

# Desarrollo de un programa piloto de gestión ambiental en microcuencas para mejorar la calidad de los ríos en la Reserva Forestal Golfo Dulce, Península de Osa, Costa Rica

Development of an environmental management novel program in watersheds to improve water quality in rivers in the Reserva Forestal Golfo Dulce in Península of Osa, Costa Rica

Guillermo Calvo-Brenes<sup>1\*</sup>, Jesús Mora-Molina<sup>2</sup>,  
Adrián Chavarría-Vidal<sup>3</sup>, Antonio Orozco-Barrantes<sup>4</sup>

*Fecha de recepción: 9 de diciembre de 2015*  
*Fecha de aprobación: 26 de marzo de 2016*

Calvo-Brenes, G; Mora-Molina, J; Chavarría-Vidal, A;  
Orozco-Barrantes, A. Desarrollo de un programa piloto de gestión ambiental en microcuencas para mejorar la calidad de los ríos en la Reserva Forestal Golfo Dulce, Península de Osa. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 3. Pág 15-29.  
DOI: 10.18845/tm.v29i3.2285



1. Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA), Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica; correo electrónico: gcalvo@itcr.ac.cr
  2. Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA), Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica; correo electrónico: jmora@itcr.ac.cr
  3. Escuela de Ingeniería Agrícola, Instituto Tecnológico de Costa Rica; correo electrónico: adchavarría@itcr.ac.cr
  4. Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC); correo electrónico: antonio.orozco@sinac.go.cr
- \* Contacto de correspondencia.

## Palabras clave

Gestión ambiental; índice de calidad; microcuencas; modelo de predicción de la calidad del agua.

## Resumen

Los procesos que lleven a un desarrollo sostenible deben incluir crecimiento económico, social y cultural. El uso del agua es el mejor indicador del grado de desarrollo social y económico de un país. Estudios sobre calidad de agua llegados a cabo en el pasado muestran la relación existente entre esta y su entorno socioambiental.

En la Península de Osa (Costa Rica), el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) ha comprado terrenos dentro de la Reserva Forestal Golfo Dulce (RFGD) a particulares sin contar con políticas de compra, y desconociendo el impacto que su uso tiene sobre la calidad de las aguas.

El objetivo del proyecto fue elaborar un programa de gestión ambiental a través de la compra de terrenos, orientado a la protección o mejora de la calidad de las aguas.

El uso de un modelo de predicción de la calidad del agua basado en variables socioambientales fue la herramienta que permitió evaluar el impacto de los cambios ambientales en la calidad del agua, a través del análisis de distintos escenarios en el área seleccionada para el estudio.

Se encontró que los usos del suelo para pasto o charral-tacotal no ejercen una influencia negativa sobre la calidad del agua. Lo contrario ocurre cuando el suelo se usa con fines agrícolas. Se concluyó que el SINAC debe incrementar la compra de terrenos dentro de la RFGD cuyo uso idóneo sea como bosque, para contrarrestar el posible uso extensivo en actividades agrícolas en la zona costera del área de estudio donde el SINAC no tiene injerencia.

## Keywords

Environmental management; quality index; watershed; water quality prediction model.

## Abstract

Processes that lead to a sustainable development should include economical, social and cultural development. Water use is the best indicator of economical and social development of a country. Research done in the past shows the relationship between water quality and environmental variables.

In the Peninsula of Osa, the Conservation Area National System (SINAC) has begun a land acquisition processes inside the Golfo Dulce Forestal Reserve (RFGD) from private landowners without having clear buying policies and not knowing the impact in water quality the different use land has on it.

The project objective was to elaborate an environment protection program based on land acquisition policies focus on the protection or improving on water quality.

The use of a water quality prediction tool based on environment variables was key to evaluate the effect of environmental changes in water quality, through the analysis of different scenarios in the area selected.

It was found that land use for pasture or chaparral does not negatively affect the water quality. All the contrary occurs when land use is agricultural. The conclusion is that SINAC has to increase the land buying program inside the RFGD to be used for forest, ideally, to overcome possible extensive use of land in agricultural activities along the coastal area, where SINAC has no control.

## Introducción

El modelo de desarrollo que la humanidad ha adoptado en las últimas décadas no ha sido eficaz para llevar bienestar a las comunidades, lo que se evidencia en la grave situación ecológica y social en que vivimos (Novo, 2006).

En el plano ecológico se tiene el cambio climático, la deforestación, la contaminación de agua, aire y suelos, el agotamiento de acuíferos y reservas de agua, la degradación de suelos, la extinción de especies y la degradación de paisajes, que son prueba de la insostenibilidad del modelo (Novo, 2006).

Las poblaciones urbanas, así como las actividades agrícolas e industriales, contaminan las cuencas hidrográficas seriamente, al no existir un plan de desarrollo urbano (Barrantes, 2005; Ramírez, 2003). Costa Rica no cuenta con un plan de desarrollo urbano que contemple la regulación de los distintos usos del suelo. La Península de Osa merece una mayor atención, dado el incremento sostenido que se viene dando en actividades agrícolas, así como el creciente interés en su desarrollo turístico (Calvo-Brenes & Mora-Molina, 2012a, 2012b; Calvo-Brenes, 2013).

La Reserva Forestal Golfo Dulce (RFGD), ubicada en la Península de Osa, fue creada en el año de 1978 y tiene un área de 61 900 hectáreas (ha). Está formada por bosques y terrenos con actitud forestal, donde el objetivo principal es la protección del suelo, la regulación del régimen hidrológico y la conservación del ambiente y las cuencas hidrográficas. La RFGD alberga tres parches de bosques nubosos: los cerros Chocuaco, Brujo y Rincón, que se encuentran en tierras más bajas que otros bosques nubosos del país.

La RFGD es un área relativamente extensa, en general boscosa e incluye importantes microcuencas como las de los ríos Rincón, Riyito y Nuevo; además de espejos de agua dulce, como las lagunas Sierpe y Chocuaco, que están rodeadas de pantanos con plantas herbáceas. Entre las subcuencas y microcuencas destacadas de esta reserva están Drake, Agujas, Rincón, Conte, Barrigones, Sábala, Tigre (que incluye el río Nuevo), Platanares, Madrigal, Carate, Pejeperro, Piro y Tamales. Los ecosistemas lóticos de la RFGD comprenden los ríos y sus bosques ribereños a 40 m en ambos lados del río. Estos, además de contribuir con la regulación del clima y microclimas, contribuyen al enriquecimiento de la biodiversidad regional por medio de especies de flora y fauna de agua dulce, las cuales incluyen 12 especies de peces endémicas tales como *Piabucina boruca*, *Astatheros diquis* y *Bryconamericus terrabensis* (Soto & Jiménez 1992).

El Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) ha comprado terrenos a particulares dentro de los límites de la RFGD desde los años 90. Hasta el día de hoy se han adquirido 51 inmuebles que se encuentran dispersos dentro de la RFGD. La adquisición de estos terrenos se ha realizado sin contar con políticas o metodologías para la adquisición de nuevas tierras ni relacionadas con el uso que se les debe dar. También se desconoce el efecto que estos terrenos tienen en la actualidad sobre la calidad de las aguas.

El agua es un elemento esencial, no solo para la preservación de la vida sino también para la conservación de la flora y la fauna de una región, que representan en algunos casos el atractivo turístico de la zona. Su conservación y su calidad están vinculadas de manera estrecha prácticamente a todas las actividades económicas y sociales en forma ineludible, así como a la salud de la población.

La determinación de la calidad de las aguas superficiales se lleva a cabo a través del uso de distintos indicadores físicoquímicos, microbiológicos y biológicos, así como índices de calidad. En Costa Rica, los criterios y metodologías que se utilizan para evaluar la calidad de los cuerpos de agua superficiales están establecidos en el Reglamento para la evaluación y clasificación

de la calidad de cuerpos de agua superficiales (MINAE, 2007). El Reglamento pretende que los criterios de calidad establecidos permitan la clasificación de los ríos para los diferentes usos que pueden dársele a este bien. El reglamento costarricense clasifica la calidad del agua en cinco clases diferentes que, a su vez, se relacionan con 11 usos distintos que se le pueden dar al agua.

Resulta más práctico seleccionar una sola clase, independientemente de su uso, pero que se considere de alta relevancia. La Clase 2 del Reglamento es una categoría altamente deseable en nuestros ríos, ya que se asocia con actividades recreativas de contacto primario, con la acuicultura, así como con la protección de las comunidades acuáticas. Asimismo, esta calidad del agua se puede emplear en el riego de hortalizas que se consumen crudas o de frutas que se ingieren sin eliminarles la cáscara (MINAE, 2007).

## Metodología

Con el fin de establecer un programa de gestión ambiental orientado a generar calidades de agua cuyo uso sea apropiado como Clase 2 en la Península de Osa, se utilizó la herramienta de predicción de calidad del agua basada en parámetros poblacionales y el entorno recientemente elaborada en el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) (Calvo-Brenes, 2013).

La figura 1 presenta una clasificación de la calidad del agua dividida en rangos y colores cuyo uso facilita la interpretación de resultados. Esta clasificación está asociada a la clasificación por clases del Reglamento costarricense así como a una codificación por colores.

Primeramente, fue necesario evaluar la calidad actual de las aguas analizando indicadores de calidad fisicoquímicos y microbiológicos, con el fin de validar el uso del modelo de predicción de la calidad del agua como herramienta.

De manera paralela, se evaluaron aquellas variables socioambientales de la zona que forman parte del modelo para predecir la calidad de las aguas a mediano y largo plazo por medio de la herramienta. Con esta información y el uso del modelo, se pueden simular diferentes escenarios con relación a las distintas coberturas del suelo.

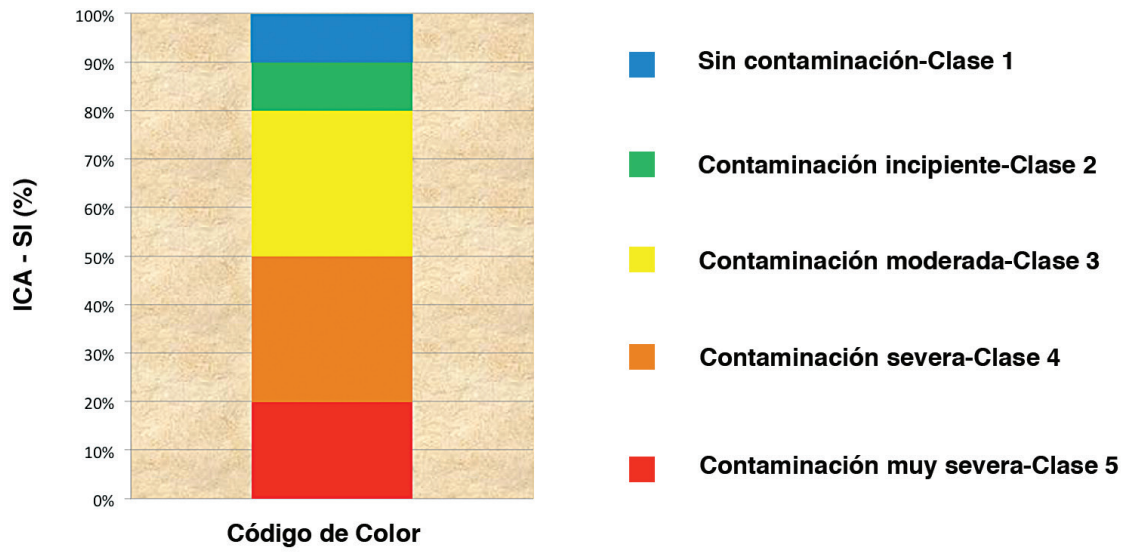
La información así generada permitió establecer un programa de gestión ambiental para el SINAC en lo concerniente a la compra de terrenos, la extensión total requerida y el uso que se les puede dar, cuyo impacto favorezca que la calidad del agua sea Clase 2. Las etapas a través de las cuales se realizó este proyecto fueron las siguientes:

