

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN
DIRECCIÓN DE PROYECTOS

**DESARROLLO DE UN PROGRAMA PILOTO DE GESTION
AMBIENTAL EN MICROCUENCAS QUE MEJOREN LA
CALIDAD DE LOS RIOS EN LA RESERVA FORESTAL
GOLFO DULCE EN LA PENINSULA DE OSA**

Investigadores:

Dr Guillermo Calvo Brenes, MBA.

Dr Jesús Mora Molina

MSc Adrian Chavarria Vidal

Ing. Antonio Orozco Barrantes

Noviembre 1, 2015

TABLA DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN	5
PALABRAS CLAVE	6
INTRODUCCIÓN	7
MARCO TEORICO	7
Situación General del Recurso Hídrico	7
METODOLOGIA	10
Ubicación del área de estudio.	12
Validación del modelo de predicción del ICA	15
Cálculo del índice de calidad del agua	16
Variables poblacionales y del entorno	16
Establecimiento de criterios para la compra de terrenos	19
RESULTADOS Y DISCUSION	19
CONCLUSIONES	26
RECOMENDACIONES	26
AGRADECIMIENTO	27
BIBLIOGRAFIA	28
ANEXO: Mapas de la Zona	33

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN
DIRECCIÓN DE PROYECTOS

TITULO: DESARROLLO DE UN PROGRAMA PILOTO DE GESTION AMBIENTAL EN MICROCUENCAS QUE MEJOREN LA CALIDAD DE LOS RIOS EN LA RESERVA FORESTAL GOLFO DULCE EN LA PENINSULA DE OSA

CODIGO: 1460032

Autores:

Dr Guillermo Calvo Brenes, MBA/Coordinador del proyecto^a
Escuela de Química, ITCR, Cartago.
Correo electrónico: gcalvo@itcr.ac.cr

Dr Jesús Mora Molina/Investigador del proyecto^b
Escuela de Química, ITCR, Cartago.
Correo electrónico: jmora@itcr.ac.cr

MSc Adrian Chavarria Vidal/Investigador del proyecto^b
Escuela de Agrícola, ITCR, Cartago.
Correo electrónico: adchavarria@itcr.ac.cr

Ing. Antonio Orozco Barrantes
Sistema Nacional de Areas de Conservación (SINAC)
Correo electrónico: antonio.orozco@sinac.go.cr

1. 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 con el entorno socio ambiental.

En la Península de Osa, el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) ha efectuado la compra de terrenos dentro de la Reserva Forestal Golfo Dulce a particulares sin contar con políticas de compra, y desconociendo el impacto que el uso de estos terrenos 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 socio ambientales fue la herramienta que permitió evaluar el impacto de cambios

ambientales en la calidad del agua a través del análisis de distintos escenarios en la zona seleccionada para el estudio.

Se encontró que usos del suelo para pasto o charral-tacotal no ejercen una influencia negativa sobre la calidad del agua. Situación contraria ocurre cuando el suelo se usa con fines agrícolas. Se concluyó que el SINAC debe incrementar la compra de terrenos dentro de la RFGD y 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.

PALABRAS CLAVE:

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

2. INTRODUCCION

Costa Rica no cuenta con un plan de desarrollo urbano que contemple la regulación de los distintos usos del suelo, nuestros ecosistemas han cambiado debido a la explotación comercial de especies no nativas, el uso agrícola y ganadero de los suelos y la constante expansión de asentamientos humanos. Nuestras cuencas hidrográficas no se protegen adecuadamente, las aguas residuales del país no reciben tratamiento convencional alguno, no existe un mecanismo preventivo para controlar la contaminación y una vez detectado el problema, es difícil de solucionar.

Las actuales poblaciones urbanas, así como las actividades agrícolas e industriales, contaminan las cuencas hidrográficas seriamente al no existir un plan de desarrollo urbano. Aún poblaciones como Osa, situada en el Pacífico Sur del país, caracterizada por una densidad poblacional muy baja y una biodiversidad exuberante, no escapan a esta realidad propia de todo el país, la cual ha sido evidente por los enfrentamientos recientes entre empresas desarrolladoras ubicadas en la zona de Osa, el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), el Tribunal Ambiental y la Municipalidad de Osa, con el subsecuente cierre de infraestructuras ya construidas.

La Reserva Forestal Golfo Dulce (RFGD) que se encuentra ubicada en la Península de Osa a través del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) desde los años 90 ha realizado la compra de terrenos a particulares, dentro de los límites de la RFGD. Hasta el día de hoy se han adquirido 51 inmuebles los cuales se encuentran dispersos dentro de la RFGD. La adquisición de estos terrenos se ha efectuado sin contar con políticas o metodologías para la adquisición de nuevas tierras así como el uso que se les deba dar a los terrenos ya adquiridos. Igualmente se desconoce el efecto que estos terrenos tienen en la actualidad sobre la calidad de las aguas.

El objetivo del proyecto fue desarrollar un programa de gestión ambiental basado en adquisición controlada de tierras en la RFGD así como su uso y que promueva la preservación o mejora de la calidad de los ríos, de acuerdo a su estado original. Aún aquellos ríos que representan calidades óptimas en la actualidad, deben ser objeto de protección a largo plazo por medio de programas de gestión territorial dado el creciente auge turístico y de cambio de uso de la tierra para fines agrícolas.

En la actualidad, el ITCR cuenta con un instrumento de predicción de la calidad del agua recientemente elaborado, y basado enteramente en variables socio ambientales para la predicción de la calidad de las aguas a largo plazo. Esta herramienta permitió efectuar simulaciones entre variables ambientales y ayudar, por lo tanto, en la generación de políticas ambientales que protejan la calidad de las aguas a través del trabajo del SINAC dentro de la RFGD.

3. MARCO TEORIO

Situación general del recurso hídrico.

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

En el plano ecológico está 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 dan prueba de la insostenibilidad de dicho modelo (Novo, 2006). Los desequilibrios ambientales experimentados por los países industrializados, fueron trasladados a los países en desarrollo, que dependen de la explotación y exportación de recursos naturales como actividad económica para lograr el desarrollo. Además, la explosión demográfica así como el incremento en los niveles de vida y los niveles de consumo, ha agudizado dicha crisis en la región (Novo, 2006).

En cambio, los procesos que lleven a un desarrollo sostenible deben incluir crecimiento económico, social y cultural, cuyo fin último genere un mayor nivel de desarrollo humano y una ampliación de la capacidad y la libertad de las personas. Es menester, por tanto, renovar el capital biótico y abiótico como condición de sostenibilidad, para lo cual debemos reducir el consumo de recursos naturales, incentivar el uso de energías renovables; el reducir, reciclar y/o reutilizar los bienes consumidos; el uso de modelos de agricultura sostenible; la gestión sostenible de los bosques; la restauración de los sistemas degradados; así como cambiar los niveles de consumo de alimentos y el uso de energías limpias o renovables. En zonas rurales es común la posesión de tierras que les permiten a sus habitantes tener actividades de subsistencia en el ámbito alimentario y vivir una vida digna y autosuficiente.

Dentro de este capital está el agua, cuyo uso es el mejor indicador del grado de desarrollo social y económico de un país. El agua es un elemento esencial no solo para la preservación de la vida, sino también para la conservación de la flora y fauna en una región, lo que representa, en algunos casos, el atractivo turístico de la zona. Su conservación y su calidad están estrechamente vinculadas prácticamente a todas las actividades económicas y sociales en forma ineludible, así como a la salud de la población. Hay una relación directa entre la pobreza y el nivel de desigualdad al acceso al agua potable: a mayor desigualdad, hay mayor pobreza (Astorga, 2008). La Organización Mundial de la Salud ha dicho que el 80 % de las enfermedades del mundo se debe a problemas con el agua (AyA, 2003; OMCO, 2010; FAO, 2011). El agua, necesaria e indispensable para sostener la vida, también es portadora de enfermedades y muerte. La tifoidea, el cólera, la disentería, la diarrea y la hepatitis infecciosa son cinco enfermedades que se transmiten por agua contaminada o por lavar alimentos, utensilios y manos en ella (OMS, 2009). La malaria y la fiebre amarilla son enfermedades transmitidas por vectores que se crían en el agua (OMS, 2011).

La determinación de la calidad de las aguas superficiales se lleva a cabo a través del uso de distintos indicadores físico químicos, 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 pueda darse a este bien. El reglamento costarricense clasifica la calidad del agua en 5 clases diferentes que a su vez, se relacionan con 11 usos distintos que se le puede dar al agua.

Resulta más práctico el 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. Igualmente esta calidad de agua se puede emplear en el riego de hortalizas que se consumen crudas o de frutas que son ingeridas sin eliminación de la cáscara (MINAE, 2007).

Estudios sobre calidad de agua llegados a cabo desde el 2006 hasta el 2012 en las cuencas del Tárcoles, el Reventazón y la Península de Osa muestra la relación existente entre algunas actividades humanas, especialmente relacionadas con el uso del suelo, las características del entorno y su relación con el grado de contaminación de los ríos (Calvo. y Mora, 2007a, 2007b, 2007c y 2009).

Las subcuencas del Tigre y Rincón muestran niveles de no contaminación usualmente, aunque dependiendo de la época del año, se registran distintos niveles de contaminación hasta llegar a contaminaciones muy severas. La microcuenca del río Birrís que presenta densidades poblacionales similares a las de las subcuencas anteriores, muestra niveles de contaminación de incipiente hasta muy severa en la mayoría del año. La diferencia entre ambas radica en el uso extensivo que se le da a la tierra en actividades agrícolas.

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. y Mora, 2012a, 2012b; Calvo, 2013)

Actualmente en Costa Rica no existe un plan de desarrollo urbano que contemple la regulación de los distintos usos del suelo. Nuestros ecosistemas han cambiado debido a la explotación comercial de especies no nativas, el uso agrícola y ganadero de los suelos y la constante expansión de asentamientos humanos (Astorga, 2008). Nuestras cuencas hidrográficas no se protegen adecuadamente, las aguas residuales del país no reciben tratamiento convencional alguno, no existe un mecanismo preventivo para controlar la contaminación y una vez detectado el problema, es difícil de solucionar. Las actuales poblaciones urbanas, así como las actividades agrícolas e industriales, contaminan las cuencas hidrográficas seriamente al no existir un plan de desarrollo urbano (Barrantes, 2005 y Ramírez, 2003).

