

EVALUACIÓN DE LAS AGUAS DE DRENAJE DEL SECTOR DE RIEGO DE TAMARINDO Y SU INFLUENCIA SOBRE EL PARQUE NACIONAL PALO VERDE

Ana Gabriela Pérez-Castillo^{1, 2*}

1. Escuela de Química, Universidad de Costa Rica, Apdo. 214, 11501- 2060;
2. Centro de Investigación en Contaminación Ambiental, Universidad de Costa Rica

Abstract

The following physicochemical parameters were measured to determine the quality of the drainage water of Tamarindo Irrigation Sector, at the Arenal-Tempisque Irrigation District: temperature, pH, dissolved oxygen saturation percentage, electrical conductivity, chemical oxygen demand, concentration of suspended solids, nitrates and total phosphorous, as well as the concentration of zinc, fats and oils. The measurements were taken when it was estimated that drainage water had received the highest pollution loads from the surrounding paddy fields, during the second half of 2002 and the year 2003. The results were evaluated using the water quality index for the management of floodplain lakes (ICA-L).

The water from Tamarindo Irrigation Sector, which entered the Palo Verde National Park (PNPV) through La Bocana lagoon, got an average value of ICA-Lp of 70. Relevant increases in total phosphorous concentration were found. Zinc generated a punctual pollution problem in the area of irrigation when it was applied to the rice during the dry season. The Chilo Campo sampling point and the La Bocana lagoon showed a continuous contamination with fats and oils, which would prevent its use in floodplain lagoons of PNPV. Comparison between the results obtained at the sampling points of Chilo Ocampo and La Bocana showed that the buffer zone exerts a beneficial effect, particularly regarding suspended solids, nitrates and total phosphorous (rainy season of 2002), but not enough to control the influence of polluting discharges from the irrigation system.

Palabras clave: Palo Verde, Distrito Riego Arenal Tempisque, contaminación del agua, laguna de inundación, arroz.

Key words: Palo Verde, water quality, water contamination, freshwater tropical wetland, flood lagoons, rice.

I. Introducción

El Parque Nacional Palo Verde (PNPV), ubicado en el Pacífico Norte de Costa Rica, cantón de Bagaces, fue designado por su sistema de lagunas estacionales como sitio de importancia internacional, por la Convención de Humedales Ramsar en 1991 [14]. Estos humedales aportan importantes beneficios al proteger contra la erosión, mitigar las inundaciones, contribuir a la recarga de acuíferos subterráneos, generar un hábitat para el crecimiento de peces, posibilitar el desarrollo de pastoreo estacional de ganado, aportar

¹ ana.perezcastillo@ucr.ac.cr

recursos de flora y fauna silvestres, servir de hábitat a especies de aves migratorias e impulsar la recreación y el turismo.

Sin embargo, a pesar de ser un área de protección, el PNPV se ha visto afectado por los cambios que se han dado en su entorno en los últimos quince años, pues se ha alterado el régimen hidrológico y se ha favorecido la pérdida de los espejos de agua, hábitat requerido por las aves [7].

En el año 2000, se estableció entre el borde norte del PNPV y el costado este del corredor biológico La Mula, el sector de riego de Tamarindo (SRT), como parte del Distrito de Riego Arenal – Tempisque (DRAT). Esta área cultivable de 740 ha y suelos predominantemente de tipo vertisol, se dedicó prácticamente en su totalidad al cultivo del arroz, durante el período de estudio [11].

No obstante el aporte del SRT al desarrollo agrícola, se constituye en una amenaza para el PNPV, porque sus aguas de escorrentía y drenaje descargan en una zona de amortiguamiento constituida por un humedal natural cubierto de plantas semiacuáticas flotantes y de ahí, a la laguna La Bocana dentro del Parque. Desde el año 2000 hasta diciembre de 2003, se produjeron inundaciones en sectores de bosque tropical seco y la alteración de humedales que, siendo estacionales, pasaron a ser permanentes con los consecuentes daños ambientales.

En la zona del DRAT, se han evaluado las corrientes de agua dulce (ríos, quebradas o canales de drenaje), mediante el índice fisicoquímico de calidad del agua para la vida acuática (ICA-VA) [17] y varios índices biológicos [15].