### Ubicación de las áreas de estudio

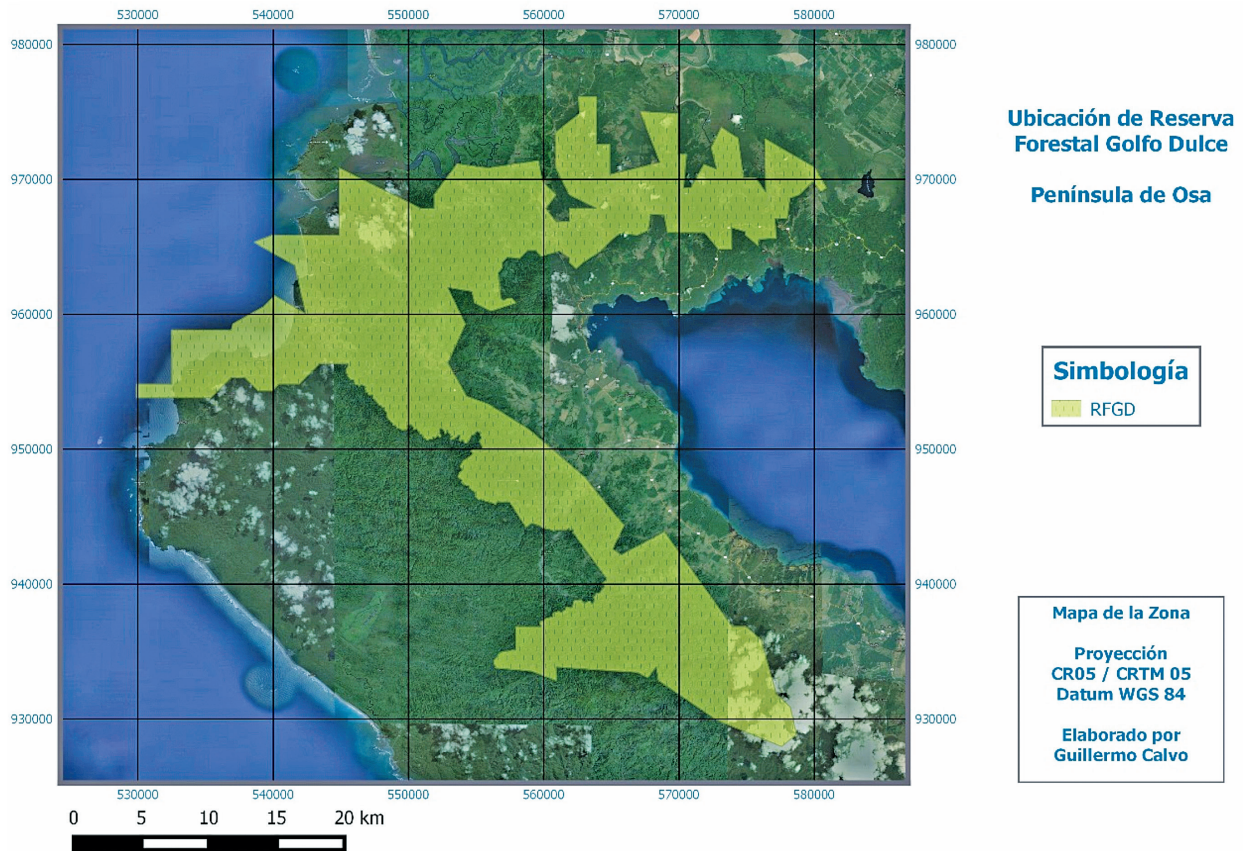
La RFGD cubre una extensión muy amplia de territorio, de la cual forman parte Bahía Drake, la laguna de Chocuaco y sus alrededores, parte de la subcuenca de Rincón. También incluye zonas como Piedras Blancas y Golfito, según se observa en la figura 2.

Dado lo extenso de la RFGD, no es posible efectuar el estudio en cada una de las microcuencas o subcuencas que constituyen el área, ya que el costo sería muy alto. Por lo tanto, fue necesario elegir una subcuenca que representara las características geomorfológicas de la zona y los usos del suelo, de manera que el programa piloto de compra de tierras propuesto se pudiera aplicar a otros sitios no estudiados.

Con este objetivo, se seleccionó la subcuenca de Rincón, por ser una zona relativamente extensa y con un uso del suelo bastante variado. Además, en ella se observaron tres franjas: una superior cercana al Parque Nacional Corcovado, otra media que forma parte de la RFGD y una baja cercana a la zona costera, donde el uso del suelo varía entre urbano, agrícola y ganadero, principalmente, sobre los cuales el SINAC carece de control (figuras 2 y 6).



**Figura 1.** Clasificación de la calidad del agua por clases. Fuente: Calvo-Brenes, 2013.



**Figura 2.** Delimitación del área de la Reserva Forestal Golfo Dulce

Si bien interesa evaluar la calidad del agua en la zona cercana a la desembocadura del río Rincón, se observó que existe una serie de ríos tributarios cuyo entorno varía entre uno y otro, diferencias que pueden ocasionar que la calidad de sus ríos sea diferente entre sí. Por esa razón, se consideró conveniente estudiar la calidad del agua de los distintos puntos de muestreo, con el fin de detectar anomalías, si las hubiera, en alguna de las descargas de los tributarios y que estuviera relacionada con entornos diferentes. El cuadro 1 y la figura 3 presentan los puntos de muestreo seleccionados y su ubicación geográfica.

**Cuadro 1.** Puntos de muestreo utilizados para evaluar la calidad del agua

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	Coordenadas geográficas	
		Latitud	Longitud
G_1	Río Riyito-Después	08° 40' 59,1" N	083° 29' 05,3" W
G_2	Río Rincón-Antes	08° 40' 45,7" N	083° 29' 00,1" W
G_3	Río Riyito-Antes	08° 40' 43,8" N	083° 29' 11,4" W
G_4	Río Rincón-Después	08° 41' 22,0" N	083° 28' 33,3" W
G_5	Quebrada Aguabuena	08° 41' 31,0" N	083° 30' 16,4" W

Nota:

- 1.La palabra *Antes* indica que el punto de muestreo está antes de la descarga de un tributario a este río.
- 2.La palabra *Después* indica que el punto de muestreo está después de la descarga de un tributario a este río.

### Validación del modelo de predicción del Índice de Calidad del Agua

El modelo de predicción fue sometido a un proceso de validación antes de utilizarlo. El procedimiento consistió en evaluar la calidad del agua mediante el análisis de los indicadores de calidad. De manera paralela, se evaluaron las variables socioambientales, con el fin de predecir la calidad del agua por medio del modelo.

