

Evaluación y clasificación de la calidad de varios cuerpos de agua en la Península de Osa

Fecha de recepción: 06/09/2010
Fecha de aceptación: 05/11/2010

Jesús Mora Molina¹
Guillermo Calvo Brenes²

Palabras clave

Índice de clasificación holandés de la calidad del agua, demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, nitrógeno amoniacal.

Resumen

El agua es un elemento esencial no solo para la preservación de la vida, sino también para la conservación de la flora y fauna de la región. Su conservación y calidad están estrechamente vinculadas prácticamente a todas las actividades económicas y sociales en forma ineludible, así como a la salud de su población. A la Península de Osa se le reconoce como la zona biológica más rica de Mesoamérica.

Alberga una diversidad del hábitat y riqueza biológica raramente encontrada en un área pequeña. Este exótico territorio no está exento de amenazas debido a la fragmentación y destrucción del hábitat, deforestación por la explotación de la madera y mal planeamiento en el uso de

la tierra, extracción ilegal de recursos, entre ellos el oro y el crecimiento de la población en sus alrededores.

El presente diagnóstico tuvo como objetivo definir la situación actual y los posibles riesgos de contaminación del recurso hídrico evaluada en varios ríos de la zona de Osa. Se muestrearon varios cuerpos de agua en la zona de Piedras Blancas que se encuentra cerca de Chacarita, así como Rincón, Puerto Jiménez y la Bahía Drake, estas últimas pertenecientes a la Península de Osa. La valoración de la calidad del agua se hizo utilizando el Índice de Clasificación Holandés.

A pesar de las características de la zona, esta ya presenta una contaminación incipiente, dependiendo del sitio y el mes del muestreo. La contaminación en los ríos depende de la densidad poblacional; sin embargo, los alcances de la contaminación en cada zona dependerán del tipo de suelo, del desarrollo urbanístico y la cobertura boscosa. Típico ejemplo de esta variabilidad son los poblados de Puerto Jiménez, el de Piedras Blancas y el de la Bahía de Drake.

1. Investigador del Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA), Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: jmora@itcr.ac.cr
2. Investigador del Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA), Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: gcalvo@itcr.ac.cr

Key words

Holland index classification method, oxygen biological demand, dissolved oxygen, oxygen saturation percentage, ammonium nitrogen.

Abstract

Water is not only essential for the preservation of life, but also for the conservation of flora and fauna of the region. Its quality and conservation is closely related to economical and social activities in an inevitable way, as well as health issues. Península de Osa is acknowledged as the richest biological zone of Mesoamerica. The diversity of its habitat and the biological richness is rarely found in such small areas.

This exotic territory, named Península de Osa, is not immune to environmental attacks due to fragmentation and destruction of the habitat, deforestation and misused of land, illegal extraction of resources, like gold; and the population increase around the Peninsula.

The actual diagnostic is focused on knowing the actual situation and possible risks of contamination of several rivers in Osa. Several rivers were sampled in Piedras Blancas, a town close to Chacarita, as well as Rincón, Puerto Jiménez and Drake Bay, the last three of them belonging to Península de Osa. The water quality was analyzed based on the Classification Holland Index.

Even though the area characteristics, there is already light contamination present, according to density population; but the effect will also depend on soil type, urban development and vegetation coverage. Typical examples of this variability are the towns of Puerto Jiménez, Piedras Blancas and Drake Bay.

Introducción

La Península de Osa es conocida como una de las zonas biológicas más ricas de

Mesoamérica y como la última frontera salvaje del país. Este remoto paraíso alberga una diversidad del hábitat y riqueza biológica raramente encontrada en un área pequeña. Aquí la jungla se junta con el mar, existen bosques tropicales lluviosos, así como manglares en las cercanías de los lagos de agua dulce.

Aproximadamente un tercio de las especies de árboles existentes en Costa Rica se ha registrado en la región, incluyendo la mitad de las especies de árboles amenazadas en el país. Se estima que existen entre 4000 y 5000 especies de plantas vasculares en la península. La variedad de fauna es increíblemente rica, se han registrado unas 375 especies de aves, 124 especies de mamíferos, 40 especies de peces de agua dulce y aproximadamente 8000 especies de insectos. Las especies registradas en la región representan entre el 30% y el 50% de todas las especies conocidas en el país.

Por sus características y aislamiento con respecto a otras áreas con bosques, estos ecosistemas tienen alta fragilidad de conservación; su flora y fauna constituyen una reserva de mucha importancia a escala mundial. Algunos expertos identifican en la península tres zonas de vida y cuatro transiciones: bosque húmedo tropical, bosque húmedo tropical transición a perhúmedo, bosque muy húmedo tropical, bosque muy húmedo tropical transición a premontano, bosque muy húmedo premontano transición a basal, bosque pluvial premontano y bosque pluvial premontano transición a basal.

Con base en los atributos ecológicos clave como objetos de conservación de la región se distinguen las siguientes categorías: Bosque basal lluvioso del pacífico, bosque nuboso, bosques anegados, manglares, ecosistemas lóticos, ecosistemas lénticos y felinos grandes.