Aún poblaciones como Osa, situada en el Pacífico Sur del país, caracterizada por una densidad poblacional muy baja y una biodiversidad exuberante, no escapan a esta realidad propia de todo el país, la cual ha sido evidente por los enfrentamientos recientes entre empresas desarrolladoras ubicadas en la zona de Osa, el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), el Tribunal Ambiental y la Municipalidad de Osa, con el subsecuente cierre de infraestructuras ya construidas (Pujol, 2008).

La Reserva Forestal Golfo Dulce (RFGD) que se encuentra ubicada en la Península de Osa fue creada en el año de 1978 y tiene un área de 61.900 Hectáreas. Está formada por bosques cuya función principal es la producción de madera y por terrenos forestales que por naturaleza sean especialmente aptos para ese fin. Alberga tres parches de bosques nubosos: cerro Chocuaco, Brujo y Rincón que están en tierras más bajas que otros bosques nubosos del país. Es un área relativamente extensa, generalmente boscosa e incluye importantes microcuencas como lo son las de Río Rincón, Riyito y Río Nuevo, además de espejos de agua dulce, encontramos las lagunas de Sierpe y Chocuaco, las cuales están rodeadas de pantanos con herbáceas. Entre las microcuencas destacadas de la RFGD están Drake, Agujas, Rincón, Conte, Barrigones,

Sábala, Tigre (que incluye al río Nuevo), Platanares, Madrigal, Carate, Pejeperro, Piro y Tamales. Los ecosistemas lóticos de la RFGD comprenden los ríos y sus bosques ribereños a 40m 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 como *Piabucina boruca*, *Astatheros diquis* y *Bryconamericus terrabensis* (Soto y Jiménez 1992).

Como parte de la creación de la RFGD, el Sistema Nacional de Areas de Conservación (SINAC) desde los años 90 ha realizado la compra de terrenos a particulares, dentro de los límites de la RFGD. Hasta el día de hoy se han adquirido 51 inmuebles los cuales se encuentran dispersos dentro de la RFGD. Los usos del suelo de estos inmuebles van desde bosques sin intervenir hasta terrenos agrícolas.

La adquisición de estos terrenos ha carecido de políticas de compra, no se dispone de una herramienta o metodología para determinar la importancia ecológica de los inmuebles que los particulares ofertan al estado y no se dispone de una estrategia definida sobre las acciones a seguir, por parte del SINAC, sobre las fincas que ya compró que en total suman 51 terrenos.

El proyecto de trabajo conjunto entre el MINAE y el ITCR, busca elaborar un programa de gestión ambiental orientado a la recuperación y/o protección de la calidad de las aguas relacionado con la adquisición de terrenos y su uso, pero que también permita el desarrollo de los habitantes de la zona en el ámbito económico, social, turístico, agrícola y comercial, mejorando la calidad de vida en la zona y permitiendo un desarrollo sostenible de sus habitantes, con un mínimo deterioro del ambiente.

En la actualidad, el ITCR cuenta con un instrumento de predicción de la calidad del agua tipo Clase 2, recientemente elaborado, validado y basado enteramente en variables socio ambientales para la predicción de la calidad de las aguas a largo plazo. Esta herramienta permite efectuar simulaciones entre variables y ayudar, por lo tanto, en la generación de políticas ambientales que protejan la calidad de las aguas.

4. METODOLOGIA

El reglamento nacional para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales divide en 5 clases la clasificación de las aguas con relación a los posibles usos que se le pueda dar a la misma (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de los cuerpos de agua, según el uso potencial y el tratamiento que requieran

Usos \ Categorías	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Abastecimiento de agua para uso y consumo humano	Con tratamiento simple con desinfección	Con tratamiento convencional	Con tratamiento avanzado	No utilizable	No utilizable
Abastecimiento de agua para actividades industriales destinadas a la producción de algunos alimentos de consumo humano	Sin tratamiento previo o con tratamiento simple de desinfección	Con tratamiento convencional	Con tratamiento avanzado	No utilizable	No utilizable
Abastecimiento de agua para abrevadero y actividades pecuarias.	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Con limitaciones	No utilizable
Actividades recreativas de contacto primario.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Acuicultura.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Fuente para la conservación del equilibrio natural de las comunidades acuáticas.	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Fuente para la protección de las comunidades acuáticas.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Generación hidroeléctrica.	Utilizable	Utilizable	Utilizable	Utilizable con limitaciones	Utilizable con limitaciones
Navegación.	No utilizable	No utilizable	Utilizable	utilizable	Utilizable
Riego de especies arbóreas, cereales y plantas forrajeras.	Utilizable	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable
Riego de plantas sin limitación, irrigación de hortalizas que se consumen crudas o de frutas que son ingeridas sin eliminación de la cáscara.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable

Fuente: La Gaceta 178, 2007

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 debió emplear la herramienta de predicción de calidad del agua basada en parámetros poblacionales y el entorno recientemente elaborada en el ITCR (Calvo, 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 va asociada a la clasificación por clases del reglamento costarricense así como una codificación por colores.

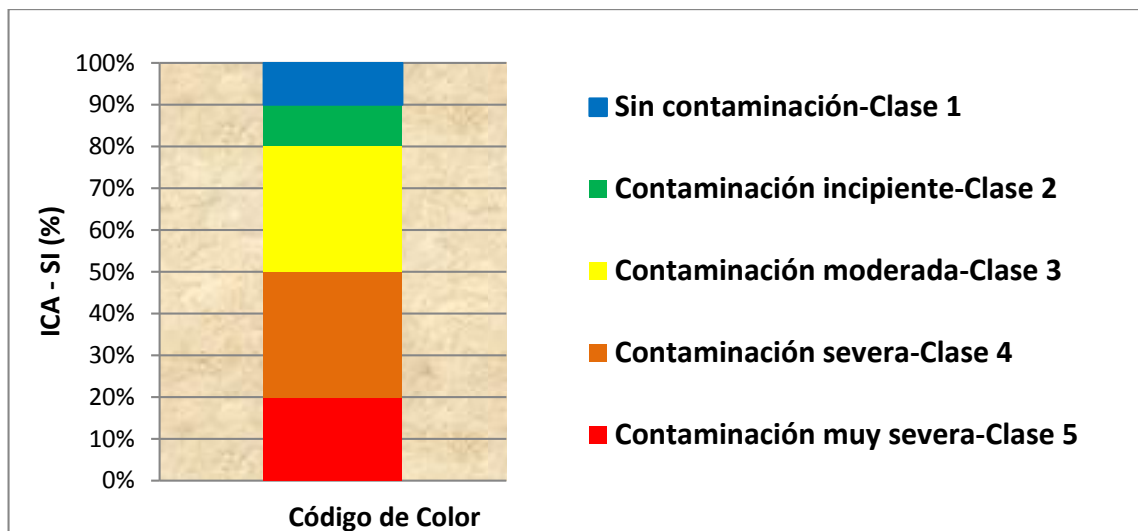


Figura 1. Clasificación de la calidad del agua por clases.

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 predicción.

Paralelamente, se evaluaron aquellas variables socio ambientales en la zona y 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 distintos escenarios con relación a las distintas coberturas del suelo.

La información así generada permite establecer un programa de gestión ambiental al SINAC en lo concerniente a la compra de terrenos, extensión total requerida y el uso que se dé a los terrenos, cuyo impacto favorezca que la calidad del agua sea clase 2 (MINAE, 2007).

Las etapas llevadas a cabo en este proyecto fueron las siguientes:

4.1. Ubicación de las áreas de estudio

La Reserva Forestal Golfo Dulce (RFGD) cubre una extensión muy amplia de la cual forma parte Bahía de Drake, la Laguna de Chocuaco y sus alrededores, desde Rincón hasta Puerto Jiménez y Carate; en un ancho que va desde la zona costera y los bordes del Parque Corcovado. También incluye zonas como como Piedras Blancas y Golfito, según se observa en la figura 2.

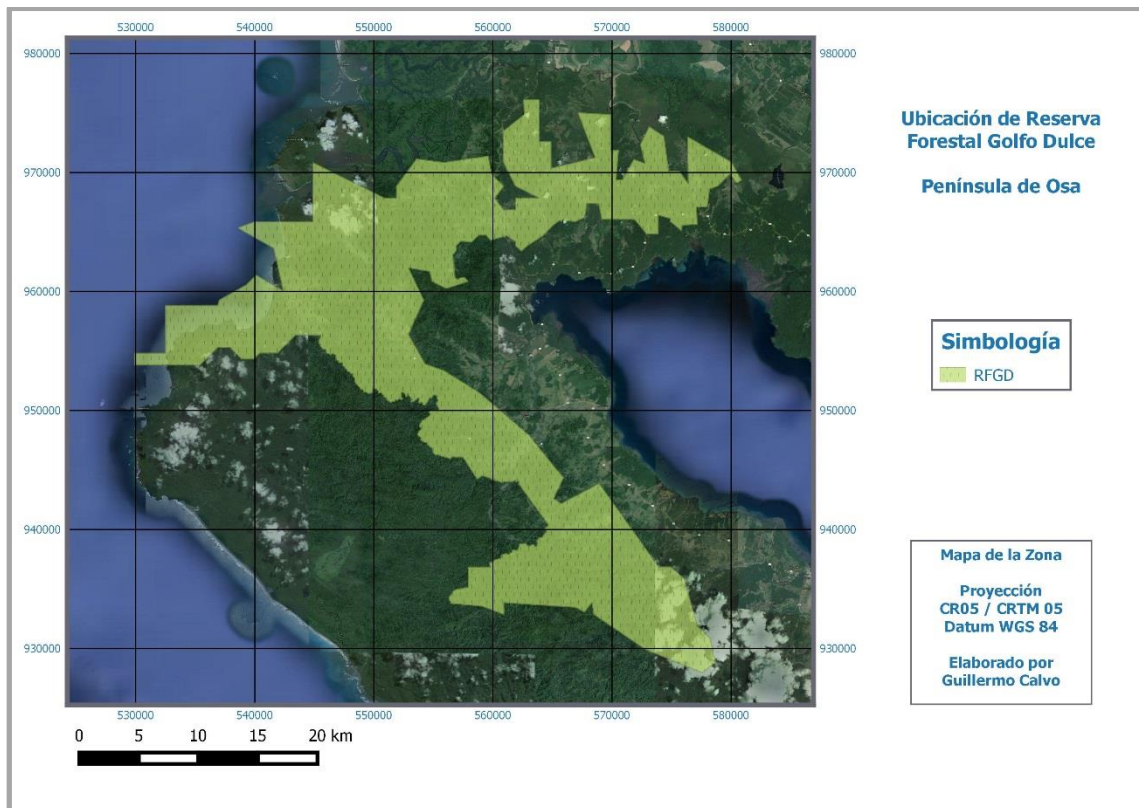


Figura 2. Delimitación de la zona de la Reserva Forestal Golfo Dulce.