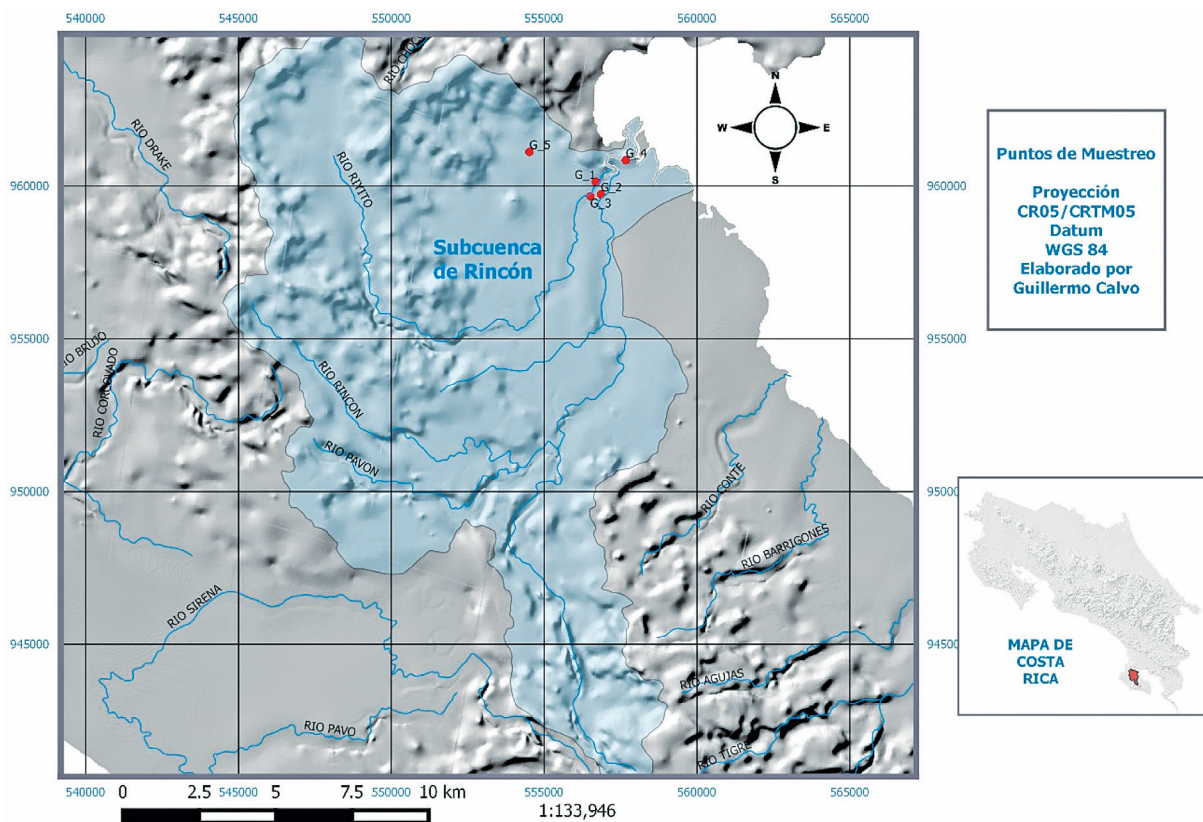
Por último, se compararon los resultados de ambos procedimientos, los cuales deben estar dentro del rango de variabilidad del modelo (Calvo-Brenes, 2013).

El Índice de Calidad del Agua (ICA) que se utilizó fue el ICA-4b-Gmo, cuya forma de cálculo la detalla el investigador Guillermo Calvo-Brenes (2013). Se efectuaron muestreos bimensuales durante un período de 12 meses y los indicadores evaluados para el cálculo fueron los siguientes:

- Indicadores fisicoquímicos. Se analizaron los nitratos, la demanda bioquímica de oxígeno, el nitrógeno amoniacal, la alcalinidad, el fósforo de fosfatos, el porcentaje de saturación de oxígeno y la turbiedad. La metodología, tanto para el análisis como para el muestreo de estos indicadores, fue la establecida en *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).
- Indicador microbiológico. El indicador de calidad microbiológico seleccionado fueron los coliformes fecales, cuya metodología de análisis y muestreo también se describe

en *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). El análisis lo efectuó el Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC), un laboratorio acreditado con la norma ISO 17025.

Los muestreos se llevaron a cabo durante los meses de mayo, julio, septiembre y noviembre de 2014, así como enero de 2015.



**Figura 3.** Localización de los puntos de muestreo en la subcuenca del río Rincón

#### Cálculo del ICA

El cálculo del ICA se efectuó empleando la fórmula de agregación 1, que se muestra a continuación (Calvo-Brenes, 2013):

$$ICA = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{Sli^2}}} \quad (1)$$

donde:

Sli es el subíndice de cada indicador

n es el número total de indicadores utilizados en el cálculo.

El cálculo de los distintos SI se efectuó según la metodología descrita por Calvo-Brenes (2013).

#### Variables poblacionales y del entorno

El modelo requiere el uso de variables poblacionales y del entorno que tienen relación con la calidad de las aguas en los puntos de muestreo.

Los datos sobre densidad poblacional (número de habitantes por kilómetro cuadrado) se obtuvieron haciendo un muestreo a nivel de campo.

Las coberturas del suelo evaluadas fueron las recomendadas por Hernández (2010), con excepción de la distinción entre los tipos de bosque. Los usos seleccionados fueron: uso urbano, cultivos estacionales, cultivos permanentes, pastos, bosque y charral-tacotal.

Para el análisis de uso-cobertura se utilizaron imágenes elaboradas por Broadbent (2015), con el apoyo del *software* Quantum GIS, versión 12.2.0.

La zona riparia se analizó utilizando las imágenes satelitales generadas con el programa Google Earth Pro, versión 7.1.5.1557. En cada río estudiado se trazó una línea que sigue su cauce desde el nacimiento hasta el punto de muestreo. Esta línea se dividió en 10 segmentos y en cada punto se determinó la longitud transversal con relación al cauce del río que posee cobertura boscosa y limita con áreas carentes de ella. El promedio del valor de esa cobertura boscosa se le asignó al resto de la información del punto de muestreo correspondiente, asumiendo que ese punto será afectado por las características de dicha cobertura.

Se analizó la textura del suelo para determinar su composición porcentual en contenido de arena, limo y arcilla. La textura del suelo es la relación porcentual de las partículas minerales de un tamaño menor a 2 mm y divididas en tres rangos de tamaños. Para esto se utilizó el método de Bouyoucos, que consiste en un proceso de medición basado en la velocidad de sedimentación diferenciada de la arena, el limo y la arcilla, medido a diferentes tiempos con un densímetro ASTM 152H (g/l) (Chavarría, 2010). El procedimiento que se siguió es el descrito en el *Manual de Laboratorio de Edafología*, utilizado en el TEC (Chavarría, 2010).

Además, se usó la clasificación del United States Department of Agriculture (USDA) que emplea un triángulo de la textura del suelo en el cual las distintas combinaciones se clasifican en 12 grandes grupos. Cada una de estas categorías presenta distintos grados de infiltración (pulgadas/hora), lo que permite clasificar cualitativamente la textura en una escala de 1 a 12, partiendo del menor grado al mayor, respectivamente, (USDA, 2012).