Según el valor del ICA-VA, implementado por Rodríguez-Ulloa [17], la corriente del colector principal de un sector de riego cercano a la zona presentó variaciones significativas. Así, las aguas del drenaje se clasificaron desde muy buenas hasta apenas regulares, situación donde se tienen bastantes restricciones para el desarrollo de la biodiversidad.

Directamente dentro del SRT, la Quebrada La Mula y el canal de drenaje principal, expuestos a las aguas residuales del regadío, presentan un deterioro en el 78 % de los muestreos respecto a la corriente de ingreso libre de descargas contaminantes, según el índice Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica por Springer [15].

Conforme a los antecedentes, el ingreso de las aguas residuales del cultivo de arroz representa un peligro para el ecosistema del PNPV ante la posibilidad de generar problemas de sedimentación, de eutrofización antropogénica y de ingreso de contaminantes tóxicos.

Por lo anterior, la presente investigación planteó evaluar la calidad fisicoquímica de las aguas residuales en las inmediaciones del regadío de Tamarindo y su condición al ingresar al PNPV en los momentos en que se estimó recibían las mayores cargas de contaminación de los arrozales circundantes.

II. Materiales y métodos

Sitios de muestreo: Se escogieron los sitios de muestreo descritos a continuación.

Puente Las Espuelas (P-1). Coordenadas UTM, zona 16 norte, 688 298 m este; 1 144 467 m norte. Sitio estratégico en el humedal conocido como La Bocana dentro del PNPV, cubierto por una capa de lechuga de agua (*Pistia stratiotes*). Este lugar, ubicado después de la zona de amortiguamiento, recoge básicamente las aguas de la corriente reunida en el puente de Chilo Campo. El paso del agua bajo el puente tiene una sección transversal de 5,0 m de ancho y mantuvo una profundidad entre 1,3 y 1,7 m. Temperatura promedio $27,1\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Puente de Chilo Campo (P-2). Coordenadas UTM, zona 16 norte, 686 866 m este; 1 147 080 m norte. Está dentro de la zona de amortiguamiento, constituida por un humedal de alrededor de 200 ha, con una capa de agua de unos cuarenta centímetros de profundidad en la época de mayor lluvia. El lugar recibía el 95 % de las aguas de los canales de drenaje del SRT y las descargas de algún ganado vacuno y porcino. El paso del agua bajo el puente, tiene un área transversal de 5,0 m de ancho y una profundidad que varió entre 1,6 y 1,8 m. Temperatura promedio $28,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Inmediaciones SRT (P-3). Integra los resultados de los muestreos realizados en las coordenadas UTM, zona 16 norte, 685 838 m este; 1 149 728 m norte (A) y coordenadas UTM, zona 16 norte, 686 296 m este; 1 147 843 m norte (B). Sitios donde se reúnen las aguas de dos sectores del regadío que drenan a la zona de amortiguamiento y al humedal La Bocana. Temperatura promedio $28,7\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Canal de irrigación (P-4). Coordenadas UTM, zona 16 norte 687 465 m este; 1 151 126 m norte. Conduce el agua que ingresa al SRT, la cual por estar libre de la influencia del regadío, sirvió como punto de referencia de las variables. Temperatura promedio $28,1\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Estrategia de muestreo: En cada uno de los tres ciclos de cultivo de arroz, comprendidos entre julio de 2002 y diciembre de 2003, se efectuaron dos muestreos para evaluar el comportamiento espacial y temporal de la calidad de las aguas de drenaje del SRT y su área de influencia en el PNPV, mediante la aplicación del índice de calidad de agua para lagunas de inundación (ICA-L) [13]. Estos seis muestreos se complementaron con mediciones más frecuentes de variables cuyo costo era reducido, o bien, se asociaban a riesgos acentuados en un período dado del ciclo de cultivo.