Dado lo extenso de la RFGD, no es posible efectuar el estudio en cada uno de las microcuencas o subcuencas que constituyen el área, cuyo costo sería sumamente alto. Por tanto, fue necesario elegir una subcuenca que representara las características geomorfológicas de la zona y los usos del suelo para que el programa piloto de compra de tierras propuesta, se pueda aplicar a otras de las zonas no estudiadas.

La Subcuenca de Rincón fue seleccionada, por ser una zona relativamente extensa y con una cobertura del suelo bastante variada. Presenta otra ventaja que es la accesibilidad a distintos puntos, aspecto muy importante con relación al estudio de la textura del suelo. Además, se observaron tres franjas en la subcuenca: una superior cercana al Parque Corcovado, otra media que forma parte de la RFGD y una baja cercana de la zona costera donde el uso del suelo varía de urbano, agrícola y ganadero, principalmente, de los cuales el SINAC carece de control (Figura 2 y 9).

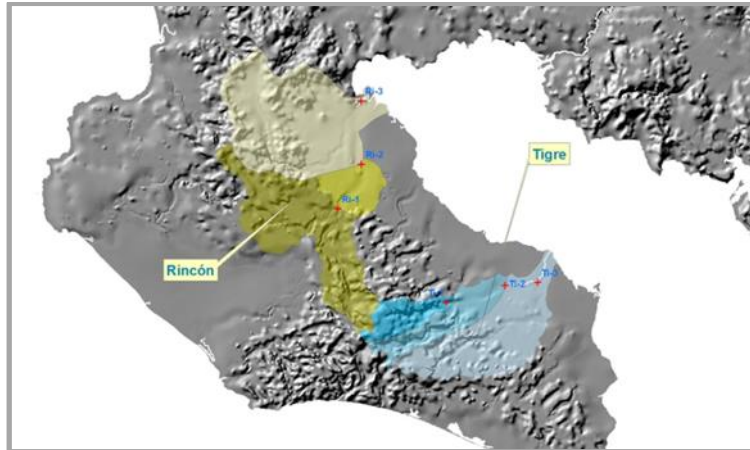


Figura 3. Localización de la subcuenca Rincón en la Península de Osa.

Fuente: Elaboración propia.

Si bien interesa evaluar la calidad del agua en la zona cercana a la desembocadura del río Rincón causado por el efecto del entorno socio ambiental, se observó que existen una serie de ríos tributarios cuyo entorno varía entre uno y otro. Por esa razón se consideró conveniente estudiar la calidad del agua de los distintos puntos de muestreo en caso de que hubiera alguna anomalía en alguno de las descargas por parte de alguno de los tributarios y que estuviera relacionado con entornos diferentes. El cuadro 2 y la figura 4 presentan los puntos de muestreo seleccionados y su ubicación geográfica.

Cuadro 2. Puntos de muestreo utilizados para evaluar la calidad del agua

CODIGO	DESCRIPCION	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: La palabra Antes y Después hace referencia si el punto muestreado recibe descargas de aguas de ríos tributarios cercanos al punto de muestreo.

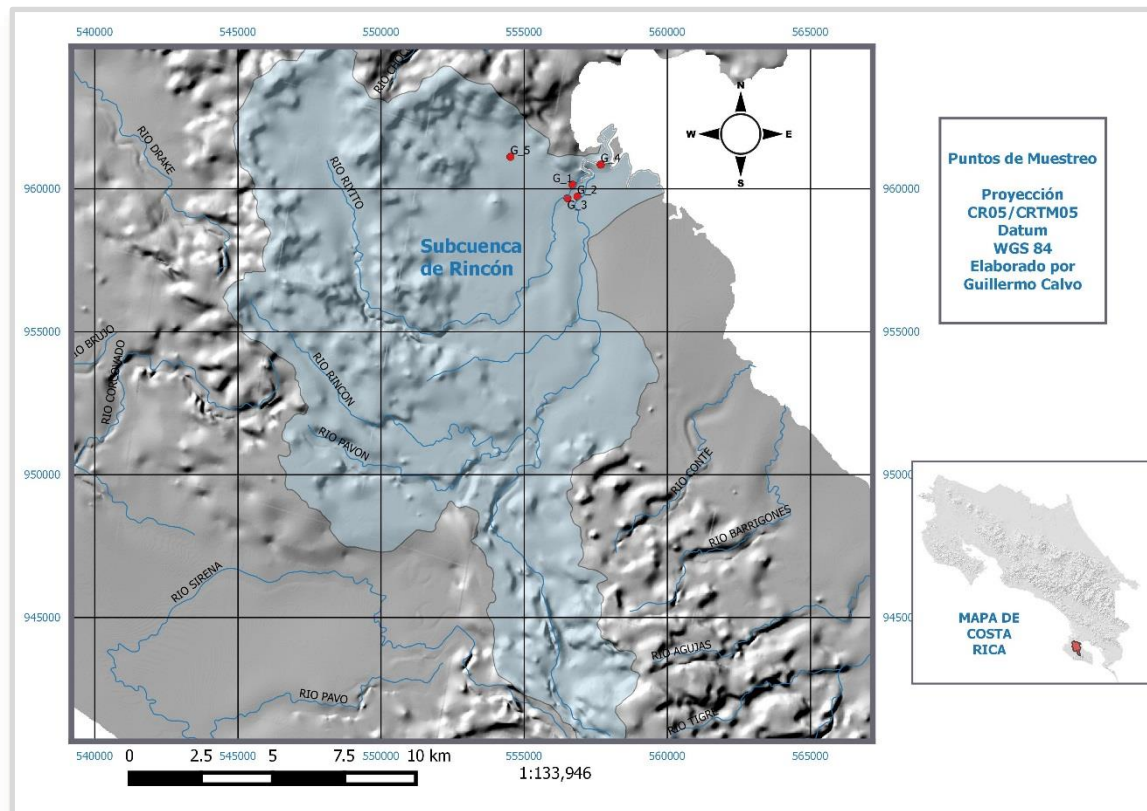


Figura 4. Localización de los puntos de muestreo en la subcuenca del río Rincón

4.2. Validación del modelo de predicción del ICA.

Es conveniente validar el modelo de predicción antes de su uso, por lo que se debe conocer la calidad de las aguas en los puntos de muestreo. El procedimiento consiste en evaluar la calidad del agua por medio del análisis de los indicadores de calidad.

Paralelamente se evaluaron las variables socio ambientales con el fin de predecir la calidad del agua por medio del modelo.

Finalmente se compararon ambos resultados los cuales deben estar dentro del rango de variabilidad del modelo (Calvo, 2013).

El ICA que se empleó fue el ICA-4b-Gmo cuya forma de cálculo se detalla en la tesis doctoral del investigador Guillermo Calvo (2013). Se efectuaron muestreos bimensualmente por un período de 12 meses y los indicadores evaluados para el cálculo del ICA fueron:

- ✓ 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 el “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 de muestreo está descrito en el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 2005). El análisis lo efectuó el CEQIATEC que es un laboratorio acreditado en la norma ISO 17025.

Las fechas de los muestreos fueron en los meses de Mayo, Julio, Setiembre y Noviembre del año 2014, así como el mes de Enero del 2015.

4.3. Cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA).

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

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

donde:

SI_i es el subíndice de cada indicador

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

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

4.4. Variables Poblacionales y del Entorno

El modelo requiere el uso de variables poblacionales y el 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 efectuando un muestreo a nivel de campo, ya que el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) no tiene datos sobre esta variable en los puntos de interés. Se valoraron aquellos pueblos cercanos a los puntos de muestreo y que se intuye tienen una influencia en la calidad del agua.

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

El análisis de uso-cobertura se efectuó por medio del uso de imágenes satelitales y con el apoyo del software Quantum GIS versión 12.2.0, ArcGIS Info versión 10.0, el ArcGIS Spatial Analyst versión 10.0 y el Erdas Imaging Professional 2011. Las imágenes satelitales se adquirieron del sitio USGS y corresponden al satélite Landsat 8, cuya resolución es de 15x15 m.

La clasificación digital automatizada de las distintas categorías se hizo a través de la fase de entrenamiento, la fase de asignación y la fase de verificación de resultados. En la fase de asignación se utilizó el método supervisado para la

asignación de las categorías (Palma, 2009). Esta etapa se lleva a cabo por medio del conocimiento previo del área en particular y su localización a través de coordenadas establecidas con el apoyo de un GPS.

El nivel de detalle deseado no se logró obtener con las imágenes del Landsat 8 descargadas del sitio USGS. Sin embargo, se logró obtener unas imágenes sobre uno del suelo en mayor detalle elaborado por Broadbent (2015).

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

La textura del suelo se analizó para determinar su composición porcentual en contenido de arena, limo y arcilla. La textura del suelo es la relación porcentual de las partículas minerales menores en tamaño a 2 mm. La metodología que se empleó es el método de Bouyoucos que consiste en un proceso de medición basado en la velocidad de sedimentación diferenciado de la arena, el limo y la arcilla, medido a diferentes tiempos de sedimentación utilizando un densímetro ASTM 152H (g/l) (Chavarría, 2010). El procedimiento seguido es el descrito en el Manual de Laboratorio de Edafología, usado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica (Chavarría, 2010).

El número de muestras que se recolectaron fue determinado por el investigador Adrián Chararría con visitas de campo para establecer diferencias-similitudes geomorfológicas en la zona de estudio.

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

El orden de las corrientes se determinó siguiendo el procedimiento indicado en el libro 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 tributarias indicadas en mapas con una escala de 1:50000.