Este exótico territorio no está exento de amenazas debido a la fragmentación y destrucción del hábitat, deforestación

por la explotación de la madera y mal planeamiento en el uso de la tierra, extracción ilegal de recursos, entre ellos el oro y el crecimiento de la población en sus alrededores. En 1975 se creó el Parque Nacional Corcovado, el más importante de Costa Rica. Este es un lugar de extraordinaria belleza y considerado como una de las más importantes reservas en América.

El parque protege a un tercio de la península; sin embargo, la explotación de recursos naturales aun dentro de este y otros parques continúa degradando el bosque. La minería de oro, el principal motor económico de la región especialmente durante la fiebre del oro en los años 30, dejó depósitos y túneles en el área, así como ríos y quebradas contaminadas. El talado de árboles tanto legal como ilegal amenaza la riqueza natural de la zona.

Entre 1940 y 1995, la península pasó de estar cubierta de bosque de un 81% a un 55%, es decir, una reducción del bosque en aproximadamente 40 000 hectáreas. En el mismo período la población pasó de 2000 habitantes a 11000. En 1984, la población más importante era Puerto Jiménez, con 1300 habitantes (2000 habitantes en 1995). El 72% de la fuerza de trabajo se ocupa de labores agrícolas.

Situación general del recurso hídrico

El agua es un elemento esencial no solo para la preservación de la vida, sino también para la conservación de la flora y fauna de la región, que representa el atractivo turístico de la zona. El uso del agua es el mejor indicador del grado de desarrollo social y económico de un país. Su conservación y calidad están estrechamente vinculadas prácticamente con todas las actividades económicas y sociales en forma ineludible, así como con la salud de la población. El agua es un recurso finito: únicamente el 2,5% del total de agua del planeta es dulce.

De ese 2,5%, el 70% es hielo, un 30% está en el subsuelo y únicamente un 1% es superficial. La cantidad total de agua fresca que existe en el mundo puede satisfacer todas las necesidades de la raza humana si esta estuviera uniformemente distribuida y fuera accesible. Pero la realidad es otra, de ahí que diferentes regiones del mundo enfrentan distintos tipos de problemas asociados con la disponibilidad del recurso, su uso y control.

La Organización Mundial de la Salud ha dicho que el 80% de las enfermedades del mundo se debe a problemas con el agua. Este recurso necesario e indispensable para sostener la vida, también es portador 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. La malaria y la fiebre amarilla son enfermedades transmitidas por vectores que se crían en el agua.

Una de las causas, según reconocen los especialistas, es la poca atención a la problemática de las aguas residuales en las zonas urbanas, donde las acequias y quebradas son utilizadas como receptores de dicha contaminación. Los expertos en la materia advierten continuamente que nuestro país estará enfrentando una emergencia hídrica en los próximos años si ahora no se toman las medidas preventivas para evitarlo. Tal pronóstico se debe, en parte, a los altos niveles de contaminación que sufren los distintos cuerpos de agua y por el uso indiscriminado que se hace del recurso hídrico sin que medie el control adecuado.

La calidad de los cuerpos de agua en la zona de Osa ha experimentado un proceso de degradación progresiva en las últimas décadas. A ello contribuyen diversos factores, como el crecimiento de la población alrededor de los ríos, la falta de tratamiento de las aguas proveniente de los sectores doméstico, industrial y agrícola, los deficientes controles de las regulaciones

ambientales en cuanto a contaminación hídrica y la escasa conciencia ambiental de la población.

El presente diagnóstico tuvo como objetivo definir la situación actual y los posibles riesgos de contaminación del recurso hídrico de la Península de Osa, tomando en consideración aquellas zonas con:

- Alta población de turistas.
- Alta densidad poblacional que reside en la región.
- Uso agrícola de la tierra de forma intensiva.
- Explotación minera en ciertos lugares de la península.

Esta información permitió relacionar el efecto de la contaminación sobre la flora y fauna que vive en los alrededores de los cuerpos de agua estudiados. Asimismo, áreas relativamente contaminadas tendrían un lugar prioritario en la implementación de tratamientos previos de los desechos líquidos antes de su descarga en los cuerpos de agua.

Metodología

Selección de los puntos de muestreo

Para cumplir con los objetivos del proyecto, se seleccionaron varios cuerpos de agua siguiendo algunos criterios técnicos. Las zonas y puntos de control se escogieron considerando la existencia de pueblos de cierta densidad poblacional que pudieran afectar la calidad de los cuerpos de agua cercanos a esas poblaciones, así como la accesibilidad, localización cercana a carreteras, tiempo total disponible en cada uno de los muestreos programados y facilidad para la toma de la muestra. La localización exacta por coordenadas fue establecida con la ayuda del instrumento de localización satelital conocido como Sistema de Posicionamiento Geográfico (GPS).