La fecha específica de cada muestreo se orientó al análisis de las aguas de drenaje en los momentos en que se esperaba mayor repercusión ambiental, de conformidad con las prácticas agronómicas asociadas al cultivo del arroz en el SRT e información de la actividad imperante suministrada por la Organización para Estudios Tropicales (OET). No obstante, el

muestreo en abril del 2003 se estima quedó fuera del período de aplicación de fertilizantes o descarga de suelo desde las parcelas [12].

Toma de las muestras: Los recipientes, botellas de polietileno blancas si no se especifica lo contrario, se enjuagaron tres veces con el agua del sitio. Adicionalmente, según la variable a cuantificar, se procedió conforme a las condiciones que se especifican a continuación.

Fósforo total, botellas de vidrio color ámbar, enjuagadas con detergente sin fosfatos, HCl diluido caliente y finalmente, agua destilada. Se preservaron con 1 ml de HCl concentrado por litro.

Nitrato, se preservaron con 4 ml/l de cloroformo.

Sólidos suspendidos, botellas de polietileno transparentes.

Zinc, botellas de polietileno color ámbar, enjuagadas con HNO₃ de alta pureza. En este caso, se omitió el enjuague con el agua del sitio por muestrear.

Grasas y aceites, botellas de vidrio con boca ancha y de color ámbar. Se preservaron con 2 ml de HCl concentrado por litro. Para evitar la pérdida de la película de aceite, la botella no se llenó hasta el borde.

Demanda química de oxígeno, se les agregó H₂SO₄ calidad reactivo, hasta un pH menor de 2.

Las muestras se conservaron en hielo, protegidas por bolsas plásticas cerradas mediante un nudo, desde su recolección hasta su ingreso al laboratorio. Para disminuir su descomposición microbiológica, aparte de aplicar el preservante indicado según la variable a estudiar, se mantuvieron a 4 °C hasta el día del análisis, momento en que se llevaron a temperatura ambiente. En ningún caso las muestras se guardaron por más de 15 días.

Análisis de variables: En el sitio de muestreo, mediante equipos de campo calibrados apropiadamente, se midieron:

La *temperatura*, con un termómetro de vidrio, con resolución de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

La *conductividad*, con un medidor analógico Yellow Springs Instrument, modelo 33.

El *oxígeno disuelto*, con un oxímetro Extech Instrument, modelo 407510. En los sitios, donde la profundidad fue mayor a 1 m, las mediciones se hicieron, aproximadamente, a 30 cm bajo la superficie.

El *pH* con un pHmetro portátil BOECO, modelo PT-40 y un electrodo de vidrio BOECO, modelo BA-25.

Durante las giras, correspondientes al tercer ciclo de cultivo, la temperatura, la conductividad, el oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación se determinaron con un equipo digital YSI modelo 85.

La concentración de fósforo total, de nitrato, de sólidos suspendidos, de zinc total, de grasas y aceites, así como, la demanda química de oxígeno, se determinaron en el Laboratorio de Calidad de Aguas del Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA), según

los métodos de análisis publicados en "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" [1], validados por el CICA.

Los análisis efectuados en el laboratorio, se acompañaron con la realización de blancos de muestreo para el 50 % de las giras.

En vista de que los efectos del zinc, sobre los organismos acuáticos, dependen de la dureza del agua, esta variable se tomó de los datos registrados por el Servicio Nacional de Riego y Avenamiento (SENARA) en los sectores de riego de Tamarindo y Bagatzí, pues la dureza del agua en la zona, se debe a factores geomorfológicos y no a la presencia de fuentes puntuales de contaminación.

La concentración de grasas y aceites, se analizó únicamente en la segunda y tercera cosecha de arroz. Ello respondió a la inesperada observación de manchas de aceite en los puntos de muestreo 1 y 3A. Por limitaciones de presupuesto, la medición se realizó en dichos sitios y en el puente de Chilo Campo. Se escogieron por su mayor probabilidad de exposición al contaminante, o bien, su relación más estrecha con el PNPV.

Análisis de los resultados: Se evaluó el comportamiento de cada variable individual, por contraste de los datos obtenidos con los límites admitidos para el mantenimiento de la biodiversidad en el ecosistema y un análisis de diferencias significativas entre sitios, que se efectúa a partir de sus medias anuales, la desviación estándar de los valores medidos y el intervalo de confianza del 90 % para una distribución t-Student.