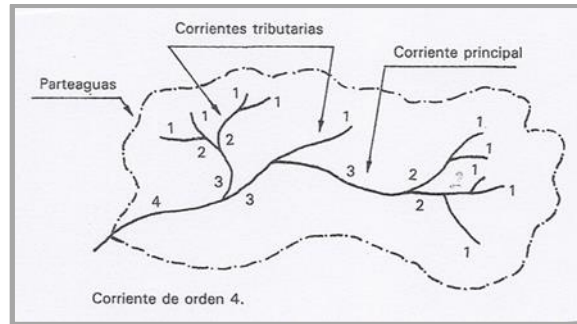


Figura 5. Ejemplo de una corriente de orden 4.

Fuente: Aparicio, 2009.

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). 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 pues se relaciona con el nivel de respuesta de la cuenca a tormentas pluviales (Aparicio, 2009). Existen varios métodos para su cálculo entre los cuales se seleccionó el de la pendiente media, cuyo cálculo es determinando el desnivel entre los extremos de la corriente dividida entre la longitud medida en planta (Aparicio, 2009)

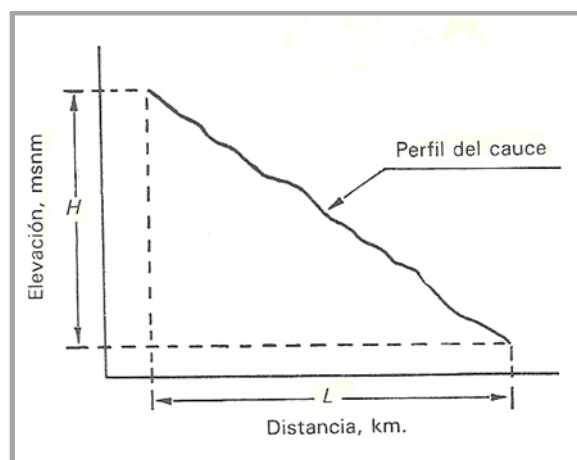


Figura 6. Método de cálculo para la determinación de la pendiente.

Se calcularon las pendientes de todo el cauce, tanto en forma longitudinal como transversal, el izquierdo, el derecho y el valor medio transversal. El programa Google Earth posee una función que permite determinar la pendiente promedio en forma precisa.

4.5. Establecimiento 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 únicamente variables socio ambientales. Está basado en un modelo de regresión multivariable; algunas de esas variables son fijas, como lo es la textura del suelo, y otras son modificables, como lo es 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 socio-ambientales.

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. Interesan aquellas condiciones en que el ICA obtenga valores superiores al 80% que lo hacen al río apto para su uso como clase 2 (Calvo, 2013).

En el programa de Excel, una de las celdas se destina para aplicar la fórmula de cálculo del modelo el cual se va a crear empleando distintas funciones matemáticas, propias del programa de cálculo de Excel y corresponderá a la variable respuesta o ICA predicho. Por otra parte, otras celdas van a tener como propósito almacenar valores ingresados manualmente, que representan las distintas variables predictoras o socio-ambientales, cuyos datos han sido generados a través de la ejecución del objetivo 2. Conforme se van ingresando las distintas variables predictoras en la celda que corresponda, automáticamente se va calculando y reportando el ICA predicho.

Algunas de estas variables socio-ambientales son fijas, como lo es la textura del suelo y por lo tanto, no se pueden modificar. Otras sí pueden ser modificadas, como lo es el uso del suelo. Cada uso de la tierra, está expresado como un porcentaje del total del área total del estudio, tal como su uso en bosque o como pasto.

Con la hoja de cálculo creada, fue posible evaluar distintos escenarios para valorar el impacto que tienen sobre la calidad de las aguas para su uso como clase 2. Finalmente, se pudo conocer si para la zona o zonas de estudio, las condiciones actuales son suficientes para lograr una calidad de agua clase 2, o sería necesario incrementar la compra de nuevos terrenos. Se estaría específicamente el tamaño total de nuevas tierras que se deban adquirir, si fuera el caso, así como el uso específico del mismo.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

El Cuadro 3 muestra la calidad del agua en cada punto de muestreo y por fecha de la gira. Se observa que en la mayoría de los casos, la calidad del agua fue superior al 90% correspondiente a Clase 1. En algunos casos, el ICA fue inferior a la Clase 2, la cual se cataloga en un rango de 80-90%.

El cuadro 3 que contiene información más detallada de estos resultados, revela que dicha reducción en la calidad del agua está 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 usualmente se relaciona con el uso de fertilizantes, solamente ocurrió en un evento. En el resto de los casos de menor calidad del agua, esta estuvo asociada a PSOs 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. Este último es atribuible a la densidad poblacional de animales que habitan en la zona ya que la densidad humana es prácticamente de 0.

Cuadro 3. ICA de cada punto muestreado, según 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

Cuadro 4. Contenido de cada indicador y su respectivo SI, por punto de muestreo y gira.

	Gira 1								SI							
	P-PO4	N-NH4	TURB	NO3	ALCAL	PSO	DBO	CF	P-PO4	N-NH4	TURB	NO3	ALCAL	PSO	DBO	CF
G-1	0.0310	0.544	4.920	1.35	91.52	96.0	0.00	1100	93.0	83.2	96.3	98.3	100.0	99.3	99.7	76.2
G-2	0.0500	0.435	2.230	0.79	100.88	102.2	0.04	460	89.7	86.1	96.8	98.9	100.0	100.0	99.7	87.7
G-3	0.0326	0.581	8.310	0.44	91.52	95.1	0.22	4600	92.7	82.2	95.7	99.1	100.0	99.1	99.5	27.5
G-4	0.0700	0.496	5.150	0.38	98.80	108.0	0.24	1100	86.4	84.4	96.2	99.2	100.0	100.0	99.4	76.2
G-5	0.0520	0.339	0.000	4.51	126.88	89.6	0.30	43	89.4	88.8	97.2	93.4	100.0	98.0	99.3	95.6
	Gira 2															
	P-PO4	N-NH4	TURB	NO3	ALCAL	PSO	DBO	CF	P-PO4	N-NH4	TURB	NO3	ALCAL	PSO	DBO	CF
G-1	0.0051	0.413	2.616	0.41	83.20	90.0	1.08	1100	97.8	86.7	96.7	99.2	100.0	98.1	95.9	76.2
G-2	0.0275	0.366	1.116	0.25	85.30	93.6	0.96	43	93.7	88.0	97.0	99.3	100.0	98.9	96.6	95.6
G-3	0.0139	0.408	1.615	0.25	83.20	85.0	1.67	460	96.2	86.8	96.9	99.3	100.0	96.7	91.9	87.7
G-4	0.0281	0.444	2.769	9.60	83.20	87.7	0.80	4600	93.5	85.8	96.7	78.1	100.0	97.5	97.4	27.5
G-5	0.0113	0.322	0.000	0.91	115.44	110.0	1.01	93	96.6	89.3	97.2	98.8	100.0	90.0	96.3	94.6
	Gira 3															
	P-PO4	N-NH4	TURB	NO3	ALCAL	PSO	DBO	CF	P-PO4	N-NH4	TURB	NO3	ALCAL	PSO	DBO	CF
G-1	0.0310	0.570	20.300	0.87	90.50	123.0	0.37	460	93.0	82.5	93.5	98.8	100.0	73.0	99.1	87.7
G-2	0.0740	0.638	28.900	1.03	107.10	92.8	0.29	93	85.8	80.8	91.9	98.7	100.0	98.7	99.3	94.6
G-3	0.0310	0.590	24.900	0.97	100.90	118.0	0.20	460	93.0	82.0	92.6	98.7	100.0	82.0	99.5	87.7
G-4	0.0405	0.532	24.300	0.93	96.70	87.0	0.09	4600	91.4	83.5	92.7	98.7	100.0	97.3	99.7	27.5
G-5	0.0290	0.432	4.100	1.27	132.10	90.3	0.31	460	93.4	86.2	96.4	98.4	100.0	98.2	99.3	87.7
	Gira 4															
	P-PO4	N-NH4	TURB	NO3	ALCAL	PSO	DBO	CF	P-PO4	N-NH4	TURB	NO3	ALCAL	PSO	DBO	CF
G-1	0.0416	0.700	10.690	0.43	96.72	87.5	0.93	43	91.2	79.2	95.2	99.2	100.0	97.5	96.7	95.6
G-2	0.0733	0.394	1.770	0.26	107.12	94.5	0.6	43	85.9	87.2	96.9	99.3	100.0	99.0	98.3	95.6
G-3	0.0571	0.521	10.580	0.46	107.12	140.0	1.02	9	88.5	83.8	95.2	99.1	100.0	10.0	96.2	96.2
G-4	0.0808	0.519	8.040	0.46	107.12	115.0	0.66	23	84.8	83.8	95.7	99.1	100.0	85.0	98.1	96.0
G-5	0.0567	0.292	0.000	0.36	135.20	119.0	0.96	43	88.6	90.1	97.2	99.2	100.0	81.0	96.6	95.6
	Gira 5															
	P-PO4	N-NH4	TURB	NO3	ALCAL	PSO	DBO	CF	P-PO4	N-NH4	TURB	NO3	ALCAL	PSO	DBO	CF
G-1	0.0263	0.512	2.810	0.34	97.10	89.3	0.9	43	93.9	84.0	96.7	99.2	100.0	98.0	96.9	95.6
G-2	0.0335	0.353	0.000	0.33	107.50	111.8	1.12	93	92.6	88.4	97.2	99.2	100.0	100.6	95.6	94.6
G-3	0.0191	0.422	3.000	0.36	107.50	102.0	0.99	460	95.2	86.4	96.6	99.2	100.0	100.0	96.4	87.7
G-4	0.0478	0.446	5.960	20.00	107.50	90.5	1.23	23	90.1	85.8	96.1	19.4	100.0	98.2	95.0	96.0
G-5	0.0202	0.294	0.000	0.37	135.20	96.0	0.59	43	95.0	90.0	97.2	99.2	100.0	99.3	98.3	95.6

Estos eventos están relacionados con los incrementos en las lluvias durante los últimos meses del año en la zona de Osa que causan el aumento en los caudales de los ríos y por ende, una sobresaturación del oxígeno disuelto en el agua. También las fuertes lluvias aumentan la escorrentía que arrastran la materia orgánica hacia el río y como consecuencia, el aumento en CF.

En aquellos casos en que la calidad del agua fue inferior al de clase 2 en el punto de mayor interés, que es el G_4 (Rincón-Después), parece no estar asociado a la calidad aguas arriba pues los otros tributarios evaluados en los restantes puntos de muestreo, presentan una buena calidad. Esto hace sospechar que la caída en la calidad fue más bien un evento muy puntual. Por tanto, es válido trabajar con el valor promedio del ICA de 85.4% que se muestra en el cuadro 3.

