de tipo volcánico (Valverde 1998, Cabalceta y Henríquez 2012). Los datos con densidades aparentes más bajas se registraron en áreas ocupadas por charrales (0,56 g/cm³). Aquí es importante destacar, que el valor de densidad puede dar una idea sobre los procesos de recuperación/revegetación que se desarrollan en el sector, es decir, éste parámetro por ser un indicativo del grado de compactación, porosidad y desarrollo de la estructura radicular (Donoso 1992); refleja los cambios acontecidos no sólo en cuanto a la estructura del suelo sino también puede dar una idea de la influencia de la estructura vegetal y sus procesos de cambio (FAO 2009).

En cuanto al valor más alto de DA, éste fue registrado en suelos cuyo uso está destinado a plantaciones forestales (0,89 g/cm³). Algunos estudios (Broquen *et al.* 2000); León-Gamboa *et al.* (2010), determinaron que en suelos con este tipo de uso, existe una reducción de la porosidad que ocasiona una redistribución de tamaño de poros, es decir se produce una pérdida de la porosidad gruesa que se transforma a una porosidad pequeña (Tamura *et al.* 1990 citado en Broquen *et al.* 2000), reduciendo así la funcionalidad hidrológica de los ecosistemas.

Los valores identificados en esta localidad no difieren en gran magnitud entre sí, de hecho todos estos datos se corresponden con los valores de densidades aparentes bajas³² que caracterizan a los andisoles (Nuñez 1996). Lo cual indica que presenta suelos con una buena estructura que aunado con su textura determinan condiciones favorables para los procesos de recarga hídrica.

✓ *San Isidro*

Finalmente para San Isidro se identificó un área equivalente a 153,9 has (figura 16c). Esta localidad presenta el área más extensa de las dos localidades antes mencionadas, no obstante es importante considerar que dentro de esta zona, en la franja altitudinal comprendida entre 1 888 y 1936 msnm, se encuentran ubicadas las nacientes de la comunidad “La cangreja”. Se tomó en consideración toda el área puesto que una de las nacientes que abastece a la población de San Isidro se encuentra ubicada en este sector.

³² Densidades aparentes bajas están en un rango de 0.7 – 0.9 g/cm³

Los suelos de esta localidad son similares a los descritos para la zona de Guatuso, es decir, son de tipo andisoles. Las clases texturales se distribuyen de la siguiente manera: texturas franco-arenosas y franco-arcillo-arenosas en áreas de bosques, mientras que para la zona de charrales predominaron las texturas arenosas y arcillo-arenosas y finalmente en la zona de cultivos se encontró suelos arcillosos.

En el cuadro a continuación se muestran los resultados que se obtuvieron del análisis de laboratorio.

Cuadro 12. Resultados de muestras de suelos para la localidad de San Isidro. Laboratorio INTA

Uso de suelo	Símbolo textural	Capacidad de retención de humedad	Aireación	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	DA (g/cm ³)	MO (%)	H (%)	K (cm/h)
BS	Fa	Baja	Excelente a buena	60,0	24,0	16,0	1,1	0,9	24,7	39,6
	FAa	Media	Regular	50,0	23,0	27,0	1,1	1,1	38,2	27,1
C/T	a	Baja	Excelente a buena	30,0	24,0	46,0	1,1	0,6	42,8	11,8
	Aa	Media	Regular	49,0	15,0	36,0	1,1	0,6	38,0	21,7
CA	A	Alta	Muy pobre	30,0	23,0	47,0	1,1	0,8	41,9	2,4
Promedio general				43,8	21,8	34,4	1,1	0,8	37,1	18,5

BS= Bosque secundario; C/T= Charrales/tacotales; CA= Cultivos anuales

Fa=Franco arenoso; FAa=Franco arcillo arenoso; a=arenoso; Aa= Arcillo arenoso; A= Arcilloso

DA= densidad aparente; MO = Materia orgánica; H=Humedad; K=Conductividad hidráulica

Fuente: Adaptado de Grassi 1976 citado en Valverde 1998 y CENICAFE 1975 citado y modificado en Núñez 1981

Los resultados que se obtuvieron para este sitio, muestran que a pesar de altos valores de densidad aparente (para todos los puntos de muestreo 1,1 g/cm³) y los valores bajos de materia orgánica (0,8%) los niveles de conductividad hidráulica se mantienen en rangos altos (18,5 cm/h), es decir, que presentan buenas condiciones en los procesos de recarga. En la zona de muestreo correspondiente a cultivos, se puede observar suelos con grandes cantidades de arcilla (47%) que determinan tasas o niveles de conductividad hidráulica igualmente bajos (de acuerdo a la escala de categorización de Cabalceta y Henríquez 2012).