Las desviaciones estándar que registraron los promedios anuales de las diversas variables es de prever que estén influidas por las descargas puntuales de los agentes contaminantes. Por lo tanto, valores mayores del estadístico citado, marcarían diferencias entre cuerpos de agua afectados y no afectados por el área cultivada. Por ello, en la construcción de los intervalos de confianza para el análisis de diferencias significativas entre sitios (Figura 2) se decidió establecer como criterio de confianza el 90 %. De esta forma, la amplitud de los intervalos se reduce y por ende también, la posibilidad de traslapes que oculten diferencias estadísticas por influencia de agentes contaminantes.

Paralelamente, la información recopilada durante los tres ciclos de producción del arroz, se integró mediante el ICA-L y se presenta en gráficas que ilustran su variación espacial y temporal dentro del área de estudio. Las mediciones de abril de 2003 fueron excluidas del cálculo de los valores promedios del índice y su intervalo de confianza del 90 %, para centrar la evaluación espacial hacia los períodos donde se estimaron las mayores descargas y, por ende los mayores riesgos para el PNPV.

III. Resultados

Análisis fisicoquímicos: La concentración de sólidos suspendidos, de nitratos y la demanda química de oxígeno (DQO) se exponen en el Cuadro I, junto con la concentración de zinc y de grasas y aceites.

Los sólidos suspendidos en los humedales Las Espuelas y Chilo Campo (P-1 y P-2) nunca superaron el límite permitido por la Comunidad Europea en agua para piscicultura y vida acuática de 25 mg/l [2], en contraste, el SRT (P-3) presentó la mayor frecuencia de descargas de sólidos, con un máximo de 1400 mg/l (Cuadro I).

Durante octubre de 2002 en el puente Chilo Campo (P-2), se cuantificó la concentración máxima para el ion nitrato (8,3 mg NO₃/l). En las inmediaciones de SRT (P-3) no se detectaron aumentos del citado ion, a pesar de recibir las aguas de drenaje de los regadíos directamente (Cuadro I).

Cuadro I

MEDICIONES DE TEMPERATURA, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO, NITRATOS, ZINC Y GRASAS Y ACEITES OBTENIDAS EN LOS SITIOS DE MUESTREO PUENTE LAS ESPUELAS (P-1), PUENTE DE CHILO CAMPO (P-2), INMEDIACIONES SRT (P-3) Y CANAL DE IRRIGACIÓN (P-4)

Fecha	P-1	P-2	P-3	P-4	P-1	P-2	P-3	P-4
	Temperatura, ° C ¹ ± 0,1				Sólidos suspendidos, mg/L ²			
31-Jul-02	28,0	28,0	28,1	29,0	< 8	< 8	72,0 ± 5,8	18,0 ± 5,8
08-Ago-02	28,2	27,8	27,2	27,8	< 8	< 8	< 8	199,0 ± 4,2
10-Sep-02	28,2	28,0	29,5	30,0	< 8	< 8	28,0 ± 5,8	< 8
16-Oct-02	27,3	28,5	29,5	29,6	< 8	< 8	< 8	14,0 ± 5,8
27-Nov-02	26,6	28,1	28,8	29,1	< 8	< 8	20,0 ± 5,8	< 8
29-Ene-03	24,0	25,0	26,9	25,7	< 8	10,0 ± 5,8	14,0 ± 5,8	< 8
19-Mar-03	26,5	28,2	32,2	27,0	< 8	20,0 ± 5,8	< 8	< 8
23-Abr-03	27,3	29,7	27,9	27,6	< 8	< 8	< 8	< 8
29-Jul-03	27,5	28,5	29,4	28,8	< 8	< 8	< 8	< 8
19-Ago-03	27,6	28,3	28,9	28,1	< 8	< 8	1404 ± 10	< 8
10-Sep-03	26,7	29,8	31,0	27,8	< 8	< 8	52,0 ± 5,8	< 8
14-Oct-03	26,7	26,3	26,1	26,7	< 8	< 8	69,0 ± 5,8	< 8
29-Oct-03	27,5	27,7	28,2	28,4	< 8	< 8	< 8	< 8
	DQO, mg/L ²				Nitratos, mg/L			
10-Sep-02	40 ± 13	< 16	40 ± 13	< 16	< 0,40	< 0,40	0,89 ± 0,30	< 0,40
16-Oct-02	60 ± 16	< 24	< 24	< 24	< 0,61	8,29 ± 0,38	1,49 ± 0,42	1,31 ± 0,42
30-Ene-03	54 ± 17	< 24	< 24	< 24	< 0,61	< 0,61	< 0,61	< 0,61
19-Mar-03	< 24	< 24	< 24	< 24	< 0,61	< 0,61	< 0,61	< 0,61
24-Abr-03	< 24	< 24	< 24	< 24	< 0,61	< 0,61	< 0,61	< 0,61
29-Jul-03			13 ± 1	< 16	< 0,61	2,45 ± 0,45	< 0,61	2,93 ± 0,45
19-Ago-03	< 24		69 ± 23	< 24				
10-Sep-03	< 24	< 24	< 24	< 24	< 0,80	< 0,80	< 0,80	< 0,80
14-Oct-03	< 16	< 16	< 16	< 16	< 0,80	< 0,80	< 0,80	< 0,80