El muestreo se efectuó tanto en la época seca como en la lluviosa, de tal forma que se generó información sobre la calidad del agua durante todo un ciclo anual. El período cubierto del muestreo fue desde setiembre del 2008 hasta agosto del 2009.

En la zona de Piedras Blancas se muestrearon varios cuerpos de agua que se encuentran cerca de Chacarita, localizada en la entrada de la Península de Osa, así como Rincón, Puerto Jiménez y la Bahía Drake, estos últimos tres pertenecientes a la Península de Osa. Los puntos de muestreo seleccionados se indican en el cuadro 1.

Evaluación de la calidad del agua

Para efectos de la clasificación de los cuerpos de agua superficial, los interesados tienen a su disposición con algunos métodos para categorizarlos. Los más conocidos tienen cinco categorías. Estas categorías se pueden designar en función de los usos potenciales de las aguas, por el establecimiento de rangos para los parámetros fisicoquímicos, biológicos y microbiológicos, o por la obtención de un puntaje de acuerdo con varios parámetros analizados, como el Sistema Holandés de Codificación de colores, recientemente introducido en el país y que goza de bastante aceptación.

Para medir la calidad del agua, se utilizó el Sistema de Valoración Holandés. Por lo tanto, los parámetros que se analizaron fueron la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), el Oxígeno Disuelto (OD) y el Nitrógeno Amoniacal ($N-NH_4^+$). El OD es un parámetro que se mide en el campo, así como la temperatura del cuerpo de agua donde se tomen las muestras. Con la medición del OD se pudo calcular el Porcentaje de Saturación de Oxígeno (PSO), parámetro necesario para la clasificación de la calidad del agua. Los procedimientos de análisis que se siguieron fueron los recomendados en el *Standard Methods for the Examination of Water*

Cuadro 1. Ubicación por coordenadas geográficas de los distintos puntos muestreados.

Subcuenca	Punto de muestreo	Coordenadas geográficas	
		Latitud N	Longitud O
Río Esquinas	Río Piedras Blancas inicial	08° 47' 25.43"	83° 13' 31.28"
Río Esquinas	Río Piedras Blancas final	08° 46' 44.44"	83° 14' 35.82"
Río Drake	Río Drake inicial	08° 42' 45.51"	83° 37' 45.76"
Río Drake	Río Drake final	08° 43' 09.89"	83° 38' 44.92"
Quebrada El Carmen	Quebrada El Carmen inicial	08° 41' 02.33"	83° 39' 47.03"
Quebrada El Carmen	Quebrada El Carmen final	08° 41' 26.34"	83° 39' 44.69"
Río Rincón	Río Rincón inicial	08° 36' 55.74"	83° 29' 12.22"
Río Rincón	Río Rincón final	08° 41' 20.98"	83° 28' 33.29"
Río Tigre	Río Tigre inicial	08° 31' 23.12"	83° 24' 03.53"
Río Tigre	Río Tigre final	08° 32' 47.59"	83° 20' 03.15"
Quebrada Cacao	Quebrada Cacao inicial I	08° 31' 49.46"	83° 18' 14.65"
Quebrada Cacao	Quebrada Cacao inicial II	08° 31' 41.96"	83° 18' 02.41"
Quebrada Cacao	Quebrada Cacao final	08° 32' 09.27"	83° 18' 11.65"

and Wastewater. cuyas metodologías han sido aceptadas en el país, según decreto No. 25018-MEIC, publicado en el Diario Oficial La Gaceta No. 59 del 25 de marzo de 1996.

De acuerdo con el valor obtenido para cada parámetro, se asigna el puntaje correspondiente según lo indica el cuadro 2. Según la metodología del código holandés de colores, la calidad en términos de estas variables se pondera con una puntuación, la cual es el resultado de sumar el puntaje individual de cada parámetro evaluado, según el cuadro 2. Posteriormente, se clasificó la calidad del agua al comparar esta ponderación con la información del cuadro 3.

Determinación del caudal

En el momento de recolectar la muestra se determinó el caudal del cuerpo receptor en aquellos casos donde las condiciones

del cuerpo receptor lo permitieron. Para la determinación del caudal se utilizó un medidor de flujo de la marca *Global Water* modelo FP 101.

Determinación del área transversal del río

En el primer muestreo de cada río se midió el ancho del cauce y se dividió en tramos, midiendo la profundidad en cada uno de ellos. Esta cuidadosa medición se hizo tres veces durante el año para verificar cualquier posible cambio en el área transversal del río. Además, se seleccionó un punto de referencia fijo a un costado del efluente, como una piedra grande sobre la cual se estableció una marca con pintura aproximadamente a 20 centímetros sobre el nivel del agua, en el primer muestreo. En los posteriores, la distancia de esta marca al nivel del agua fue medida nuevamente, pues este sistema

Cuadro 2. Asignación de puntaje para PSO, DBO₅ y del N-NH₄⁺, según el sistema de clasificación holandés.