- **Dinámica de uso de suelo en las zonas potenciales de recarga hídrica (ZPRH)**

Cuadro 13. Valores que determinan transiciones para cada categorías de uso de suelo en las zonas de Coris, Guatuso, San Isidro. Superficie en hectáreas

Uso de suelo	Año t1	Año t2	Persistencia	Ganancias	Pérdidas	Cambio neto	Cambio total	Tasa de cambio
CORIS								
PF	5,08	2,73	1,95	0,79	3,13	2,34	3,92	-4,33
BS	56,14	50,79	48,13	2,67	8,01	5,34	10,67	-0,71
C/T	8,62	7,46	1,98	5,49	6,65	1,16	12,14	-1,03
CP	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	
PZ	26,49	34,12	24,55	9,57	1,94	7,63	11,51	1,82
UAH	0,00	0,44	0,00	0,44	0,00	0,44	0,44	
SD	0,13	0,24	0,00	0,24	0,13	0,11	0,37	4,32
ZU	0,13	0,82	0,13	0,69	0,00	0,69	0,69	14,04
Total	96,60		76,73	19,87	19,87	17,73	39,74	
GUATUSO								
PF	3,58	2,69	0,64	2,05	2,94	0,89	4,99	-2,02
BS	44,42	42,80	41,15	1,65	3,26	1,62	4,91	-0,26
CH	2,76	1,26	0,00	1,26	2,76	1,50	4,02	-5,45
PZ	12,18	16,19	9,14	7,05	3,05	4,01	10,10	2,05
Total	62,94		50,93	12,01	12,01	8,02	24,02	
SAN ISIDRO								
PF	1,45	1,05	1,05	0,00	0,40	0,40	0,40	-2,27
BS	81,45	91,42	73,61	17,80	7,84	9,96	25,64	0,83
C/H	18,87	10,33	2,40	7,94	16,48	8,54	24,41	-4,21
CA	0,00	1,61	0,00	1,61	0,00	1,61	1,61	-----
PZ	48,86	46,10	36,56	9,54	12,30	2,76	21,84	-0,41
UAH	0,43	0,38	0,00	0,38	0,43	0,05	0,81	-0,79
SD	2,77	2,63	0,78	1,85	1,99	0,14	3,84	-0,36
ZU	0,00	0,31	0,00	0,31	0,00	0,31	0,31	-----
Total	153,82		114,39	39,43	39,43	23,76	78,86	

PF=Plantaciones forestales, BS= Bosque secundario, C/T= Charrales y tacotales, CA= Cultivos anuales, CP=Cultivos perennes, PZ=Pastizales, SD=Suelo desnudo, UAH=Unidades agrícolas heterogéneas, ZU=Zonas urbanizadas

En el cuadro anterior se exponen los diferentes usos del suelo de cada una de las zonas de interés, de manera general se puede apreciar que el nivel de persistencia global es alto, los

niveles alcanzan porcentajes que van desde el 74 % al 80% (San Isidro 114,39 y Guatuso 50,93 has). Para las tres zonas, la categoría con mayor permanencia corresponde a “bosques secundarios”, en todos los casos la permanencia supera el 50% en relación a la superficie total de la zona de interés.

En la figura 17, se puede observar los procesos de cambio acontecidos en cada una de las localidades. Para Coris el proceso de cambio más importante durante el periodo 1997-2011, corresponde al aumento de pastizales (7.63 has), mientras que, el mayor proceso de pérdida está relacionado con la categoría de bosques secundarios (5,34 has en cuadro 8), lo cual puede estar explicado por el mayor nivel de accesibilidad de este sector en relación con los dos restantes.

En el sector de Guatuso existe una permanencia que alcanza en total el 80,9% (50,93 has), en donde la categoría “bosques secundarios” presenta los mayores niveles de estabilidad (41,15%), mientras que en relación a los procesos de cambios de uso, se puede observar un cambio negativo (pérdidas) relacionado a las categorías: bosques, charrales y plantaciones forestales. El único proceso que incluye ganancia de superficie está dado por la categoría de pastizales (4 has), sin embargo es una superficie de ganancia pequeña con relación al total del área (6,35%).

Finalmente para el sector de San Isidro el proceso más evidente constituye el aumento en cobertura en la categoría “bosques secundarios”, la misma que, en valores absolutos indica una ganancia de 9,9 has en el periodo comprendido entre 1997 - 2011, es decir un aumento anual de aproximadamente 0,6 has. Aunque se ve una disminución de los pastizales, también la gráfica indica que hay un aumento paulatino en las categorías “cultivos anuales” y zonas urbanizadas, esto puede estar influido por el hecho de que San Isidro es una de las localidades con mayor concentración poblacional dentro de la microcuenca.