	Zinc, $\mu\text{g/L}^2$				Grasas y Aceites, mg/L^2		
10-Sep-02	< 17	< 17	< 17	< 17	12,0 \pm 2,7		
16-Oct-02	< 38	< 38	< 38	< 38			
19-Feb-03					32,5 \pm 2,7	36,0 \pm 2,7	
19-Mar-03	< 35	88 \pm 21	100 \pm 20	< 35	16,0 \pm 2,7	13,0 \pm 2,4	< 8
24-Abr-03	< 78	< 78	< 78	< 78	28,5 \pm 2,4	33,5 \pm 2,7	26,5 \pm 2,7
29-Jul-03					29,5 \pm 2,7	29,0 \pm 2,7	27,0 \pm 2,7
10-Sep-03	< 24	< 24	< 24	< 24	< 8	40,0 \pm 2,7	46,0 \pm 2,8
14-Oct-03	< 91	< 91	< 91	< 91	< 8	< 8	< 8

1. Incertidumbre absoluta

2. Incertidumbres expandidas con un factor de cobertura de 2, para un nivel de confianza del 95%

La Figura 1, resume la variación del porcentaje de saturación del oxígeno disuelto, el pH, la conductividad y la concentración de fósforo total, en tanto que, la Figura 2 muestra la diferenciación espacial para cada variable a partir de su promedio e intervalo de confianza del 90 %.

El oxígeno disuelto a 30 cm bajo la superficie se mantuvo muy por debajo del porcentaje de saturación (Figura 1A) en las zonas de humedal (P-1 y P-2), con una diferencia significativa respecto al canal de irrigación (P-4) (Figura 2B).

El pH permaneció sobre 6,5 con excepción de la observación de mediados de marzo de 2003, cuando en el Puente Las Espuelas (P-1) se midió un valor cercano a 6,1. En general, la acidez aumentó en el trayecto desde el canal de irrigación hasta su descarga en el humedal La Bocana (Figura 1B), siendo significativamente más ácida el agua en los humedales (P-1 y P-2) que en el canal de irrigación (P-4) (Figura 2C).

La conductividad de las aguas del canal de irrigación, cuya medición no superó los 250 $\mu\text{S/cm}$, mostró valores significativamente inferiores a los de las zonas de humedal (P-1 y P-2) (Figura 2D). Las mayores variaciones de conductividad se presentaron en inmediaciones SRT (P-4), que registró un máximo de alrededor de 2000 $\mu\text{S/cm}$, en el muestreo de septiembre de 2002 (Figura 1C).

El fósforo total presentó concentraciones superiores a la línea base del canal de irrigación en al menos uno de los otros sitios evaluados, excepto en el muestreo de abril de 2003 (Figura 1D).