Puntos	PSO, %	DBO, mg/L	N-NH ₄ ⁺ ,mg/L
1	91 - 100	< = 3	< 0.50
2	71 - 90 111 - 120	3.1 – 6.0	0.50 – 1.0
3	51 - 70 121 - 130	6.1 – 9.0	1.1 – 2.0
4	31 - 50	9.1 – 15	2.1 – 5.0
5	< = 30 y > 130	> 15	> 5.0

Cuadro 3. Clasificación numérica de holandés de colores.

Clase	Promedio de puntos	Código de color	Interpretación de calidad
1	3	Azul	Sin contaminación
2	4 - 6	Verde	Contaminación incipiente
3	7 - 9	Amarillo	Contaminación moderada
4	10 - 12	Anaranjado	Contaminación severa
5	13 - 15	Rojo	Contaminación muy severa

representa la base del cálculo, como se explicará más adelante.

Para la determinación del área se asumió la figura geométrica de un trapecio para cada tramo (figura 1), para lo cual se aplica la siguiente fórmula:

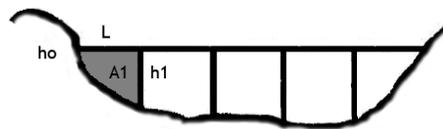


Figura 1. Medición de las profundidades en distintos puntos del efluente.

$$A_1 = \frac{h_0 + h_1}{2} \times L(1)$$

donde:

A₁ = área del tramo 1.

h₀, h₁ = profundidades en los extremos del tramo.

L = ancho de la superficie del tramo.

Si h₀ = 0, la figura es un triángulo, siendo su área:

$$A_1 = \frac{h_0}{2} \times L(2)$$

Elaboración de la hoja de cálculo en Excel

El procedimiento descrito anteriormente simplifica el proceso de medición del área, ya que en los subsecuentes muestreos solo fue necesario medir el nivel del agua con respecto a la marca de referencia y el

ángulo de medición. Para el cálculo del caudal se elaboró una hoja de cálculo en Excel, la cual se muestra a continuación.

La velocidad del cuerpo receptor se midió en tres puntos diferentes a lo ancho del río; estos datos se anotaron en la zona azul oscuro. Se asume que en los otros tramos donde no se efectuó la medición, la velocidad es la misma a una de esas tres mediciones. De ahí la importancia de seleccionar cuidadosamente el punto donde se efectúan las mediciones en cada muestreo el cual debe ser lo más homogéneo posible en su velocidad.

Multiplicando el “área” por la “velocidad”, se obtiene la columna de “caudal”. Dado que dicha columna “caudal” muestra, el cálculo de esta medición por tramo, entonces se debe sumar cada uno de ellas para conocer el caudal asociado a todo el río.

También se incluyen columnas para indicar la incertidumbre asociada al equipo de medición y hacer el cálculo correspondiente de la incertidumbre final del resultado para el uso adecuado de cifras significativas en el reporte del caudal. La forma de calcular este resultado queda a criterio del usuario.

Los datos de “profundidad” generados en valores negativos (D12-D21) son empleados para la generación de la figura 2.

Medición de otros parámetros físico-químicos

Durante todo el período de estudio en los lugares de muestreo. También, se midieron la temperatura y el pH del río, En los meses de febrero a agosto del 2009 se midieron otros parámetros físicos químicos que no forman parte del proyecto, pero que complementan la información adquirida en

Tabla 1. Hoja de cálculo desarrollada para determinar el caudal en el lugar conocido como Virilla 6.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		NIVEL			Inclinación (grados)	Largo (m)	Inc. (m)			
2		Inicial	final							
3		(m)	(m)							
4		0,20	0,21							
5	NIVEL	0,19	0,20							
6	CORREGIDO									
7	Referencia	0,01								
8										
9	Punto	Ancho	Profundidad	Inc.	Área	Velocidad	Caudal		Inc.	
10	Medición	Tramo	(m)	(m)	(m2)	(m/s)	(m3/s)	(l/s)	(m)	
11	(m)	(m)								
12	0,00		0,21	-0,21	0,005					
13	0,50	0,50	0,25	-0,25	0,005	0,115	0,183	0,021	21,08	0,0200
14	1,00	0,50	0,33	-0,325	0,005	0,144	0,183	0,026	26,35	0,0154
15	2,00	1,00	0,89	-0,89	0,005	0,608	0,183	0,111	111,38	0,0056
16	3,00	1,00	0,85	-0,85	0,005	0,870	0,117	0,102	101,50	0,0059
17	4,00	1,00	0,93	-0,93	0,005	0,890	0,117	0,104	103,83	0,0054
18	5,00	1,00	1,19	-1,19	0,005	1,060	0,117	0,124	123,67	0,0042
19	6,00	1,00	0,72	-0,715	0,005	0,953	0,160	0,152	152,40	0,0070
20	7,00	1,00	0,36	-0,36	0,005	0,538	0,160	0,086	86,00	0,0139
21	8,00	1,00	0,65	-0,645	0,005	0,503	0,160	0,080	80,40	0,0078
								PROMEDIO		0,0095
								TOTAL	806,61	12,6