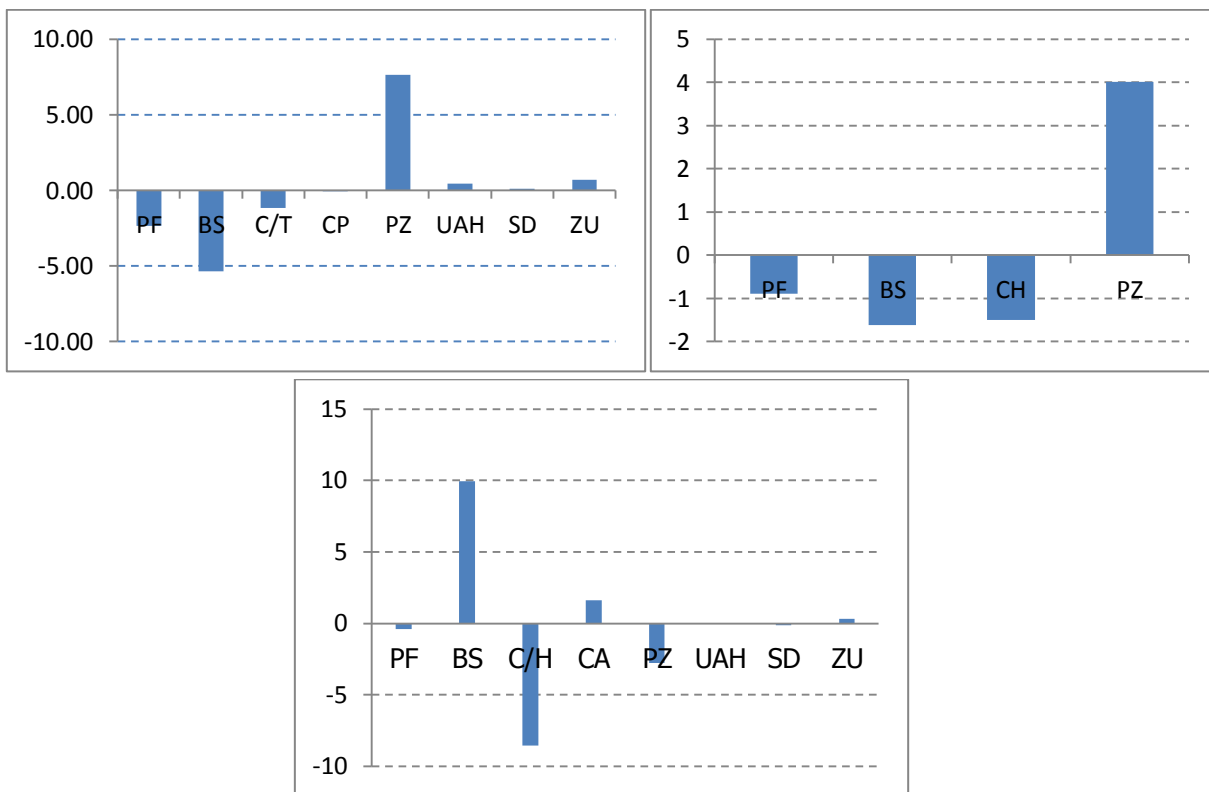


Figura 17. Dinámica de pérdida y ganancia neta (has) de las categorías identificadas en ZPRH para el periodo 1997-2011 a) Coris; b) Guatuso; c) San Isidro
PF=Plantaciones forestales, BS= Bosque secundario, C/T= Charrales y tacotales, CA= Cultivos anuales, CP=Cultivos perennes, PZ=Pastizales, SD=Suelo desnudo, UAH=Unidades agrícolas heterogéneas, ZU=Zonas urbanizadas

En el cuadro 14 y figura 18, se muestra cada uno de los procesos identificados de acuerdo a cada localidad de estudio. En éste se puede observar que el sector de Coris presenta los mayores porcentajes de cambio (40,7%), así mismo, el proceso de deforestación es mayor en esta localidad con casi siete veces en relación a Guatuso y dos veces a San Isidro.

Mientras que, en la localidad que existe un mayor proceso de revegetación corresponde a San Isidro, seguido por Coris. Guatuso se excluye de este proceso pues en general el mayor porcentaje de cobertura corresponde a bosques secundarios y los procesos de cambio son mínimos.