La figura 7 muestra los distintos usos del suelo en la subcuenca. Se puede observar que los usos agrícolas y ganaderos, se ubican principalmente en la zona costera, fuera de la RFGD (Figura 9).

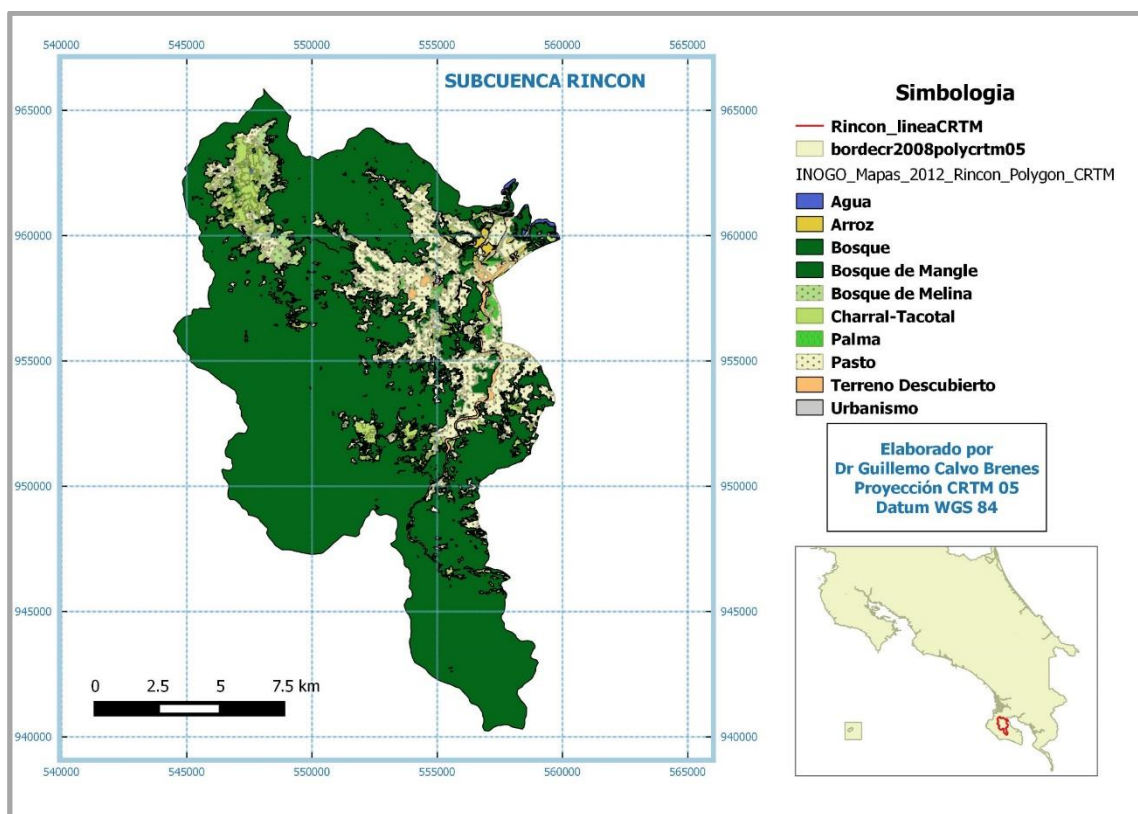


Figura 7. Distribución de la cobertura-uso del suelo en la Subcuenca del río Rincón

El cuadro 5 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 este aumente a lo largo de los años.

Cuadro 5. Distribución de la cobertura-uso del suelo en la Subcuenca del río Rincón.

Uso	Area (Ha)	%
Bosque	16706.5	78.2
Pasto	2901.0	13.6
Charral-Tacotal	1187.5	5.6
Terreno descubierto	326.1	1.5
Palma	131.0	0.6
Arroz	104.9	0.5
Urbanismo	3.1	0.0
TOTAL	21360.0	100.0

La Figura 8 presenta en forma visual las diferencias que existen entre los distintos usos en el área de estudio.

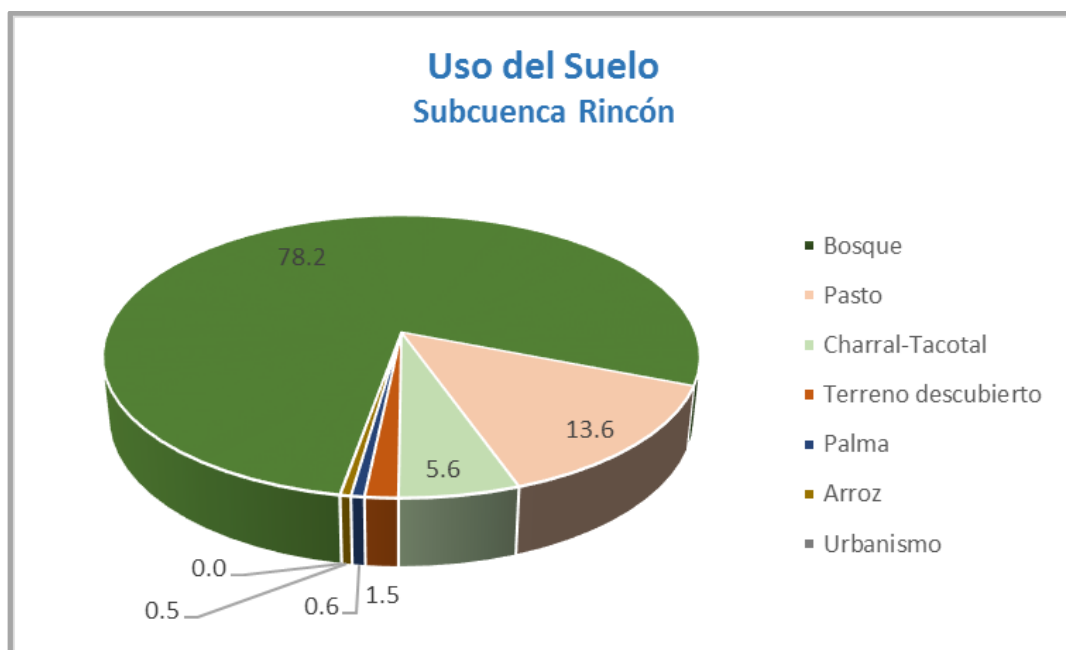


Figura 8. Distribución de la cobertura-uso del suelo en la Subcuenca del río Rincón

El cuadro 6 muestra los resultados de la evaluación de las diferentes variables socio ambientales en la zona de estudio que se necesitan para generar el modelo de predicción de la calidad del agua.

Cuadro 6. Variables socio ambientales requeridas para la aplicación del modelo de predicción

Variables	Valor
Textura (%)	
<i>Arena</i>	8.64
<i>Limo</i>	28.97
<i>Arcilla</i>	62.39
Tipo Textura	Arcilloso
Pendiente (%)	
<i>Transversal Maxima</i>	15.07
<i>Transversal Promedio</i>	8.91
<i>Transversal Longitudinal</i>	2.5
Cobertura Riparia (m)	907
Caudal (L/s, G4)	6833
Poblacion	
<i>Densidad Poblacional (Hab/Km2)</i>	0
Urbanismo (%)	0

La figura 9 muestra que la mayoría del uso agrícola y ganadero en la subcuenca se ubica en la franja costera, fuera de la RFGD. El cuadro 6 indica que esa franja costera representa un 18,6% de toda la subcuenca. Anteriormente, se mencionó que el uso agrícola en toda la subcuenca, representa un 2,6 %; sin embargo, la zona costera es una zona que no toda está dedicada a uso agrícola pero tiene el potencial de llegar a serlo.

El uso agrícola del suelo es un uso que repercute negativamente en la calidad de los ríos, principalmente si el cultivo es de tipo percedero, como ocurre con la siembra del arroz.

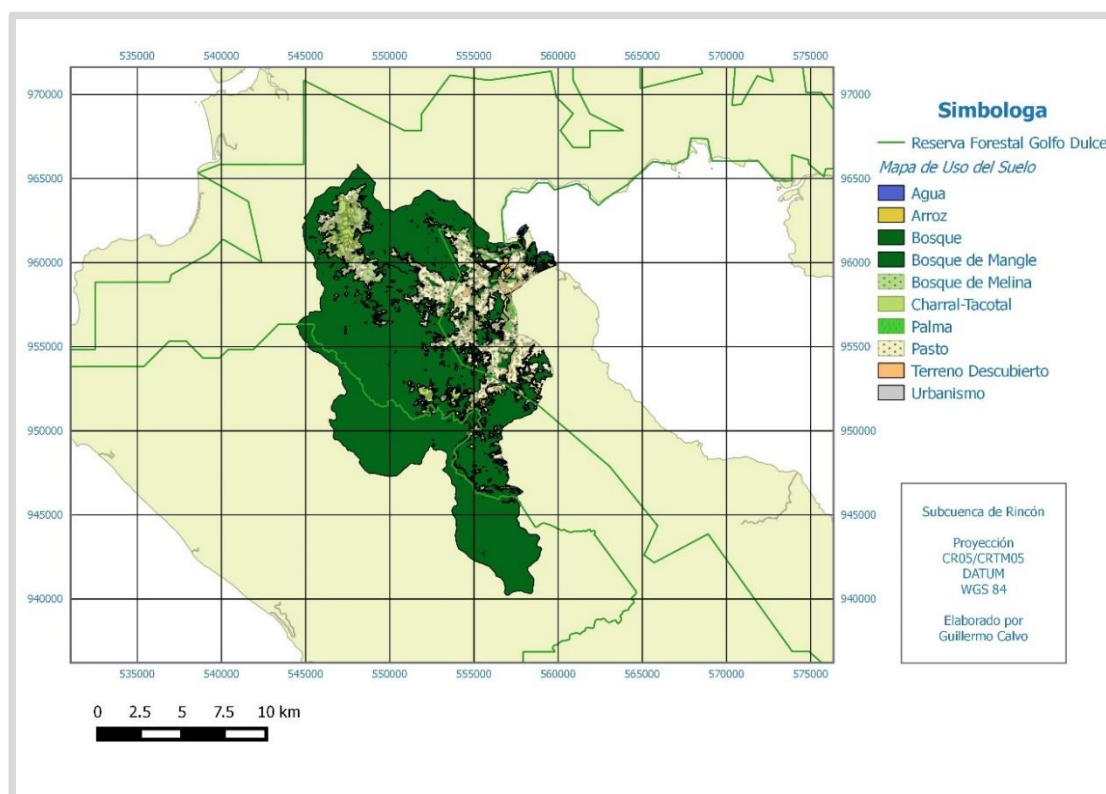


Figura 9. Usos del suelo en la subcuenca del río Rincón y su ubicación dentro de la RFGD

Cuadro 7. Distribución porcentual de las distintas franjas dentro de la subcuenca del río Rincón

Zona	Area (km ²)	Relación (%)
Subcuenca Rincón	214,0	100,0
Franja de Parque	50,8	23,7
Franja de RFGD	123,4	57,7
Franja Costero	39,8	18,6

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

El cuadro 8 muestra el efecto que causa en la calidad del agua, cambios en las distintas variables socio ambientales. Existen variables ambientales pasivas que no pueden modificarse, como es el caso de la textura del suelo. Por otra parte, las variables activas si se pueden modificar y afectan la calidad del agua, como lo es la densidad poblacional o el uso del suelo.