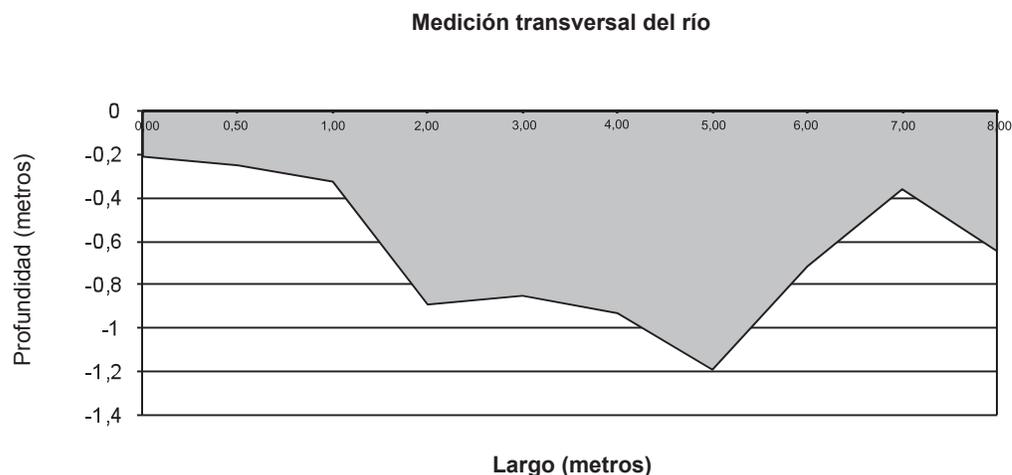


Figura 2. Representación gráfica del área transversal del efluente.

los ríos muestreados, estos son: contenido de fosfatos, de sólidos suspendidos totales y de cloruros. Su medición se hizo para conocer el comportamiento de estos parámetros en la zona de Osa y que serán mediciones que se efectuarán en otro estudio posterior, pero que resulta conveniente incluirlos en estos resultados para ampliar la información adquirida.

Determinación de la precipitación pluvial

Los datos de precipitación pluvial fueron suministrados por la organización no gubernamental Amigos de Osa. A continuación se presenta el plano donde se encuentran localizadas las cuatro estaciones meteorológicas, (figura 3). San Pedrillo, Sirena, los Patos y La Leona.

Los datos de precipitación pluvial de la estación meteorológica de San Pedrillo se utilizaron para los datos de los muestreos recolectados en la zona de Drake. La de los Patos brindó información con referencia a la información de la subcuenca del Río Rincón, la zona de Piedras Blancas, del Río Tigre y la Quebrada Cacao, en Puerto Jiménez.

Densidad poblacional

No existe información sobre densidad poblacional en la Península de Osa, excepto en Puerto Jiménez. Por tal motivo, fue necesario entrevistar a los pobladores de cada una de las zonas muestreadas en un rango de un kilómetro cuadrado para tener un dato aproximado del número de habitantes promedio por casa de habitación. El número de casas por área en cada punto se efectuó contando la totalidad de ellas.

El cálculo de la densidad poblacional no se hizo tomando la población total y el área total de la zona de interés, sino que se determinó la población existente en las cercanías de los puntos de muestreo. Dicho cálculo se efectuó de esta manera porque interesa conocer el grado de impacto de la población sobre la calidad del agua en los puntos muestreados.

Resultados y discusión

El cuadro 4 muestra los resultados obtenidos en cada uno de los puntos muestreados por 12 meses, empleando el Sistema de clasificación holandés para la clasificación de la calidad del agua. Se puede observar que predominaron los niveles de “no contaminada” y



Figura 3. Localización de las cuatro estaciones meteorológicas de la Organización de Amigos de Osa.

“contaminación incipiente”. En el caso de la Quebrada de Cacao, en Puerto Jiménez, ninguno de los meses muestreados mostró niveles de “no contaminada”; en cambio, predominan los de “contaminación incipiente” y “moderada”.

El cuadro 5 muestra que la localidad de Puerto Jiménez, al cual pertenece la Quebrada Cacao, es la más poblada de las zonas muestreadas. El punto de Quebrada Cacao Final está cerca del aeropuerto de Puerto Jiménez y su densidad poblacional en ese punto es de 3330 habitantes/km². Existe un movimiento importante de turistas al poblado, pero no fue posible determinar la proporcionalidad residente y los turistas que andan de paso.

Los niveles de contaminación de los tres puntos muestreados en Quebrada Cacao son similares uno de otro. A pesar de no haber población residente en un km² de los puntos iniciales muestreados, sus valores son similares a los de quebrada Cacao Final. Tal situación puede deberse a que el caudal en estas Quebradas es

sumamente pequeño, por lo que el efecto de los vecindarios cercanos repercute en la calidad de sus aguas. Otro factor fue que no existe mucha diferencia entre las distancias de Cacao I o II a Cacao Final, pues la distancia es de apenas 600 metros.