Cuadro 14. Procesos de cambio llevados a cabo en las localidades en estudio

Proceso	Coris		Guatuso		San Isidro	
	Superficie (has)	%	Superficie (has)	%	Superficie (has)	%
Alteración o cambio	7.96	40.62	5.84	11.48	6.48	16.50
Deforestación	7.99	40.79	3.24	6.36	7.82	19.89
Revegetación	3.32	16.94	2.74	5.38	24.98	63.59
falso cambio	0.32	1.65	0.16	0.31	0.00	0.01

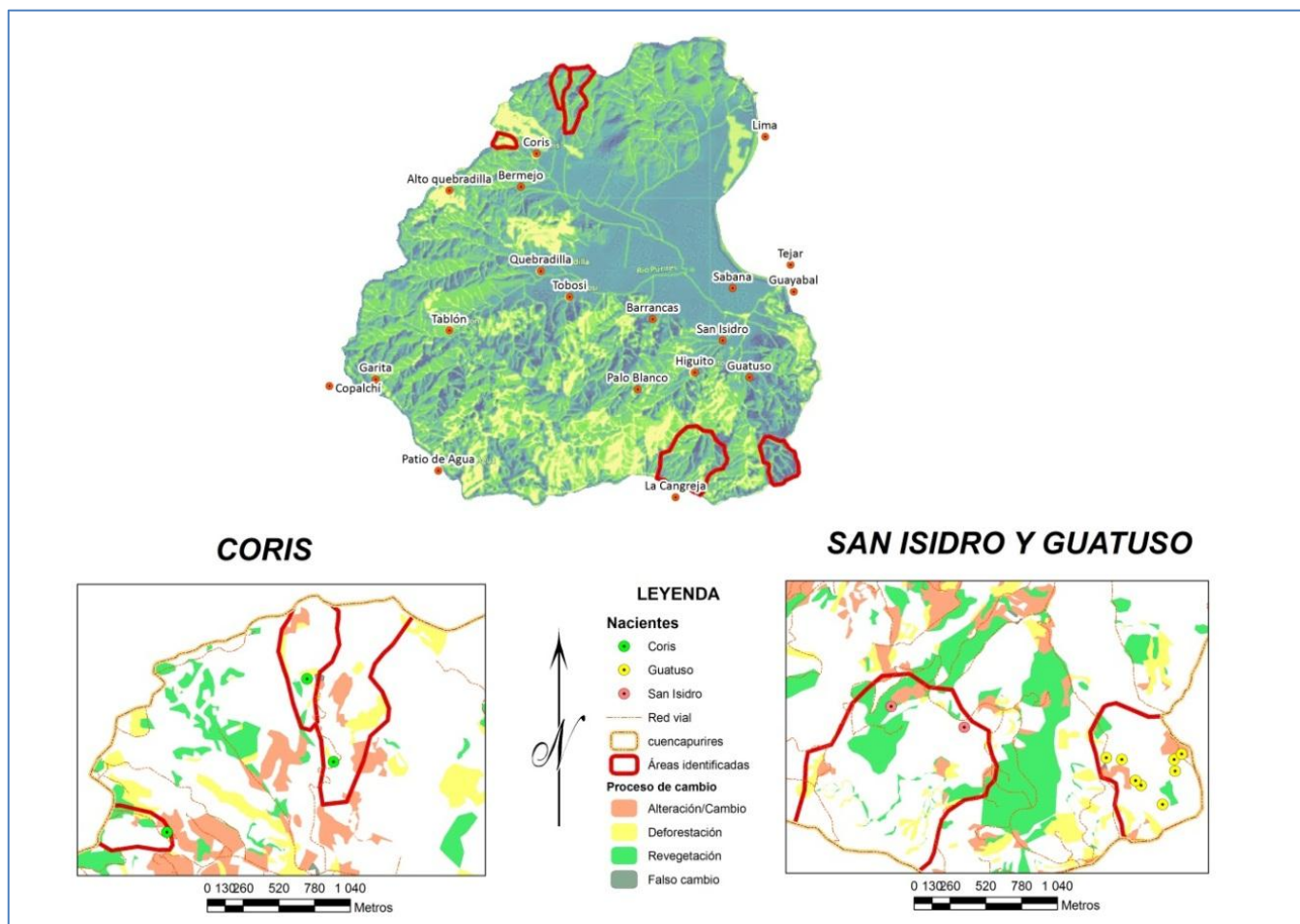


Figura 18. Modelo de deforestación aplicado a las zonas potenciales de recarga de Coris, Guatuso y San Isidro

Fuente: Elaboración propia con base en: fotografías aéreas 1997 del Proyecto Terra 1998 e imágenes satélite rapid eye 2011

En el gráfico 18, se muestra el uso de suelo para los periodos 1997, 2011 y 2020: En el área correspondiente a Coris (Aguacate y Aguacate 1) se puede observar que aunque existe una predominancia de áreas boscosas, los pastizales han ganado superficie principalmente en las

zonas aledañas al manantial (Aguacate 1). Esto supone un elemento que aumenta la vulnerabilidad en las zonas de recarga, porque si bien es cierto, aunque los análisis de laboratorio (expuestos en párrafos anteriores) indican que las condiciones actuales de los suelos son favorables para que los procesos de infiltración a capas más profundas, sea efectivo, varios estudios en diferentes regiones del mundo, demuestran que la sobrecarga animal y actividades intensivas en las zonas de recarga generan afectaciones futuras en cuanto a suministro de agua.