El orden de las corrientes se determinó siguiendo el procedimiento indicado en *Fundamentos de Hidrología de Superficie* (Aparicio, 2009). Dado que el número de corrientes tributarias que se contabilizan depende de la resolución de los mapas cartográficos, se utilizaron aquellas corrientes indicadas en mapas con una escala de 1:50000.

Otro indicador que se evaluó y que tiene relación con el grado de bifurcación es la densidad de drenaje Dd, que es la longitud de corrientes por unidad de área (Aparicio, 2009). Este se calculó de la siguiente manera:

$$Dd = Ls/A$$

donde:

Ls = Longitud total de las corrientes

A = Área de la cuenca

La pendiente del cauce principal es un indicador muy importante, porque se relaciona con el nivel de respuesta de la cuenca a tormentas pluviales (Aparicio, 2009). Existen varios métodos para estimar este dato, entre los cuales se seleccionó el de la pendiente media, cuyo cálculo se hace determinando el desnivel entre los extremos de la corriente y dividiéndolo entre la longitud medida en planta (Aparicio, 2009)

Se calcularon las pendientes de todo el cauce, tanto en forma longitudinal siguiendo la dirección del río; así como la transversal, tanto el lado izquierdo y el derecho; además, se determinó el



valor medio transversal. El programa Google Earth tiene una función que permite determinar la pendiente promedio en forma precisa.

### Definición de criterios para la compra de terrenos

El modelo de predicción de la calidad del agua Clase 2 tiene la virtud de predecir el ICA considerando solamente variables socioambientales y está basado en un modelo de regresión multivariable. Algunas de esas variables son fijas, como la textura del suelo, y otras son modificables, como el uso del suelo. La variable dependiente o respuesta del modelo corresponde al valor del ICA predicho, mientras que el componente independiente o predictor está compuesto de una serie de variables socioambientales.

Para facilitar el trabajo de simulación se desarrolló un programa en Excel, que permitió el ingreso de valores a cada una de las variables que componen el modelo y obtener una respuesta inmediata del valor del ICA predicho. Lo que interesa son aquellas condiciones en las que el ICA obtenga valores superiores al 80%, que hacen que un río sea apto para su uso como Clase 2 (Calvo-Brenes, 2013). De esta manera, es posible evaluar los distintos escenarios.

Como ya se dijo, algunas de estas variables socioambientales son fijas, como es la textura del suelo, y por lo tanto no se pueden modificar; otras sí pueden cambiarse, como es el uso del suelo. Cada uso de la tierra está expresado como un porcentaje del área total del estudio, sea como bosque o como pasto.

### Resultados y discusión

El cuadro 2 muestra la calidad del agua en cada punto de muestreo y por fecha de la gira. Se observó que en la mayoría de los casos la calidad del agua fue superior al 90%, lo que corresponde a Clase 1. En algunos casos, el ICA fue inferior a la Clase 2, categoría que corresponde a un rango de 80-90%.

Información más detallada de estos resultados, reveló que dicha reducción en la calidad del agua por debajo de la Clase 2, estuvo relacionada con el porcentaje de saturación de oxígeno (PSO), los contenidos de coliformes fecales (CF) y los nitratos.

En el caso de los nitratos, cuya presencia en general se relaciona con el uso de fertilizantes, solamente ocurrió en un evento. En el resto de los casos de menor calidad del agua, estuvo asociada a PSO superiores al 100%, lo cual promueve los procesos de eutrofización. Además, estos niveles menores de la calidad del agua estuvieron asociados a altos contenidos de CF. Esto último es atribuible a la densidad poblacional de los animales que habitan en la zona, ya que la densidad humana es prácticamente de 0.

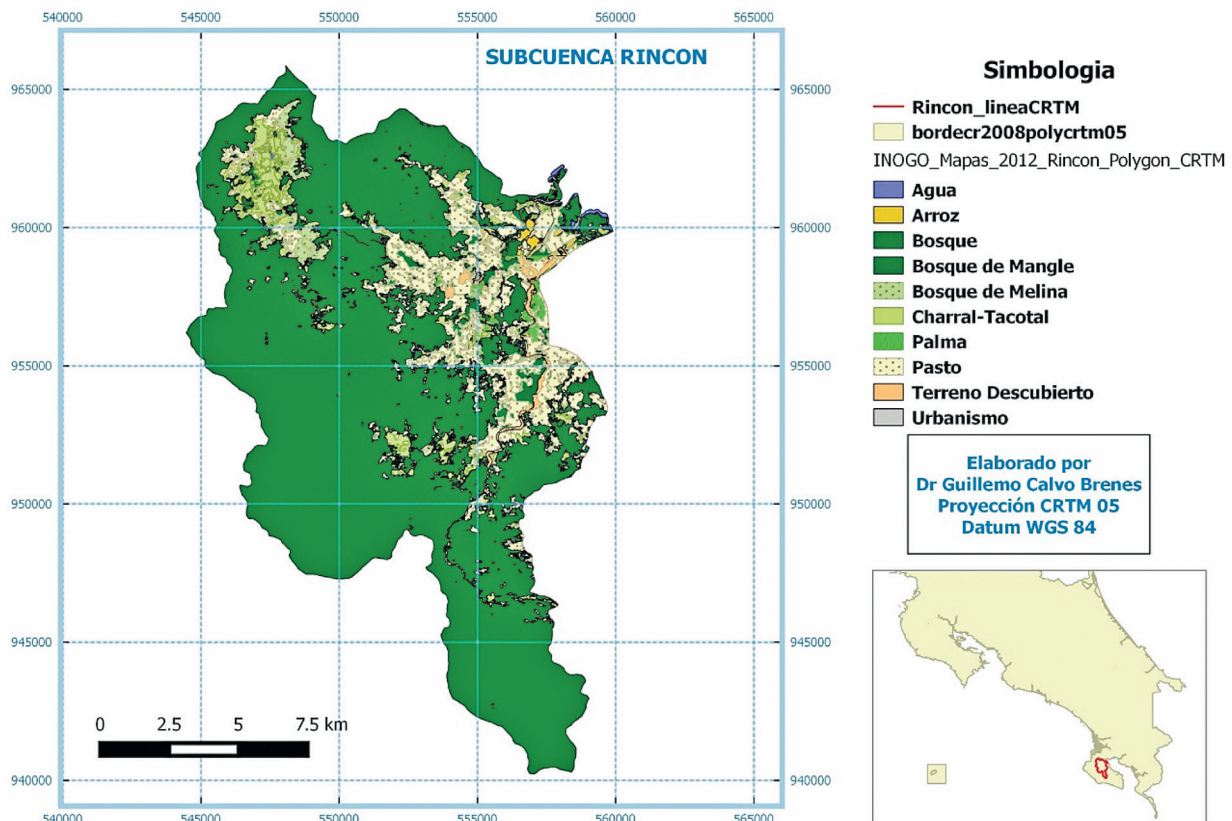
Estos eventos están relacionados con el incremento de las lluvias durante los últimos meses del año en la zona de Osa, que causan el aumento del caudal de los ríos y, por ende, una sobresaturación del oxígeno disuelto en el agua. Las fuertes lluvias también aumentan la escorrentía, que arrastra la materia orgánica hacia el río y, como consecuencia, causa un incremento de los CF.