El cuadro 8 muestra una primera fila denominada Predicción del ICA, el cual tiene un valor de 100% utilizando dos modelos de predicción. El valor

promedio de la calidad del agua real fue de 85.4%, valor que está dentro del rango de variabilidad del modelo. La fila Ajuste del ICA muestra valores de 85,2 y 85,4%, respectivamente para los dos modelos. Este ajuste lo que busca es que el Intercepto del modelo sea tal que inicie en un valor cercano al valor real; aspecto que no afecta la relación multivariable del ICA con respecto a las variables socio ambientales. Por otra parte, se logra un mejor ajuste del modelo de predicción al efectuar este ajuste. El resto de las filas se refiere a cambios efectuados en cada variable indicada manteniendo el resto sin cambios.

Cuadro 8. Escenarios creados con la herramienta de predicción

Condicion	Indice de Calidad		
	Modelo 1	Modelo 2	Condicion
Predicción del ICA	100	100	
Ajuste del ICA	85.2	85.4	
Poblacion			
<i>+1000 personas</i>	82.6	81.8	X
<i>+5000 personas</i>	72.3	67.4	X
Charral-Tacotal			
<i>(5.6 a 25) %</i>	85.2	109.5	√
Pasto			
<i>(13.6 a 25) %</i>	91.7	85.4	√
Cultivos Permanentes			
<i>(0.6 a 25) %</i>	85.2	80.9	√ X

El cuadro 8 muestra que un incremento de la Densidad Poblacional de 0 a 1000 habitantes por kilómetro cuadrado (hab/km^2) 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. Caso diferente es el aumento en la Densidad Poblacional hasta 5000 hab/km^2 donde el ICA cae hasta un 67,4 % situando la calidad como clase 3.

La presencia de Charral-Tacotal no causa un efecto de deterioro en la calidad del agua; igual situación 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 incremento de 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 de uso del suelo para actividades agrícolas de un 0,6% (situación actual) hasta un 25% muestra un deterioro de la calidad del agua a un valor de 80,9% (modelo 2), condición cercana al límite de la Clase 2 (80%).

6. CONCLUSIONES

El análisis de la calidad del agua de dos tributarios, el río Riyito y la Quebrada Agua Buena, así como la calidad del río Rincón aguas arriba es, en general, clase 1 (No Contaminado), excepto el río Riyito aguas arriba. Esta situación de la calidad del río Riyito puede estar asociada a que este río descarga las aguas de la laguna de Chocuaco, en donde es esperable que los niveles de coliformes fecales sean altos. Sin embargo, estos cambios en calidad no repercuten en la calidad del río Rincón aguas abajo. Por lo tanto, la reducción de la calidad del agua en el río Rincón aguas abajo, asociada a presencia de coliformes y nitratos, parece estar asociado a fenómenos de escorrentía en sus alrededores que causa el arrastre de materia orgánica, así como la introducción de nitratos en el agua causado por actividades agrícolas en los alrededores.

El uso de un apropiado índice de calidad es vital en la valoración de la calidad de los ríos, tal como el usado en esta investigación. El uso del índice Holandés recomendado por nuestra legislación sería incapaz de medir el efecto de la presencia de nitratos y coliformes fecales.

La diferencia entre la calidad del agua predicha por el modelo de predicción con relación al valor determinado en campo está dentro del error propio del modelo lo cual resalta la confiabilidad del modelo aplicado a la zona de estudio. Por otra parte, se pudo observar que ajustando el valor de la constante, propia de la ecuación del modelo, permite reducir esa diferencia entre el valor real calidad del agua con relación al predicho por el modelo, mejorando de esta forma el proceso de modelación en función de los cambios ambientales que se puedan dar a futuro.

El incremento poblacional de animales que pueda darse en la zona 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 lo cual afecta el uso del agua como Clase 2 y este efecto debe ser contemplado dentro del contexto de la calidad de las aguas.

El uso de varios modelos predictivos es conveniente cuando las variables que utilizan cada uno de ellos, mantiene algunas diferencias. Es por esta razón que cambios en la calidad del agua predichos por medio del modelaje variaron entre sí, lo cual resalta las diferencias de sensibilidad entre los modelos empleados.

El incremento en Charral-Tacotal o Pasto parece no afectar calidad del agua por lo que no debe ser motivo de preocupación. El uso de pastizales acompañado con presencia de árboles es una práctica que trae beneficios ambientales, los cuales están bien documentados. Sin embargo, es conocido que el mejor uso del suelo, por los diferentes beneficios que representa para el medio, es como Bosque.

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

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

La franja costera representa un área de un 19% que actualmente tiene un uso reducido en actividades agrícolas pero que en el peor de los escenarios, puede alcanzar la cifra del 19%, valor que debe sumarse al de actividades agrícolas que se practican actualmente dentro de la RFGD. Esta condición puede llevar la

calidad del agua al límite de la Clase 2 e incluso pasar a otra clase menor de calidad del agua.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que el SINAC continúe su compra de terrenos en la RFGD en su totalidad y que el uso sea para Bosque de tal manera que contrarreste cambios que se den posteriormente en la franja costera y que afecten negativamente la calidad de las aguas.

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

Los distintos entes que operan en la zona deben promover un uso agrícola integral en la que prevalesca el uso de buenas prácticas agrícolas con el fin de minimizar impactos negativos sobre el ambiente y por ende, en la calidad de las aguas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Instituto Tecnológico de Costa Rica (**ITCR**), y en especial a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (**VIE**) por el apoyo tanto financiero como administrativo. También a la **Fundación Neotrópica** por el apoyo logístico brindado en este proyecto durante la realización de las giras para los muestreos. Además, agradecemos 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 Areas 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.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Abbasi, S.A. 2002. Water quality indices. Published by INCOH Secretariat, National Institute of Hydrology. University of Roorkee, India.
2. ABT Associattes. 1999. Programa de manejo de la Cuenca del Río Grande de Tárcoles. Estudio de Factibilidad. Volumen 4. San José, Costa Rica
3. Acuña, E. 2011. Análisis de regresión. Departamento de matemáticas. Universidad de Puerto Rico. Mayaguez, Puerto Rico.
4. Aparicio, J.F., 2009. Fundamentos de hidrología de superficie. México DF, México: Editorial LIMUSA.
5. APHA. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21st Edition, Washington, DC: American Public Health Association.
6. Astorga, Y. 2008. Situación del recurso hídrico. Informe preliminar. Decimocuarto informe Estado de la Nación en desarrollo humano sostenible. San José, Costa Rica. Recuperado en Enero del 2011, de <http://www.estadonacion.or.cr>
7. AyA. Agosto del 2003. VII Congreso Nacional de ingeniería sanitaria y ambiental. Simposio realizado en el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, San José, Costa Rica.
8. Baltodano, J. 2008. Bosque, coberturas y uso forestal. Informe final. Decimocuarto informe Estado de la Nación en desarrollo humano sostenible. Recuperado en Enero del 2011, de <http://www.estadonacion.or.cr>
- 9.. Barrantes, G. 2005. Disponibilidad del recurso hídrico. .XI Informe del Estado de la Nación. Recuperado el 11 de Noviembre del 2011 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).
10. Broadbent, E. 2015. INOGO: iniciativa Osa y Gollito. A program of the Stanford Woods Institute for the Environment. Recuperado en Agosto del 2015, de <http://inogo.stanford.edu/resources/INOGOMapas?language=en>
11. Calvo, G y Mora, 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.
12. Calvo, G. y Mora, 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.
13. Calvo, G. y Mora, 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.
14. Calvo, G. y Mora, J. 2009. Evaluación y clasificación preliminar de la calidad de agua de la cuenca del Río Tárcoles y el Reventazón. Parte IV. Análisis estadístico entre variables. *Tecnología en Marcha*, 22(1), 57-64
 15. Calvo, G. y Mora, J. 2012a. 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.
 16. Calvo, G. y Mora, J. 2012b. Contaminación fecal en varios ríos del Gran Area Metropolitana y la Península de Osa. *Tecnología en Marcha*, 25(4), 33-39.
 17. Calvo, 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).
 18. Calvo, J. 2008. Bosque, cobertura y recursos forestales 2008. Informe preliminar. Decimoquinto informe Estado de la Nación en desarrollo humano sostenible. San José, Costa Rica. Recuperado en Enero del 2011 desde <http://www.estadonacion.or.cr>
 19. Camacho, J. 2009. Antología curso: Estadística. Servicios Estadísticos Camacho & Fernández. Material suministrado en el programa Doctorado en Ciencias Naturales para el desarrollo. San José, Costa Rica.
 20. Castillo, J. 2009. Modelos de calidad del agua. Recuperado el 1 de Diciembre del 2009 desde <https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2009/2/CI51D/1/material.../261760>
 21. CEDARENA. 2007. El corredor biológico de osa: conservación y desarrollo sostenible en el corazón de la Península de Osa. Documento de divulgación. San José, Costa Rica.
 22. CEPIS. 2008. Modelos matemáticos de calidad del agua. Recuperado el 30 de Setiembre del 2008 desde <https://www.cepis.org.pe/bvsaca/e/modemate.html>
 23. Chavarría, A.E. 2010. Manual de laboratorio de edafología. Escuela de Ingeniería Agrícola. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
 24. Comité Nacional de Hidrología y Meteorología. 2002. Capital hídrico y usos del agua Costa Rica. Informe de divulgación. San José, Costa Rica.
 25. Dobles, R. 2008. Política hídrica nacional y la gestión del agua como recurso y como servicio. Documento preliminar disponible para consulta. San José, Costa Rica: MINAET.
 26. Estado de la Nación. 2003. Estado de la Nación en desarrollo sostenible. Noveno Informe 2002. Recuperado en Enero del 2011, desde <http://www.estadonacion.or.cr>
 27. Estado de la Nación. 2008. Sinopsis: Armonía con la naturaleza. Resumen estado de la Nación. San José, Costa Rica. Recuperado en Enero del 2011, de <http://www.estadonacion.or.cr>