La zona de Piedras Blancas Final posee una densidad poblacional que es la mitad de Puerto Jiménez, por lo que podría preverse una contaminación incipiente; sin embargo, predomina la “no contaminación”. Esta diferencia puede explicarse en el hecho de que existe una escasa cobertura boscosa en un radio de 1-2 km en la zona de Puerto Jiménez, mientras que la cobertura boscosa es bastante exuberante en la zona de Piedras Blancas. En Piedras Blancas Inicial predominan los bosques naturales compuestos por árboles altos, mientras que en los alrededores de Piedras Blancas Final existe una densa siembra de palma africana. Además, en la zona de Puerto Jiménez, el río es una quebrada con un caudal muy bajo, mientras que en la

Cuadro 4. Calidad del agua según el sistema holandés, durante 12 meses.

Punto de muestreo\mes	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Prom
Río Piedras Blancas inicial	3	5	3	3	4	6	4	4	3	3	3	3	3.7
Río Piedras Blancas final	3	5	3	3	5	4	3	3	3	3	3	3	3.4
Río Drake inicial	6	7	3	4	4	3	4	3	3	3	4	4	4
Río Drake final	6		3	4	4	4	4	3	6	4	3	6	4.3
Quebrada El Carmen inicial	5		4	3	4	6	9	5	4	3	3	3	4.5
Quebrada El Carmen final	6		4	4	5	5	6	5	4	4	4	4	4.6
Río Rincón inicial	4	4	3	5	5	3	5	3	4	4	5	4	4.1
Río Rincón final	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	5	4	4
Río Tigre inicial	4	4	3	3	4	3	3	3	3	4	3	6	3.6
Río Tigre final	4	4	3	3	4	3	3	3	3	4	4	3	3.4
Quebrada Cacao I	5	6	4	5	5	6	7	7	7	5	6	5	5.7
Quebrada Cacao II				6						10	7	7	7.5
Quebrada Cacao final			5	5	6	6	7	5	7	5	5	5	5.6

Cuadro 5. Densidad poblacional en cada punto de muestreo.

Puntos de muestreo	Densidad poblacional (hab/km ²)
Río Piedras Blancas inicial	13.3
Río Piedras Blancas final	1794.0
Río Drake inicial	5.0
Río Drake final	135.0
Quebrada El Carmen inicial	5.0
Quebrada El Carmen final	207.0
Río Rincón inicial	0.0
Río Rincón final	2.0
Río Tigre inicial	4.0
Río Tigre final	0.0
Quebrada Cacao I	0.0
Quebrada Cacao II	0.0
Quebrada Cacao final	3330.0

localidad de Piedras Blancas, el caudal del río es alto.

La subcuenca del Río Tigre se caracteriza por su carácter de no contaminada durante la época seca. Sin embargo, cambia de categoría a “contaminación incipiente” durante la época lluviosa, probablemente por el arrastre de sedimentos y otros materiales orgánicos hacia los ríos, lo cual es bastante notorio después de la caída de lluvias. Este río presentó un caudal alto, especialmente durante la época lluviosa. La cantidad de sólidos suspendidos fue bastante notoria en la época de invierno. Su densidad poblacional fue prácticamente cero en los puntos muestreados, aunque existe población localizada a lo largo de su ruta, como el pueblo de Gallardo, localizado a la mitad de ambos puntos de muestreo, y la población en Dos Brazos, que se encuentra posterior al punto de muestreo inicial. La distancia entre el punto inicial y el final fue de ocho kilómetros.

El cuadro 6 muestra que la concentración del DBO, la cual se asocia con la carga orgánica que llega a los ríos, es idónea, pues predomina el color azul (no contaminación).

Igualmente ocurre con el contenido de $N-NH_4^+$ que se muestra en el cuadro 7, el cual tiene que ver con presencia de fertilizantes usados en actividades agrícolas o por la presencia de excretas provenientes de humanos y animales, excepto en setiembre y octubre, donde los cambios en la calidad del agua fueron marcados.

En las zonas de mayor densidad poblacional, como las poblaciones, en Bahía Drake, Puerto Jiménez y Piedras Blancas, donde predomina el uso del tanque séptico, los resultados encontrados en los cuadros 6 y 7 parecen indicar que las aguas residuales domésticas generadas por estas poblaciones no tienen un impacto negativo hacia el ambiente.

Los datos sobre precipitación pluvial muestran que los meses con mayores

Cuadro 6. Determinación de la calidad de agua utilizando únicamente el DBO como parámetro de cálculo.

Punto de muestreo\mes	DBO											
	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Río Piedras Blancas inicial	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
Río Piedras Blancas final	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
Río Drake inicial	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Río Drake final	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Quebrada Drake inicial	1		2	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Quebrada Drake final	1		1	1	2	1	2	1	1	1	1	1
Río Rincón inicial	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
Río Rincón final	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Río Tigre inicial	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	4
Río Tigre final	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Quebrada Cacao I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Quebrada Cacao II				2			seco			3	2	1
Quebrada Cacao final			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Cuadro 7. Determinación de la calidad de agua utilizando únicamente el $N-NH_4^+$ como parámetro de cálculo.