En aquellos casos en los cuales la calidad del agua fue inferior a la Clase 2 en el punto de mayor interés, que es el G\_4 (Rincón-Después), el dato parece no estar asociado a la calidad aguas arriba, pues esta propiedad es buena en los otros tributarios evaluados en los restantes puntos de muestreo. Esto hace sospechar que la disminución en la calidad fue más bien un evento muy puntual. Por lo tanto, es válido trabajar con el valor promedio del ICA de 85,4% que se muestra en el cuadro 2.

**Cuadro 2.** ICA de cada punto muestreado, según fecha de la gira

Punto	Descripción	Gira 1 Mayo 2014	Gira 2 Julio 2014	Gira 3 Setiembre 2014	Gira 4 Noviembre 2014	Gira 5 Enero 2015	PROMEDIO
G-1	Riyito despues	92.0	92.7	89.5	93.6	95.1	92.6
G-2	Rincon antes	94.3	95.9	93.0	94.8	95.8	94.8
G-3	Riyito antes	61.7	94.1	91.1	27.2	94.8	73.8
G-4	Rincon despues	91.4	60.9	61.5	92.1	48.2	70.8
G-5	Quebrada Aguabuena	94.9	95.1	94.5	92.9	96.7	94.8
PROMEDIO							85.4

La figura 4 muestra los distintos usos del suelo en la subcuenca, donde se puede observar que los agrícolas y ganaderos se ubican principalmente en la zona costera, fuera de la RFGD (figura 6).



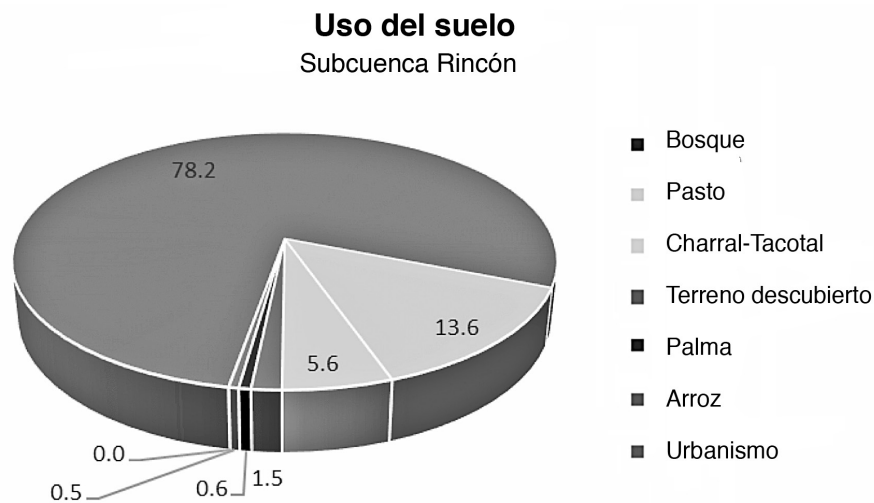
**Figura 4.** Distribución de la cobertura-uso del suelo en la subcuenca del río Rincón

**Cuadro 3.** Distribución de la cobertura-uso del suelo en la subcuenca del río Rincón

Uso	Área (Ha)	%
Bosque	16 706,5	78,2
Pasto	2 901,0	13,6
Charral-tacotal	1 187,5	5,6
Terreno descubierto	326,1	1,5
Palma	131,0	0,6
Arroz	104,9	0,5
Urbanismo	3,1	0,0
TOTAL	21 360,0	100,0

El cuadro 3 muestra que el 78% del área evaluada está dedicado a cobertura boscosa. El segundo mayor uso es el ganadero, con un 13,6% del área total. El uso agrícola es relativamente bajo (2,6%) ; sin embargo, existe un peligro potencial de que aumente a lo largo de los años.

La figura 5 muestra las diferencias que existen entre los usos del suelo en el área de estudio.