28. Estrada, I. 2009. Crecimiento de la población humana, su distribución y demanda de recursos. Recuperado el 1 de Enero, 2011 desde <http://www.monografias.com/trabajos35/crecimiento-poblacion/crecimiento-poblacion.shtml?monosearch>
29. FAO, 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Instituto Internacional de agricultura tropical. Roma. Recuperado el 1 de Enero, 2012 desde <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lw8s.pdf>.
30. FAO, 2011. La FAO lanza campaña para prevenir las enfermedades de transmisión alimentaria. Recuperado el 11 de Noviembre, 2011 desde <http://www.alimentacion.enfasis.com/notas/12574-la-fao-lanza-campana-prevenir-las-enfermedades-trasmision-alimentaria>.
31. FAO. 2001. Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural. Boletín de tierras y aguas de la FAO. Recuperado el 15 de Junio, 2009 desde <http://uned.blackboard.com/webct/urw/lc5116001.tp0/cobaltMainFrame.dowebct>
32. FAO. 2010. Uso agrícola del agua. Recuperado el 11 de Enero, 2010 desde <http://www.fao.org/docrep/005/y3918s/y3918s03.htm>
33. FONAFIFO. 2008. Servicios Ambientales: estadísticas PSA. Recuperado el 1 de Enero, 2011 desde http://www.fonafifo.com/paginas_espanol/servicios_ambientales/sa_estadisticas.htm
34. Gerrero, M. 2011. Determinación del efecto del uso del suelo (influencia antropogénica) sobre la calidad del agua de las fuentes de abastecimiento de la población en la cuenca del río Sarapiquí. Tesis de Maestría. Programa Manejo en Recursos Naturales. UNED. Recuperado el 1 de Enero, 2012 desde <http://web.uned.ac.cr/ecologiaurbana/?p=472>
35. González, C.R. 1992. Impacto ambiental de la explotación de oro artesanal, Península de Osa. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica, San José.
36. 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. Recuperado el 1 de Enero, 2011 desde <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-costarica>
37. Manache, G. 2007. Calibration of a Continuous Simulation Fecal Coliform Model Based on Historical Data Analysis. *Journal of Environmental Engineering*, 133(7), 681-691.

38. MINAE. 2007. Reglamento para la clasificación y la evaluación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. No 33903 MINAE-S. Gaceta #178, 17 de Setiembre del 2007. San José, Costa Rica.
39. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. 2002. Densidad de población de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica. Recuperado el 1 de Enero, 2011 desde <http://www.mideplan.go.cr/Sides/ambiental/23-2.htm>
40. Morero, M.L. 2005. Pago por servicios ambientales, la experiencia de Costa Rica. Instituto Nacional de Biodiversidad, INBIO. Recuperado el 1 de Enero, 2010 desde <http://www.inbio.ac.cr/otus/pdf/informe-servicios-ambientales.pdf>
41. Novo, M y Murga, M. 2008. El desarrollo sostenible como eje fundamental de la educación ambiental. Cátedra UNESCO de Educación Ambiental y Desarrollo Sostenible. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado el 1 de Enero, 2010 desde <http://upcommons.upc.edu/revistes/handle/2099/7102>
42. Novo, M. 2006. El desarrollo sostenible: su dimensión ambiental y educativa. 2ª Madrid, España: Editorial Pearson & Prentice Hall. ISBN 9789568302672.
43. OMCO. 2010. Estadísticas de enfermedades provocadas por el agua. Consumer World Organization. Recuperado el 13 de Febrero, 2010 desde www.omco.org/agua/estadisticas_enfermedades_por_agua.htm
44. OMS, 2009. Enfermedades diarreicas, una amenaza latente. Recuperado el 13 de Febrero, 2010 desde <http://elmercuriodigital.es-elmercuriodigital.es>
45. OMS, 2011. Agua, saneamiento y salud: Manejo ambiental para el control de vectores. Recuperado el 11 de Noviembre, 2011 desde http://www.who.int/water_sanitation_health/resources/envmanagement/es/index.html
46. ONU. 1992. Agenda 21. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente y el desarrollo. Río de Janeiro, Brasil. Recuperado el 1 de Julio, 2009 desde <http://www2.medioambiente.gov.ar/acuerdos/convenciones/rio92/agenda21/ageindi.htm>
47. Palma, A. 2009. Antología curso: geodinámica. Doctorado en Ciencias Naturales para el desarrollo, 3ª promoción 2009, Universidad de Chapingo, México.
48. Parker, G.T., Droste, R.L. and Kennedy, K.J. 2008. Modeling the effect of agricultural best management practices on water quality under various climatic scenarios. *Journal of Environmental Engineering & Science*, 7(1), 9-19. Recuperado el 1 de Enero, 2010 desde <http://www.icevirtuallibrary.com/content/article/10.1139/s07-026>
49. Programa BOSCOA de la Fundación Neotrópica. 1992. Evaluación ecológica rápida Península de Osa. Informe Final. San José, Costa Rica.

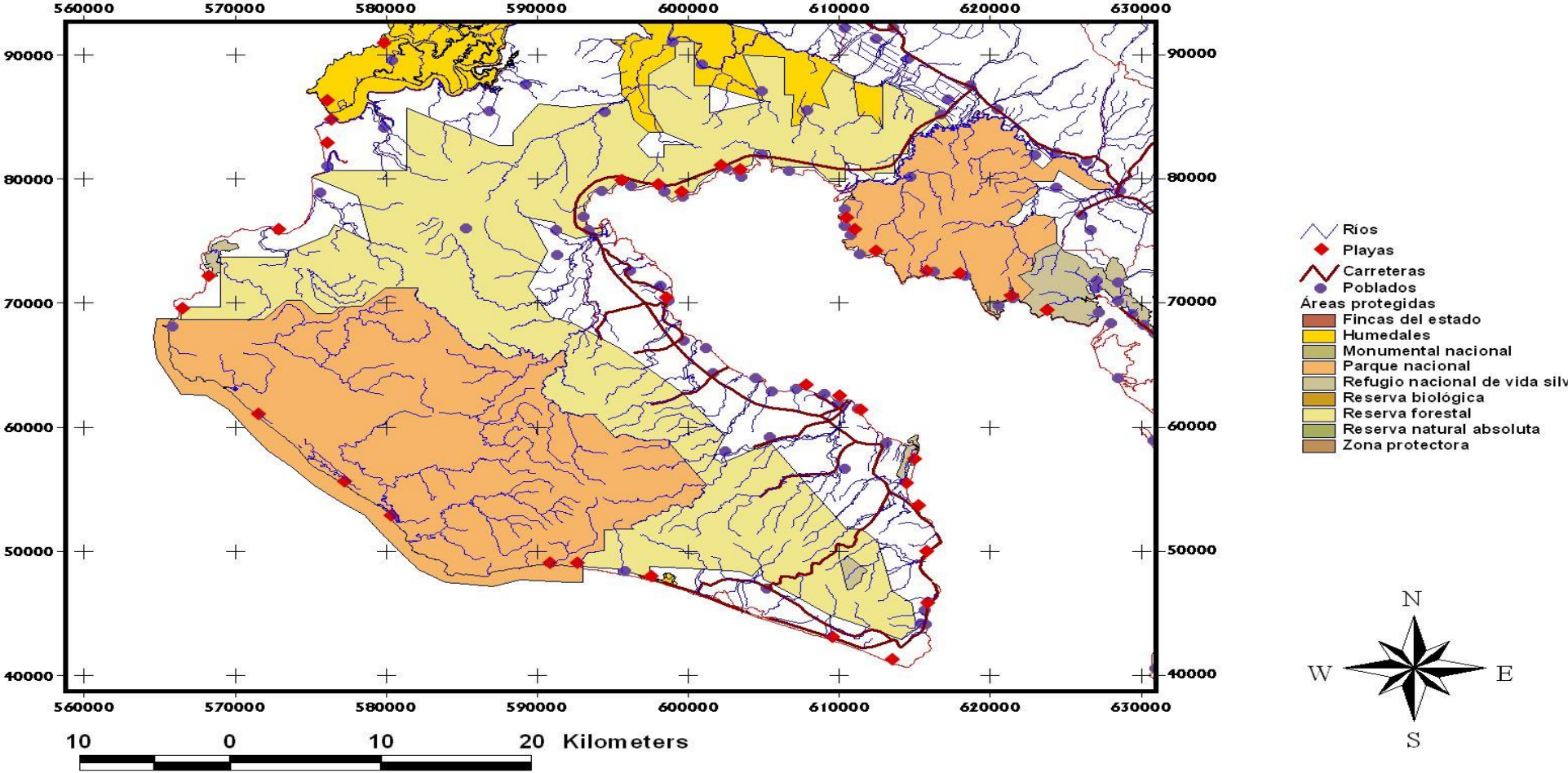
50. Pujol, R. 2008. Osa: oportunidades y desafíos. Informe final. Decimocuarto informe Estado de la Nación en desarrollo humano sostenible. ProDUS. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Recuperado el 1 de Enero, 2010 desde <http://www.estadonacion.or.cr>
51. Ríos, N., Cárdenas, A.Y., Andrade, H.J., Ibrahim, M., Jiménez, F., Sancho, F., Ramírez, E., Reyes, R. and Woo, A. 2007. Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, No 45. Recuperado el 30 de Julio, 2010 desde <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A6009E/A6009E.PDF>
52. Robledo A., J. 2005. La redistribución de la radiación solar y la lluvia dentro de plantaciones de café (*coffea arabica* L.). *Rev. Acad. Colomb.Cienc*, 29(112), 371-382.
53. Rojas, F. 2005. Principales especies forestales introducidas en Costa Rica. *Kuru-Revista Forestal*. Recuperado el 11 de Noviembre, 2011 desde http://www.tec.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista_Kuru/anteriores/anterior4/pdf/nota3.pdf
54. Roque, M. 2003. Una concepción educativa para el desarrollo de la cultura ambiental desde una perspectiva cubana. IV Congreso Iberoamericano de Educación Ambiental. Centro de información, Gestión y Educación Ambiental. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. La Habana, Cuba. Recuperado el 1 de Enero, 2010 desde <http://www.medioambiente.cu/foro/documentos/Conferencia%20Cuba.pdf>
55. Rosero, L., Maldonado, T and Bonilla, R. 2008. Bosque y población en la Península de Osa. *Revista de Biología Tropical*, 50(2): ISSN: 0034-7744. Recuperado el 1 de Enero, 2010 desde <http://ccp.ucr.ac.cr/seminario/pdf/rosero.pdf>.
56. Salazar, C. 2009. Salud de acuíferos y de población en peligro por agroquímicos. *Nuestro País*. Recuperado el 1 de Enero, 2010 desde <http://www.elpais.cr/articulos.php?id=5978>
57. Sanchez V., A. 2009. Antología curso: geodinámica y problemas ambientales. Doctorado en Ciencias Naturales para el desarrollo, 3ª promoción 2009, Universidad de Chapingo, México.
58. Swarnee, P.K. and Tyagi, A. 2007. Improved method for aggregation of water quality subindices. *Journal of environmental engineering*, 133(2), 220-225.
59. UCR .2007. Plan regulador costero de Osa. Prediagnóstico. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
60. Vargas, G.1992. Evaluación ecológica de impactos ambientales en la explotación del oro: casos del río Tigre y Agujas. Península de Osa. Informe Final, San José, Costa Rica.