Punto de muestreo\mes	N-NH ₄ ⁺											
	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Río Piedras Blancas inicial	1	3	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
Río Piedras Blancas final	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Río Drake inicial	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Río Drake final	4		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Quebrada Drake inicial	3		1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Quebrada Drake final	3		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Río Rincón inicial	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Río Rincón final	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Río Tigre inicial	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Río Tigre final	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Quebrada Cacao I	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Quebrada Cacao II				1			seco			2	1	1
Quebrada Cacao final			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Cuadro 8. Determinación de la calidad de agua utilizando únicamente el PSO como parámetro de cálculo.

Punto de muestreo\mes	PSO											
	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Río Piedras Blancas inicial	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1
Río Piedras Blancas final	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
Río Drake inicial	1	2	1	2	2	1	2	1	1	1	2	2
Río Drake final	1		1	2	2	2	2	1	4	2	1	4
Quebrada Drake inicial	1		1	1	2	4	5	3	2	1	1	1
Quebrada Drake final	2		2	2	2	3	3	3	2	2	2	2
Río Rincón inicial	1	2	1	3	2	1	3	1	2	2	3	2
Río Rincón final	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	3	2
Río Tigre inicial	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
Río Tigre final	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1
Quebrada Cacao I	2	3	2	3	3	4	5	5	5	3	3	3
Quebrada Cacao II				3			seco			5	4	5
Quebrada Cacao final			3	3	4	4	5	3	5	3	3	3

precipitaciones pluviales fueron setiembre, octubre y noviembre. Octubre presentó el doble de lluvia en relación con setiembre o noviembre. Los niveles de amonio se incrementaron notoriamente en setiembre y octubre, posiblemente por un efecto de escorrentía de los suelos hacia los ríos asociados con las fuertes lluvias. En cada uno de los puntos muestreados, el efecto fue el mismo (ver cuadro 7). Sin embargo, el efecto mayor fue en la zona de Piedras Blancas y la zona de Drake. Se presume que la causa se debe a que estos lugares poseen una alta actividad agrícola y ganadera con respecto a las otras zonas.

El análisis del PSO y su relación con la calidad del agua (cuadro 8) muestran variaciones mayores, según el punto muestreado y el mes. El PSO se relaciona con el OD en los ríos, parámetro estrechamente relacionado con la sustentabilidad de la vida en ellos. Se considera que valores menores a 4 mg de oxígeno/L no permiten la vida de peces de cierto tamaño.

Como se mencionó antes, las zonas que presentaron una mayor contaminación, fueron Puerto Jiménez y la población de Bahía Drake. Puerto Jiménez tiene la densidad poblacional de todas (3330 habitantes/km²); además, es la mayor zona turística de todas las estudiadas. La población de Drake presentó una contaminación menor, pero importante. Sin embargo, su densidad poblacional es relativamente baja en cuanto a sus habitantes residentes y el turismo.

La población de Río Piedras Blancas tiene una población importante de 1794 habitantes/km², pero no mostró una contaminación importante, a pesar de su alta población. La zona de Piedras Blancas presenta una cobertura boscosa bastante alta, a pesar del desarrollo urbanístico. En cambio, Puerto Jiménez y la zona de Drake muestran una reducción en la cobertura boscosa bastante notoria, ya que se ha remplazado para el desarrollo urbanístico y actividades agrícolas y ganaderas.

Cuadro 9. Variabilidad de los niveles de caudal en los puntos muestreados.

Puntos de muestreos	Promedio	Rango
	(L/s)	(L/s)
Río Piedras Blancas inicial	1401	170-3200
Río Piedras Blancas final	1339	25-5500
Río Drake inicial	213	20-1000
Río Drake final	1182	380-2500
Quebrada Drake inicial	1	0-4
Quebrada Drake final	23	3-50
Río Rincón inicial	268	50-800
Río Rincón final	8294	2000-20000
Río Tigre inicial	60	7-210
Río Tigre final	290	0-1000
Quebrada Cacao 1	1	0-4
Quebrada Cacao 2	0	0-0.5
Quebrada Cacao final	27	4-100

Conclusiones

La Península de Osa es una zona de una riqueza particular que alberga una biodiversidad tanto en fauna como en flora extraordinaria. Ha sido objeto de esfuerzos por parte de distintas instituciones y organizaciones en darle protección. A pesar de las características de la zona, ya presenta una contaminación incipiente, dependiendo del sitio y el mes del muestreo. Particularmente de especial atención es el poblado de Puerto Jiménez, que muestra niveles de contaminación moderada, según el Índice de Clasificación Holandés.

La contaminación en los ríos depende de la densidad poblacional; sin embargo, el alcance de la contaminación en cada zona dependerá del tipo de suelo, del desarrollo urbanístico y la cobertura boscosa. Típicos ejemplos de esta variabilidad son los poblados de Puerto Jiménez, el poblado de Piedras Blancas y el pueblo en la Bahía de Drake.