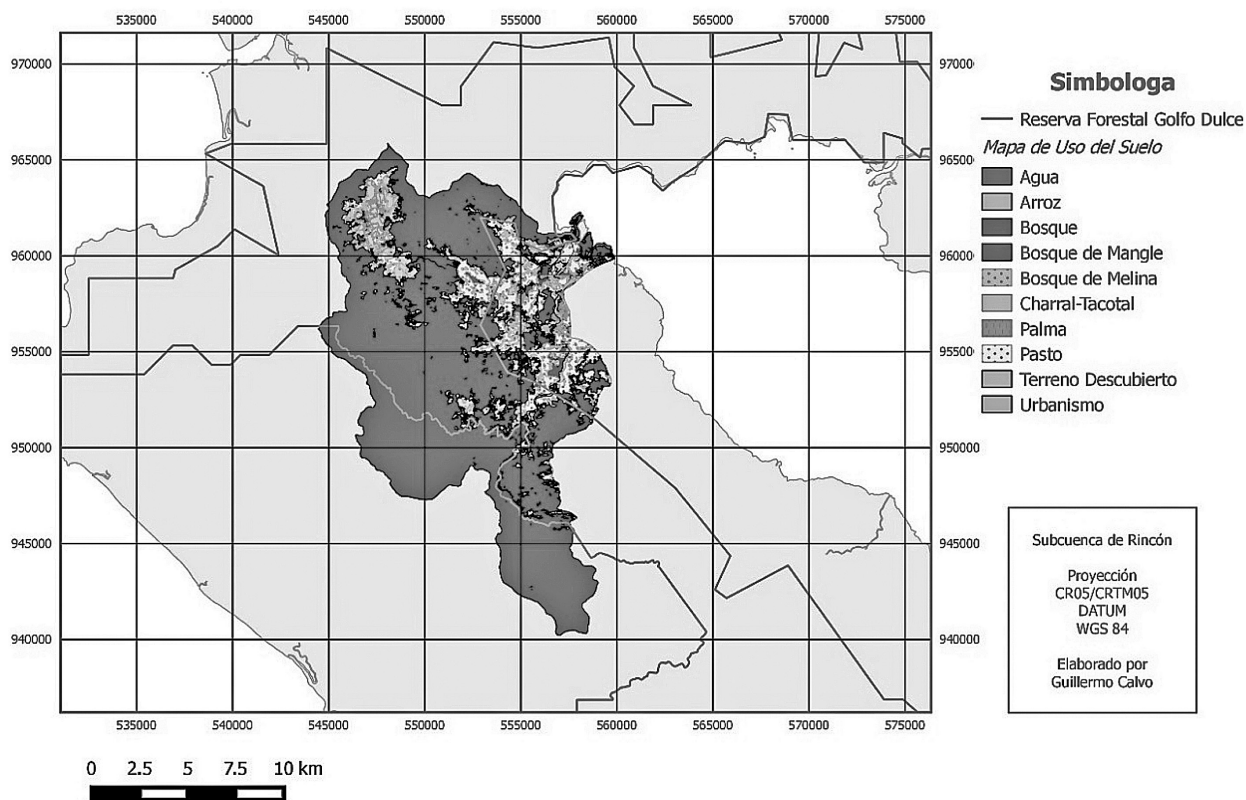


**Figura 5.** Distribución de la cobertura-uso del suelo en la subcuenca del río Rincón

La figura 6 muestra que la mayoría del uso agrícola y ganadero en la subcuenca se ubica en la franja costera, fuera de la RFGD. El cuadro 4 indica que esa franja representa un 18,6% de toda el área de la subcuenca. Anteriormente se mencionó que el uso agrícola en toda la subcuenca representa un 2,6%; sin embargo, debe notarse que no toda la zona costera está dedicada al uso agrícola, pero tiene el potencial de llegar a estarlo.

El uso agrícola del suelo repercute de manera negativa en la calidad de los ríos, principalmente si el cultivo es de tipo perecedor, como ocurre con la siembra de arroz.

Se utilizaron dos modelos de predicción de la calidad del agua, desarrollados por Calvo-Brenes (2013). La conveniencia de usar ambos modelos radica en que varían en cuanto al tipo de variables que los conforman, por lo que proporcionan un mayor nivel de confianza.



**Figura 6.** Usos del suelo en la subcuenca del río Rincón y su ubicación dentro de la RFGD

**Cuadro 4.** Distribución porcentual de las franjas dentro de la subcuenca del río Rincón

Zona	Área (km <sup>2</sup> )	Relación (%)
Subcuenca Rincón	214,0	100,0
Franja de parque	50,8	23,7
Franja de RFGD	123,4	57,7
Franja costera	39,8	18,6

El cuadro 5 muestra el efecto que causan en la calidad del agua los cambios en las variables socioambientales. Hay variables ambientales pasivas que no pueden modificarse, como la

textura del suelo. Por otra parte, las variables activas, tales como la densidad poblacional o el uso del suelo, sí se pueden modificar.

El cuadro 5 muestra una primera fila denominada *Predicción del ICA*, que tiene un valor de 100% utilizando los dos modelos de predicción. El valor promedio de la calidad del agua real fue de 85,4%, por lo que se encuentra dentro del rango de variabilidad del modelo. Por otra parte, es conveniente efectuar un ajuste en los modelos predictores para que los valores predichos se encuentren lo más cerca posible del valor real para mejorar el carácter predictivo de los modelos y disminuir así el error. La fila *Ajuste del ICA* muestra valores de 85,2 y 85,4%, respectivamente, para los dos modelos una vez efectuados esos ajustes. Este ajuste efectuado no afecta la relación multivariable del ICA con respecto a las variables socioambientales (ver Calvo-Brenes, 2013 para mayores detalles del modelo predictor). Por otra parte, al efectuar este ajuste se logra un mejor ajuste del modelo de predicción. El resto de las filas se refiere a cambios realizados en cada variable indicada, manteniendo el resto sin modificaciones y mostrar así distintos escenarios y su efecto predicho en el ICA.

**Cuadro 5.** Escenarios creados con la herramienta de predicción

Condición	Índice de Calidad		
	Modelo 1	Modelo 2	Condición
Predicción del ICA	100	100	
Ajuste del ICA	85,2	85,4	
Población			
+ 1000 personas	82,6	81,8	X
+5000 personas	72,3	67,4	X
Charral-tacotal			
(5.6 a 25) %	85,2	109,5	√
Pasto			
(13.6 a 25) %	91,7	85,4	√
Cultivos permanentes			
(0.6 a 25) %	85,2	80,9	√ X

Nota: X representa un decrecimiento en la calidad del agua.

√ representa una mejora de la calidad del agua o que no cambia.

El cuadro 5 muestra que un incremento de la densidad poblacional de 0 a 1000 habitantes por kilómetro cuadrado (hab/km<sup>2</sup>) provoca una disminución en la calidad de 2,6 a 3,6 puntos porcentuales en el ICA; aún así, la clasificación del agua sigue siendo Clase 2. Un caso diferente es el aumento en la densidad poblacional hasta 5000 hab/km<sup>2</sup>, donde el ICA cae hasta un 67,4%, situando la calidad en Clase 3.

La presencia de Charral-tacotal no causa un efecto de deterioro en la calidad del agua y lo mismo se percibe con el uso del suelo para Pasto. En el primer caso, se evaluó un incremento

del uso del suelo como Charral-tacotal de un 5,6% (situación actual) hasta un 25%. En el segundo caso, se valoró el cambio del Pasto de un 13,6 % (situación actual) hasta un 25%.

El análisis del incremento en el uso del suelo para actividades agrícolas de un 0,6% (situación actual) hasta un 25% muestra un deterioro de la calidad del agua hasta un valor de 80,9% (modelo 2), condición cercana al límite de la Clase 2 (80%).

## Conclusiones

El incremento poblacional de animales que pueda darse en la zona de estudio repercute negativamente en la calidad del agua. Esta es una condición deseable en la zona; sin embargo, tiene un efecto negativo en la calidad de los ríos que afecta el uso del líquido como Clase 2 y, por tanto, debe ser contemplado como parte del contexto de la calidad de las aguas.

El incremento en Charral-tacotal o Pasto parece no afectar la calidad del agua, por lo que no debe ser motivo de preocupación. El uso de pastizales acompañados con presencia de árboles es una práctica que trae beneficios ambientales que están bien documentados. Sin embargo, está demostrado que el mejor uso del suelo es como bosque, por los beneficios que representa para el medio.