Otro aspecto que se puede observar en la figura con relación al escenario futuro, constituye el aumento de zonas urbanas en áreas cercanas a los manantiales del sector. Aunque los procesos de expansión urbana están concentrados en las zonas más bajas, estas áreas no son excluyentes, tal como se muestra en la gráfica en alusión, de hecho, por los continuos cambios que se han dado en los últimos años, de actividades de tipo agropecuaria a actividades de tipo agroindustrial, así como actividades de tipo extractiva/minera y venta de mano de obra en sectores terciarios, las condiciones socioeconómicas de la población sin duda han cambiado y esto podría tener influencia en los procesos de expansión urbana.

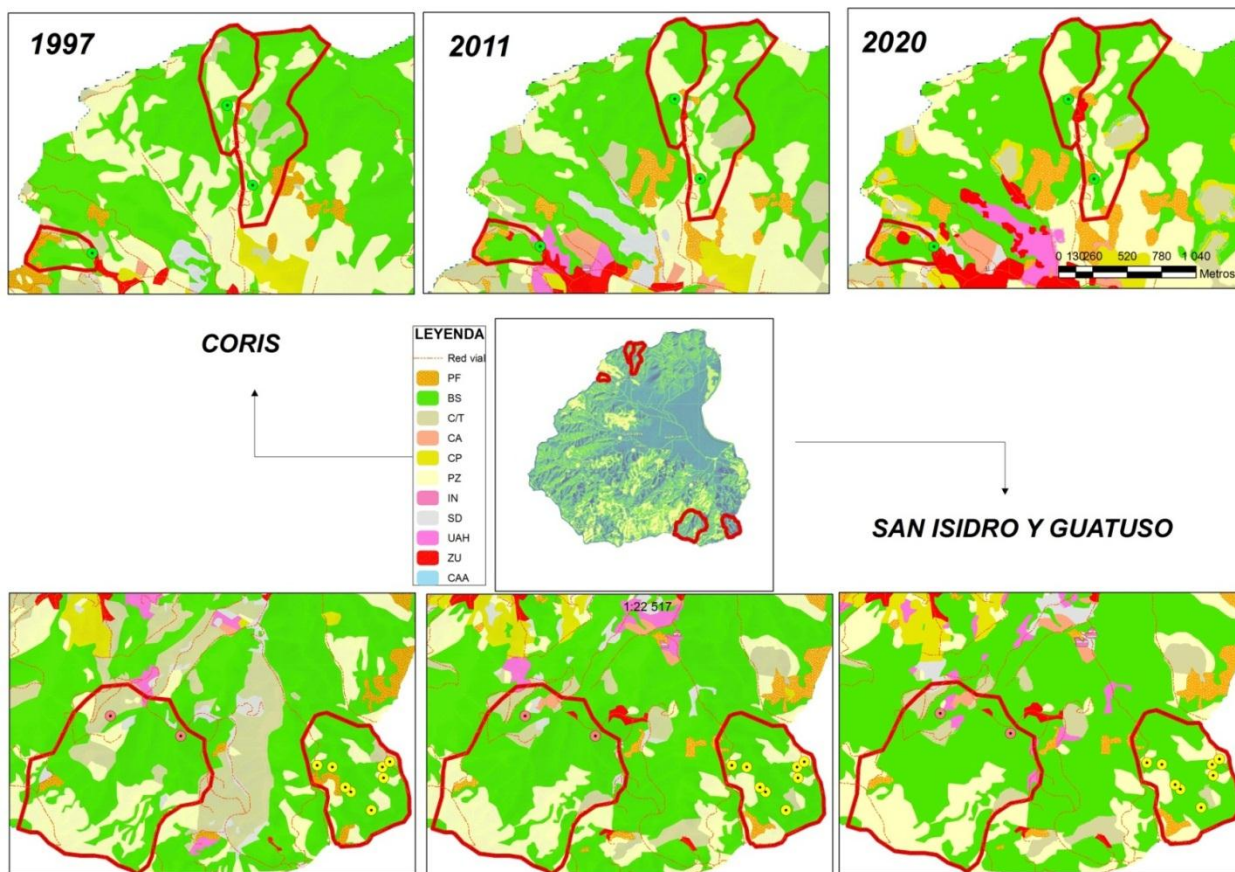


Figura 19. Dinámica de uso de suelo en las zonas potenciales de recarga hídrica durante 1997, 2011 y 2020.