El análisis por separado de los parámetros que conforman el sistema del Índice de Clasificación Holandés de la calidad del agua parece indicar que la variación en la calidad de las aguas no depende de la carga orgánica o la posible descarga de excretas humanas a los ríos. El parámetro que más influye es la variación en el oxígeno disuelto, lo cual parece depender primordialmente del caudal del río y su geomorfología.

Es importante que instituciones y organismos interesados en el tema de la conservación en la Península de Osa trabajen con la comunidad para que los niveles bajos de contaminación no se incrementen en el futuro. Esta zona ha experimentado un crecimiento económico y social, principalmente por el crecimiento turístico y por el incremento de la infraestructura en la zona.

Recomendaciones

El presente trabajo tiene la virtud de haber recopilado información valiosa sobre la calidad de las aguas en diversos ríos importantes de la zona, considerando diversos parámetros físico-químicos y microbiológicos durante todo un año con muestreos mensuales, trabajo que no había sido hecho en el pasado.

En la actualidad, la zona se está desarrollando velozmente por su gran atractivo turístico y por la inversión en infraestructura, por ejemplo, el pavimentado de las carreteras y la construcción de puentes nuevos como reemplazo a aquellos que tienen más de 40 años.

Dada la importancia que tiene la zona por su alta biodiversidad en plantas y animales, así como su valor invaluable y el legado que representa para la humanidad, es importante continuar con este tipo de monitoreos a fin de seguir valorando la calidad de las aguas. Igualmente, es importante generar nuevos proyectos que mitiguen el impacto negativo en el ambiente mediante sistemas de tratamiento de las aguas residuales domésticas, el manejo apropiado de los desechos sólidos y un proceso de concientización a la población sobre la importancia del cuidado del ambiente.

Es necesario hacer estudios sobre las prácticas agrícolas y ganaderas que se dan en la zona con la finalidad de promover prácticas sostenibles. Siendo la Península de Osa una zona de fuertes lluvias, un manejo inadecuado de la tierra genera procesos erosivos acelerados y el arrastre de sedimentos por los ríos de alto caudal.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), y en especial a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE), por el apoyo 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, agradecen al Centro de Investigación en Protección Ambiental

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

Bibliografía

- APHA. (2000). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20 edición, Digital edition.
- Autores varios. (2003). *Periódico El Financiero*. 21-27 de julio, páginas 217-281.
- Acueductos y Alcantarillados. (2003). *VII Congreso Nacional de ingeniería sanitaria y ambiental*. Patrocinado por ACREH, CII, Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. San José, Costa Rica. 27-29 agosto, 2003.
- Brenes, L.G. (1988). *Impacto ambiental de la explotación del oro en el Parque Nacional Corcovado*. Península de Osa. Tesis.
- Calvo, G y Mora, J. 2007. *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), julio-setiembre, 2007.
- CEDARENA. (2007). *El corredor biológico de Osa: Conservación y desarrollo sostenible en el corazón de la Península de Osa*. Documento.
- 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. <http://uned.blackboard.com/webct/urw/lc5116001.tp0/cobaltMainFrame.dowebsct> (15/06/2009).
- Fundación Neotrópica. (1992). *Evaluación ecológica rápida Península de Osa*. Programa BOSCOA de la Fundación Neotrópica. Informe Final, agosto 1992.
- González, C.R. (1992). *Impacto ambiental de la explotación de oro artesanal, Península de Osa*. Tesis.
- Nass, S.S. et al. (2008). *Effects of some water quality parameters on the dissolved oxygen balance of streams*. Polish Journal of Environmental Studies, 2008, Vol. 17 Issue 4, p531-538, 8p.
- Parparov, A. et ál. (2006). *Water quality quantification: basics and implementation*. Hydrobiologia. May 2006, Vol. 560 Issue 1, p227-237, 11p.
- ProDUS. (2006). *Plan regulador cantonal de Osa: Prediagnóstico*. Primer Informe de Diagnóstico. Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible de la Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Rosero, L. y otros. (2007). *Bosque y población en la Península de Osa*. <http://ccp.ucr.ac.cr/seminario/pdf/rosero.pdf>.
- OMCO. (2010). *Estadísticas de enfermedades provocadas por el agua*. Consumer World Organization. www.omco.org/agua/estadisticas_enfermedades_por_agua.htm. (13/02/10).
- Sánchez V., A. (2009). *Antología curso: geodinámica y problemas ambientales*. Doctorado en Ciencias Naturales para el desarrollo, 3ª promoción 2009, Universidad de Chapingo, México. p. 262.
- Ugalde, J. et ál. (2007). *Programa de monitoreo ecológico del estado de conservación del sitio Osa*. Documento de Trabajo. INBio.
- Vargas, G. *Evaluación ecológica de impactos ambientales en la explotación del Oro: Casos del Río Tigre y Agujas. Península de Osa*. Informe Final.
- Varios. (2007). *Corcovado and Osa Península*. <http://raindooresttours.com/coco/htm>.