ANEXO

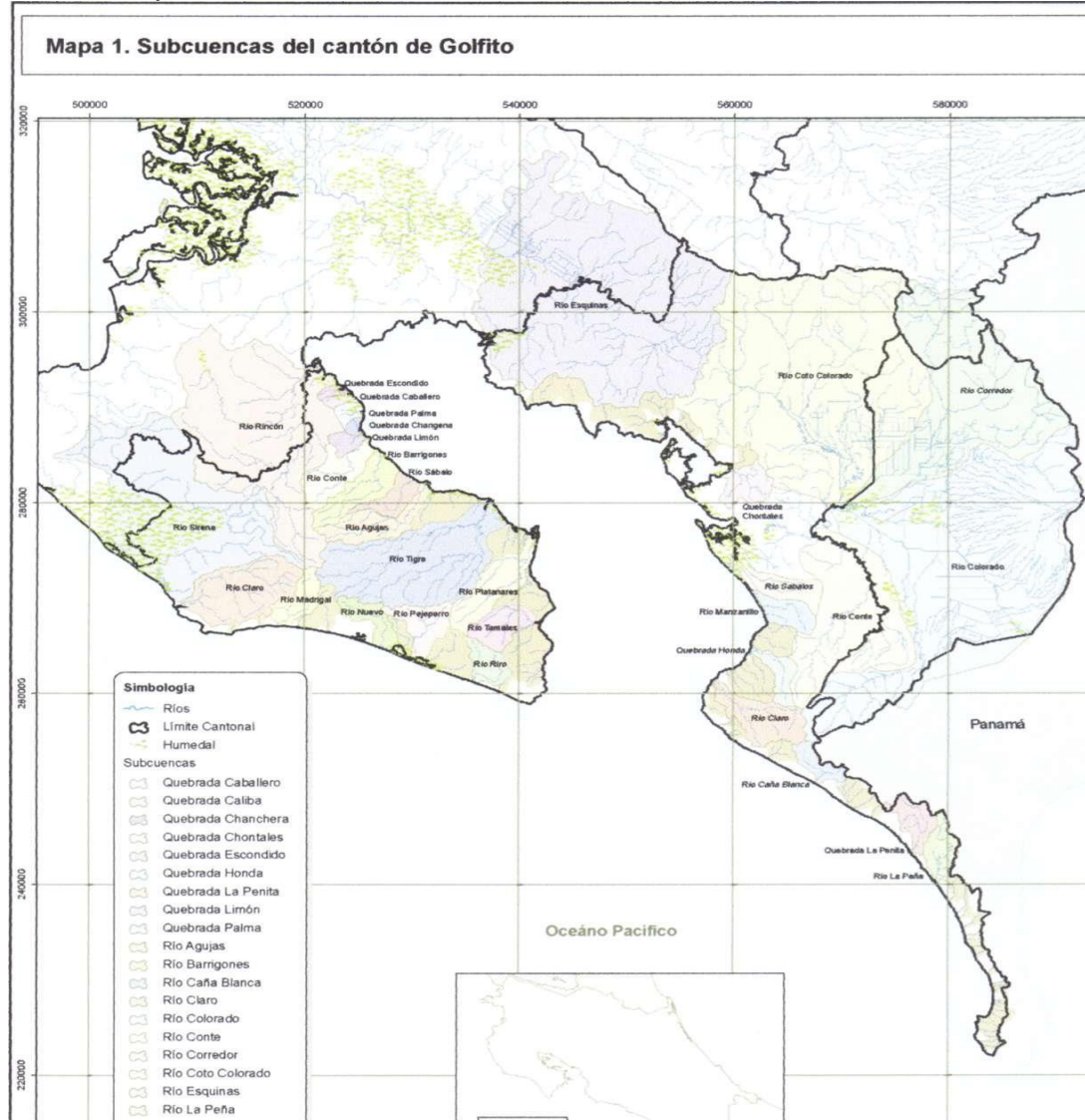
MAPAS DE LA ZONA

Anexo A. Mapa de la Península de Osa donde se indican algunos usos de la tierra.

Península de Osa



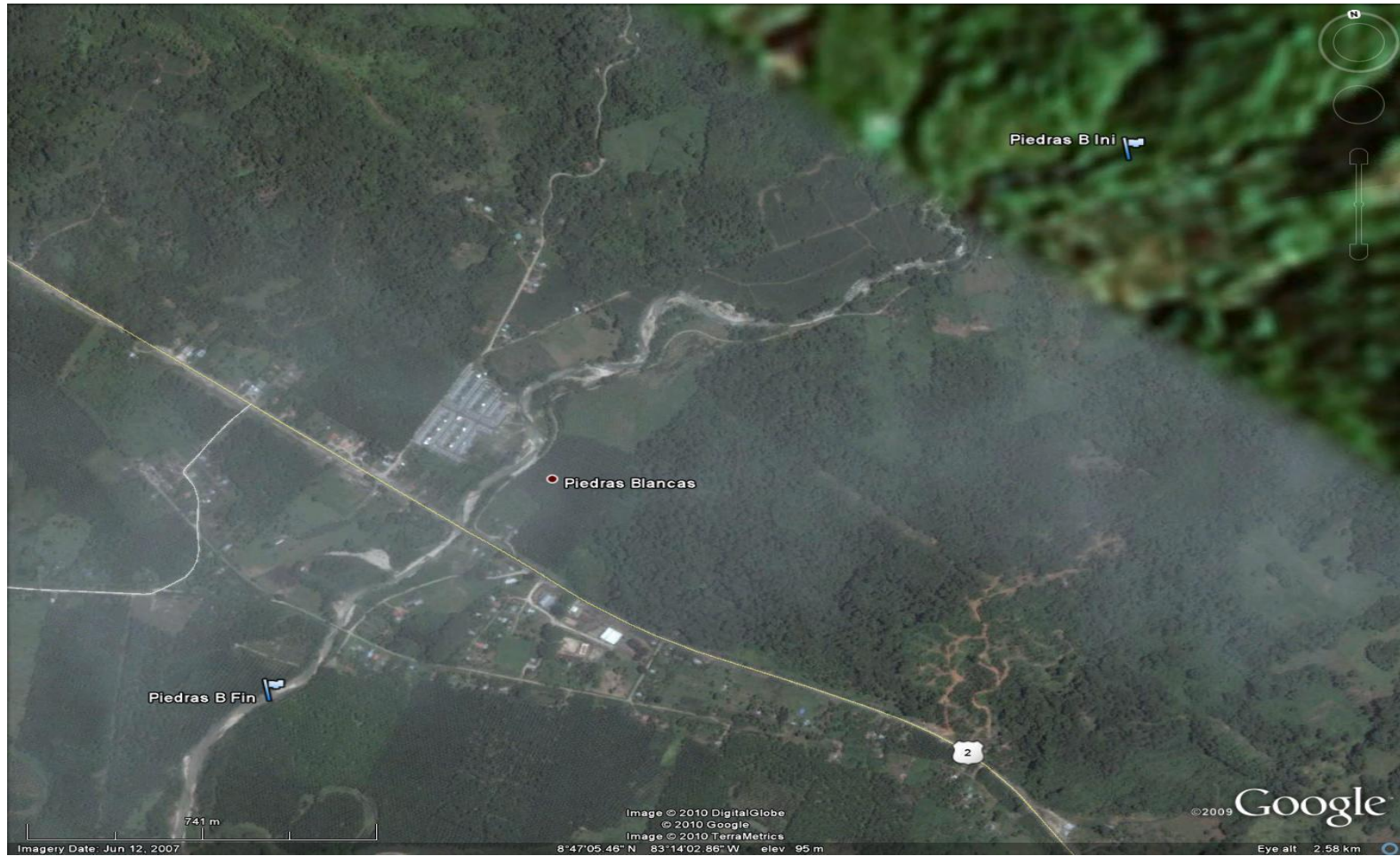
Anexo B. Mapa de la zona de Osa donde se identifican las distintas subcuencas.



Anexo C. Imagen satelital de Puerto Jiménez donde se aprecian las diferencias en cobertura boscosa. Las zonas en café corresponde aquellas dedicadas a actividades agrícolas y ganaderas.



Anexo D. Imagen satelital de Piedras Blancas donde se aprecian las diferencias en cobertura boscosa. Las zonas en verde claro cerca de la población corresponde a aquellas dedicadas a actividades agrícolas y ganaderas.



Anexo E. Imagen satelital de Bahía de Drake donde se aprecian las diferencias en cobertura boscosa. Se nota una importante pérdida de la cobertura boscosa en zonas dedicadas al desarrollo urbanístico.