4.4. CONCLUSIONES

- ✓ La dinámica, en cuanto a procesos de revegetación y deforestación en la microcuenca del Río Purires, presentó la misma tendencia que se desarrolla a escala nacional, es decir, existe un aumento de cobertura vegetal de aproximadamente 1,36%, similar al aumento de cobertura vegetal que FONAFIFO determinó para el año 2010 (1% a nivel del país).
- ✓ A pesar de existir un aumento en la cobertura boscosa, es evidente un proceso de deforestación subyacente, el cual asciende al 17% del total de la superficie de cambio, y aunque espacialmente no tiene un área de concentración definida, se observaron que los mayores cambios se dieron en la zona centro-norte de la unidad de estudio.
- ✓ A nivel de la microcuenca la categoría de mayor incremento en el periodo evaluado corresponde a las zonas urbanizadas con un aumento neto de 243, 10 has que equivale al 83,25 % en relación al año inicial (1997), incremento que está relacionado al proceso de conversión rural-urbano al que está expuesta la zona, dada su cercanía a polos urbanos como Cartago y San José.
- ✓ Las zonas potenciales de recarga hídrica en las comunidades estudiadas, el proceso de revegetación en diversa magnitud, las mismas que, se dan en mayor porcentaje a nivel de la localidad San Isidro (63,59%), mientras que por el otro lado, los procesos de deforestación son más evidentes en la zona de Coris (40%).
- ✓ Los mayores niveles de permanencia se concentran en Guatuso, esta localidad presenta valores que alcanzan el 80,9% o 50,93 has respecto al total de su superficie.
- ✓ La proyección al 2020 indica que la categoría de bosques secundarios pierde cobertura en un 0,38% anual, mientras que las zonas urbanizadas tienden a ganar espacio, principalmente en las zonas bajas de la microcuenca con un aproximado de 1,70 % anual.
- ✓ En cuanto a las características de las zonas potenciales de recarga hídrica, se determinó que las propiedades físicas de los suelos a nivel de las tres localidades instituyen condiciones favorables para dichos procesos, es decir, a nivel general éstos, presentan una buena estructura, inferida por los valores de densidad aparente que van desde 0.73 g/cm³ en Guatuso a 1.1 g/cm³ en Coris y San Isidro. Los niveles de porosidad, asociados a la textura del suelo (altos contenidos de arena, en todas las localidades >

33%), indican que son suelos con gran capacidad de aireación y que permiten un adecuado movimiento de agua a capas más profundas.

4.5. LITERATURA CITADA

- Arce, R; Birkel, C; Durán, G; Samudio, M. 2006. Metodologías fotogramétricas e hidrológicas para estimar la amenaza y vulnerabilidad de inundación en la cuenca del río Purires, Cartago, Costa Rica. . Reflexiones 86:127 - 139. Consultado 15 abr. 2012. Disponible en <http://www.latindex.ucr.ac.cr/reflexiones-86-1/reflexiones-86-1-09.pdf>
- Auge, M. 2009. Hidrogeología de llanuras (en línea). Buenos Aires, AR. 82 p. Consultado 15 Nov. 2012. Disponible en <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/HidrogeoLlanuras.pdf>
- Brenes, C. 2009. Análisis multitemporal de cambio de uso de suelo y dinámica del paisaje en el Corredor Biológico Volcánica Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR., CATIE. 108 p.
- Broquen, P; Falbo, G; Frugoni, C; Girardin, L; Guido, M; Martinese, P. 2000. Estructura y porosidad en andisoles con vegetación natural y con plantaciones de *Pinus ponderosa* Dougl. en el sudoeste de Neuquén, Argentina. Bosque 21(1):35-36
- Cabalceta, G; Henríquez, C. 2012. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. 2 ed., Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 112 p.
- Camacho, M; Molero, E; Paegelow, M. 2010. Modelos geomáticos aplicados a la simulación de cambios de usos del suelo. Evaluación del potencial de cambio. In Ojeda, J; Pita, M; Vallejo, I. eds. 2010. Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos. Secretariado de Sevilla, ES., Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. 658-678 p.
- Carrillo, M; Carrillo, S. 2005. Estudio de la amenaza de inestabilidad de laderas y desarrollo de un escenario preliminar de la vulnerabilidad de la infraestructura vital, microcuenca del Río Purires, provincia de Cartago, Costa Rica (en línea). Consultado 5 jul. 2011. Disponible en http://www.geologia.ucr.ac.cr/revista/to_pdf/revista/34-35/12-tesis-licenciatura.pdf
- Casanova, M; Vera, W; Luzio, W; Salazar, O. 2004. Edafología: Guía de clases prácticas. Chile., Universidad de Chile. 74 p. Consultado 15 Oct. 2012. Disponible en http://www.agronomia.uchile.cl/web/manuel_casanova/manual%20edafologia%202004.pdf
- Fallas, J. 2004. Ortorectificación de fotos aéreas con Ilwis. Consultado 15 Abr. 2012. Disponible en http://163.178.140.110/icomvis/images/Documentos/PublicacionesTELESIG/Ortorectificacion_y_georeferenciacion_1.pdf
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, US). 2009. Guía para la descripción de suelos (en línea). Roma, IT. Consultado 26 abr. 2012. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/a0541s/a0541s00.pdf>
- Fassbender, W. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2 ed. Turrialba, CR., CATIE. 491 p.