El incremento de las siembras permanentes afecta de manera negativa la calidad del agua, por lo que esta actividad debe ser monitoreada. No se comprobó el efecto de las siembras estacionales por medio de los modelos, pero se sabe que también afectan negativamente la calidad del agua, aún más que los cultivos permanentes.

El incremento en cualquiera de los usos del suelo implica la disminución del bosque, lo que repercute negativamente en la zona.

La franja costera representa un área de un 19% de la totalidad de la subcuenca Rincón. En la actualidad, esta franja tiene un uso reducido en actividades agrícolas. Sin embargo, existe el riesgo de que esta zona pueda llegar a utilizarse en actividades agrícolas en su totalidad por estar fuera del control del SINAC. Este uso agrícola podría alcanzar la cifra del 19%, valor que debe sumarse al de las actividades agrícolas que se realizan dentro de la RFGD. Esta condición puede llevar la calidad del agua al límite de la Clase 2 e incluso provocar que su calidad corresponda a una categoría menor.

## Recomendaciones

Se recomienda que el SINAC continúe con la compra de terrenos en la RFGD en su totalidad y que el uso sea para bosque, de tal manera que se contrarresten los cambios que se den posteriormente en la franja costera y que afecten de manera negativa la calidad de las aguas.

En aquellos casos en los que no se logre comprar ciertos terrenos dentro de la RFGD, el SINAC debe promover que su uso no sea destinado a actividades agrícolas.

Las diferentes instituciones que operan en la zona deben promover un uso agrícola integral en el que prevalezca el uso de buenas prácticas agrícolas, con el fin de minimizar los impactos negativos sobre el ambiente y, por ende, sobre la calidad de las aguas.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico de Costa Rica, y en especial a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión, por su apoyo financiero y administrativo. A la Fundación Neotrópica, por el apoyo logístico brindado a este proyecto durante las giras para realizar los muestreos.

Además, al Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA) y al Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC), por su gran respaldo al proyecto.

También hacemos extensivo nuestro agradecimiento al personal del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) y la Reserva Forestal Golfo Dulce (RFGD), en especial al Ing. Antonio Orozco Barrantes, por el apoyo logístico para la ejecución de este proyecto en la Península de Osa así como a su personal encargado de la recolección de muestras de suelo de la zona de estudio para el análisis de textura.

## Bibliografía

- Aparicio, J.F. (2009). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México, DF.: Editorial LIMUSA.
- APHA. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21 ed. Washington, DC: American Public Health Association.
- Barrantes, G. (2005). Disponibilidad del recurso hídrico. En *XI Informe del Estado de la Nación*. Obtenido de <http://www.estadonacion.or.cr/index.php/biblioteca-virtual/costa-rica/estado-de-la-nacion/ponencias/700-informe-xi-disponibilidad-del-recurso-hidrico>. (11/11/11).
- Broadbent, E. (2015). *INOGO: iniciativa Osa y Gofito. A program of the Stanford Woods Institute for the Environment*. Obtenido de <http://inogo.stanford.edu/resources/INOGOMapas?language=en>
- Calvo-Brenes, G. & Mora-Molina, J. (2007a). Evaluación y clasificación preliminar de la calidad de agua de la cuenca del Río Tárcoles y el Reventazón. Parte II: Modelo utilizado en la medición de caudales investigados. *Tecnología en Marcha*, 20(3), 3-11.
- Calvo-Brenes, G. & Mora-Molina, J. (2007b). Evaluación y clasificación preliminar de la calidad de agua de la cuenca del Río Tárcoles y el Reventazón. Parte III: Calidad de cuerpos receptores de agua, según el Sistema Holandés de Valoración. *Tecnología en Marcha*, 20(4), 59-67.
- Calvo-Brenes, G. & Mora-Molina, J. (2007c). Evaluación y clasificación preliminar de la calidad de agua de la cuenca del río Tárcoles y el Reventazón. Parte I: Análisis de la contaminación de cuatro ríos del área metropolitana. *Tecnología en Marcha*, 20(2), 3-9.
- Calvo-Brenes, G. & Mora-Molina, J. (2012<sup>a</sup>). Análisis de la calidad de varios cuerpos de agua superficiales en el GAM y la Península de Osa utilizando el Índice Holandés. *Tecnología en Marcha*, 25(5), 37-44.
- Calvo-Brenes, G. & Mora-Molina, J. (2012<sup>b</sup>). Contaminación fecal en varios ríos del Gran Área Metropolitana y la Península de Osa. *Tecnología en Marcha*, 25(4), 33-39.
- Calvo-Brenes, G. (2013). Nueva metodología para valorar la calidad de las aguas superficiales para su uso como clase 2 en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 26(2).
- Chavarría, A.E. (2010). *Manual de laboratorio de edafología*. Cartago, C.R.: Escuela de Ingeniería Agrícola, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- FAO. (2011). *La FAO lanza campaña para prevenir las enfermedades de transmisión alimentaria*. Obtenido de <http://www.alimentacion.enfasis.com/notas/12574-la-fao-lanza-campana-prevenir-las-enfermedades-trasmision-alimentaria>.
- Hernández, A. (2010). *Geomorfología, uso de la tierra y dinámica erosión-sedimentación como aspectos claves para iniciar la gestión ambiental en la cuenca del río Nosara, Guanacaste, Costa Rica*. Tesis de Doctorado. Programa de estudios de doctorado en ciencias naturales para el desarrollo. ITCR-UNED-UCR. Obtenido de <http://www.posgrado.una.ac.cr/index.php/menu-tesis/43-doctorado/ciencias-naturales-para-el-desarrollo/enfasis-en-gestion-y-cultura-ambiental/775-geomorfologia-uso-de-la-tierra-y-dinamica-erosion-sedimentacion-como-aspectos-claves-para-iniciar-la-gestion-ambiental-en-la-cuenca-hidrografica-del-rio-nosara-guanacaste-costa-rica>
- MINAE. (septiembre, 2007). *Reglamento para la clasificación y la evaluación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. No 33903 MINAE-S. La Gaceta No. 178*.
- Novo, M. (2006). *El desarrollo sostenible: su dimensión ambiental y educativa*. 2 ed. Madrid: Pearson & Prentice Hall.
- Ramírez, J.M. (2003). *Calidad de Aguas Residuales en los sistemas de depuración operados y administrados por AyA y estudios especiales de interés institucional*. Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados, Informe anual, San José.