- Forsythe, W. 1980. Física de suelos. Manual de laboratorio. San José, CR. 212 p.
- Galicia, L; García, A; Gómez-Mendoza, L; Ramírez, M. 2007. Cambio de uso del suelo y degradación ambiental (en línea). Revista Ciencia 58. Consultado 20 Nov. 2012. Disponible en <http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/ediciones-antteriores/127.html>
- González, H. 1993. Desarrollo polarizado y perspectivas de la agricultura nacional (en línea) *In* IX Congreso nacional agropecuario y de recursos naturales (San Jose, CR.) Desarrollo polarizado y perspectivas de la agricultura nacional (en línea). 16 p. Consultado 28 Oct. 2012. Disponible en http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_ix/A01-1277-23.pdf
- Henríquez, C; Azócar, G; Aguayo, M. 2006. Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile (en línea). Revista de geografía Norte Grande (36):61-74. Consultado 18 ene. 2013. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=s0718-34022006000200004&script=sci_arttext
- Hidalgo, H. 2012. Los recursos hídricos en Costa Rica: Un enfoque estratégico (en línea). *In* Laclette, J; Zúñiga, P. eds. 2012. Diagnóstico del agua en las Américas. México Distrito Federal, MX. 445 p. Consultado 12 Nov. 2012. Disponible en http://www.ianas.org/water/book/costa_rica.pdf
- Houet, T; Hubert-Moy, L. 2006. Modelling and projecting land-use and land-cover changes with a cellular automaton in considering landscape trajectories: an improvement for simulation of plausible future state. 14 p.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional, CR). 2008. Cambio climático, segunda comunicación nacional: clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica (en línea). San José, CR. 75 p. Consultado 27 nov. 2011. Disponible en http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/el_clima_variabilidad_y_cambio_climatico_en_cr_version_final.pdf
- Koomen, E; Rietveld, P; De Nijs, T. 2008. Modelling land-use change for spatial planning support (en línea). The Annals of Regional Science 42:1-10. Consultado 18 Nov. 2012. Disponible en http://download.springer.com/static/pdf/195/art%253A10.1007%252Fs00168-007-0155-1.pdf?auth66=1353859749_0c7fdaea7d8017c0f420655ad546a2ec&ext=.pdf
- León-Gamboa, A; Ramos, C; García, M. 2010. Efecto de plantaciones de pino en la artropofauna del suelo de un bosque Altoandino (en línea). Biología Tropical 58(3). Consultado 16 nov. 2012. Disponible en <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v58n3/a16v58n3.pdf>
- López, V; Plata, W. 2009. Análisis de los cambios de cobertura de suelo derivado de la expansión urbana de la zona metropolitana de la ciudad de México, 1990 - 2000 Investigaciones Geográficas:85 - 101.
- Magaña, V; Pérez, J; Conde, C; Gay, G; Medina, S. 1997. El fenómeno de El Niño y la oscilación del sur (ENOS) y sus impactos en México (en línea). México. Consultado 6 oct. 2011. Disponible en <http://www.atmosfera.unam.mx/cambio/nino.htm>
- Matamoros, R. 2011. Manejo del recurso hídrico: Una responsabilidad compartida (diapositivas). Disponible en <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Lpj2IJ2nyGkJ:www.senara.or>

- .cr/documentos%2520de%2520interes/Las%2520herramientas%2520de%2520la%2520hidrogeologia%2520en%2520la%2520gestion%2520de%2520los%2520recursos%2520hidricos.%2520Rafael%2520Matamoros,%2520SENARA.pdf+matamoros+2011.+senara&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=cr
- Mendoza, G; García, K. 2011. Análisis multitemporal de uso y cobertura del suelo en el Municipio de Manaure-Guajira-Colombia, implementando imágenes landsat (en línea) *In Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR* (Curitiba, BR.) Análisis multitemporal de uso y cobertura del suelo en el Municipio de Manaure-Guajira-Colombia, implementando imágenes landsat (en línea). 6442 - 6449 p. Consultado 01 nov. 2011. Disponible en <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0185.pdf>
- Meneses, M. 2000. Cambios en el uso del suelo y expansión de plantaciones. *Ambiente y Desarrollo* 16:86-96. Disponible en http://www.cipma.cl/web/200.75.6.169/RAD/2000/1-2_Meneses.pdf
- Morales, I. 2012. Evaluación de la resiliencia socioecológica en Guanacaste - Costa Rica, casos: Nicoya, Hojancha y Nandayure. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR., CATIE. 120 p.
- Núñez, J. 1981. Fundamentos de edafología. San José, CR. 220 p.
- Oñate-Valdivieso, F. 2011. Aplicación de técnicas de SIG y teledetección en la generación de escenarios de cambio de ocupación de suelo con fines de modelamiento hidrológico (en línea). Loja, EC. 42 p. Consultado 5 Oct. 2012. Disponible en <http://memorias.utpl.edu.ec/sites/default/files/documentacion/hidricos2011/utpl-hidraulica-2011-aplicacion-tecnicas-sig.pdf>
- Paegelow, M; Camacho, M; Menor, J. 2003. Cadenas de Markov, Evaluación Multicriterio y Evaluación Multiobjetivo par la modelización prospectiva del paisaje (en línea). *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica* (3). Consultado 18 ene. 2013. Disponible en http://geofocus.rediris.es/docPDF/Articulo2_2003.pdf
- Pérez, R; Valenzuela, M. 2006. Dinámica de los usos de suelo en el Litoral de Granada (1956-2000): interpretación para la acción planificadora (en línea). *In Congreso nacional de tecnologías de la información geográfica. El acceso a la información espacial y las nuevas tecnogías geográficas.* (Granada, ES.) Dinámica de los usos de suelo en el Litoral de Granada (1956-2000): interpretación para la acción planificadora (en línea). 379 - 393 p. Consultado 28 oct. 2012. Disponible en <http://age.ieg.csic.es/metodos/congresos/granada06.html>
- Pérez, U; Bosque, J. 2008. Transiciones de la cobertura y uso de la tierra en el periodo 1991 - 2005 en la cuenca del río Combeima, Colombia (en línea). *Serie Geográfica: Profesora María de los Ángeles Díaz Muñoz, InMemoriam* 14:163 - 178 p. Disponible en http://desarrollo.ut.edu.co/tolima/hermesoft/portal/home_1/rec/arc_14564.pdf
- Pineda, N; Bosque, J; Gómez, M; Plata, W. 2009. Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes: una aproximación a los procesos de deforestación (en línea). México. Consultado 28 nov. 2011. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112009000200004

- Pontius, R; Shusas, E; McEachern. 2004. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence (en línea). *Agriculture Ecosystems & Environment* 101:251 - 268 p. Consultado 23 Oct. 2012. Disponible en https://www.clarku.edu/~rpontius/pontius_etal_2004_aee.pdf
- Ramírez, E. 2008. Deshielo del nevado Mururata y su impacto sobre los recursos hídricos en la cuenca de Palca (en línea). La Paz, BO. p. 59 p. Consultado 20 nov. 2011. Disponible en <http://www.aguasustentable.org/documentos/Informe%20Final%20Estudio%20Hidrologico%20Cuenca%20Palca%20opt.pdf>
- Ríos, N. 2006. Comportamiento hidrológico de sistemas de producción ganadera convencional y silvopastoril en la zona de recarga hídrica de la subcuenca del Río Jabonal, cuenca del Río Barranca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR., CATIE. 105 p.
- Rubio, G; Schmook, B; Espejel, I. 2005. Dinámica en el uso del suelo en tres ejidos cercanos a la ciudad de Chetumal, Quintana Roo. *Investigaciones Geográficas*:122-139.
- Saénz, A; Rodríguez, J; Herrera, M; Ortíz, E; Borge, C; Obando, G. 2011. Propuesta para la preparación de readiness R-PP Costa Rica (en línea). San José, CR. Consultado 15 Oct. 2012. Disponible en http://www.fonafifo.go.cr/paginas_espanol/noticias/EESA/R-PPCostaRica15Abril2011.pdf
- Solis, H; Oreamuno, R; Murillo, W; Chacón, J. 1993. Modelación hidrológica e hidráulica para el control de inundaciones en Centroamérica. Casos ríos Purires y Turrialba (en línea). Turrialba, CR. 63 p. Consultado 20 oct. 2011. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A7213E/A7213E.PDF>
- Soudre, M. 2004. Factores que influyen sobre las características del suelo y la vegetación secundaria regenerada en pasturas abandonadas del cantón de Hojancha, Guanacaste, Costa Rica. Turrialba, CR, CATIE. 106.
- Valverde, J. 1998. Riego y drenaje. San José, CR. 248 p.
- Veas, N. 2011. Gestión del agua para consumo humano en la microcuenca del río Purires, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 148 p.
- Velázquez, A; Mas, J; Díaz, J; Mayorga, R; Alcántara, P; Castro, R; Fernández, T; Bocco, G; Ezcurra, E; Palacios, J. 2002. Patrones y tasas de cambio de usos de suelo en México (en línea). *Gaceta Ecológica*:21 37. Consultado 11 Nov. 2011. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/539/53906202.pdf>
- Yglesias, M. 2011. Integración de la dimensión espacio-temporal y los procesos sociales: el caso del cambio de uso de la tierra del cantón de Hojancha, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR., CATIE. 147 p.