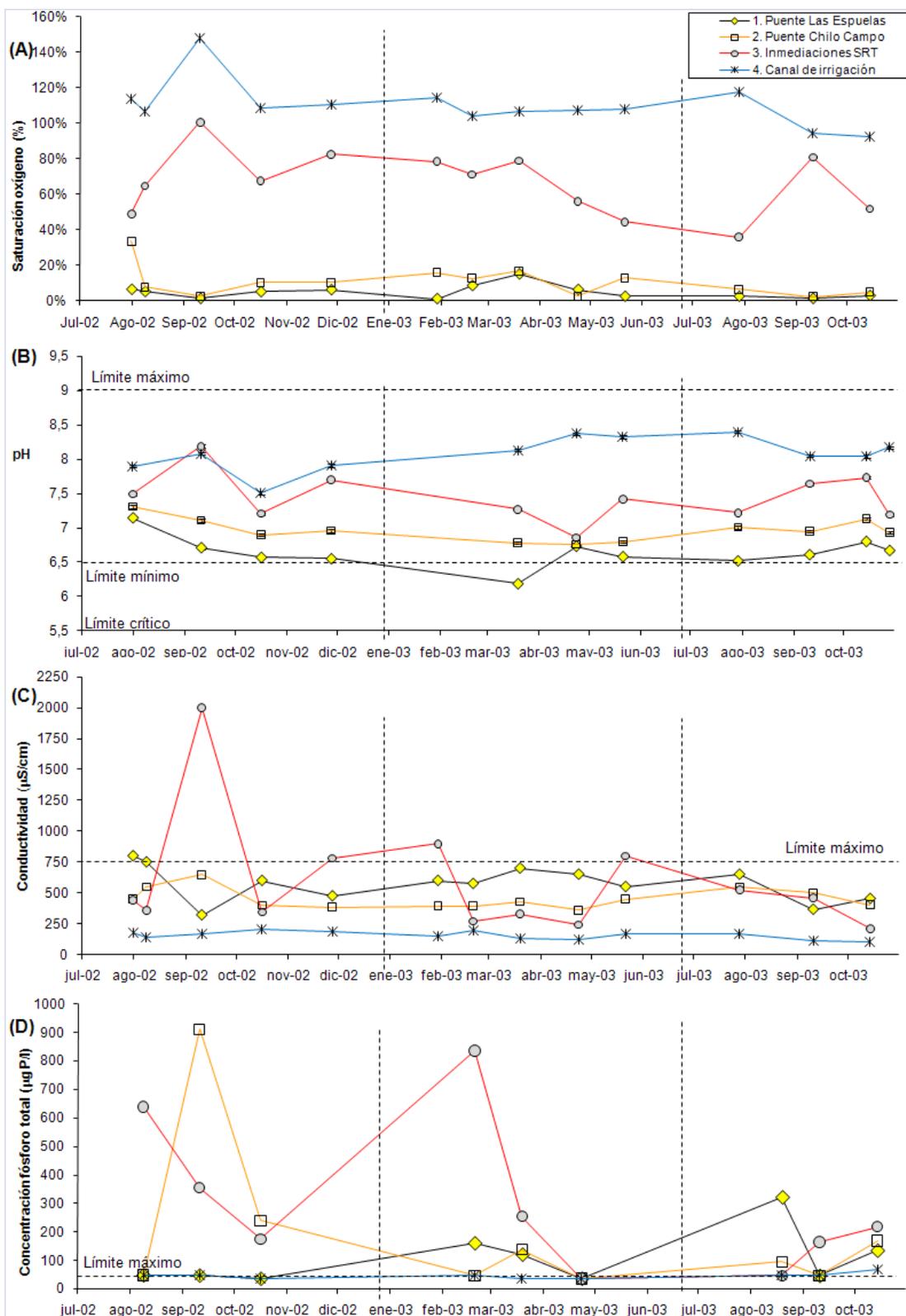


FIGURA 1. Variación temporal de las variables indicadas, en tres ciclos de cultivo de arroz, Las Espuelas (P-1), puente de Chilo Campo (P-2), inmediaciones SRT (P-3) y canal de irrigación (P-4).

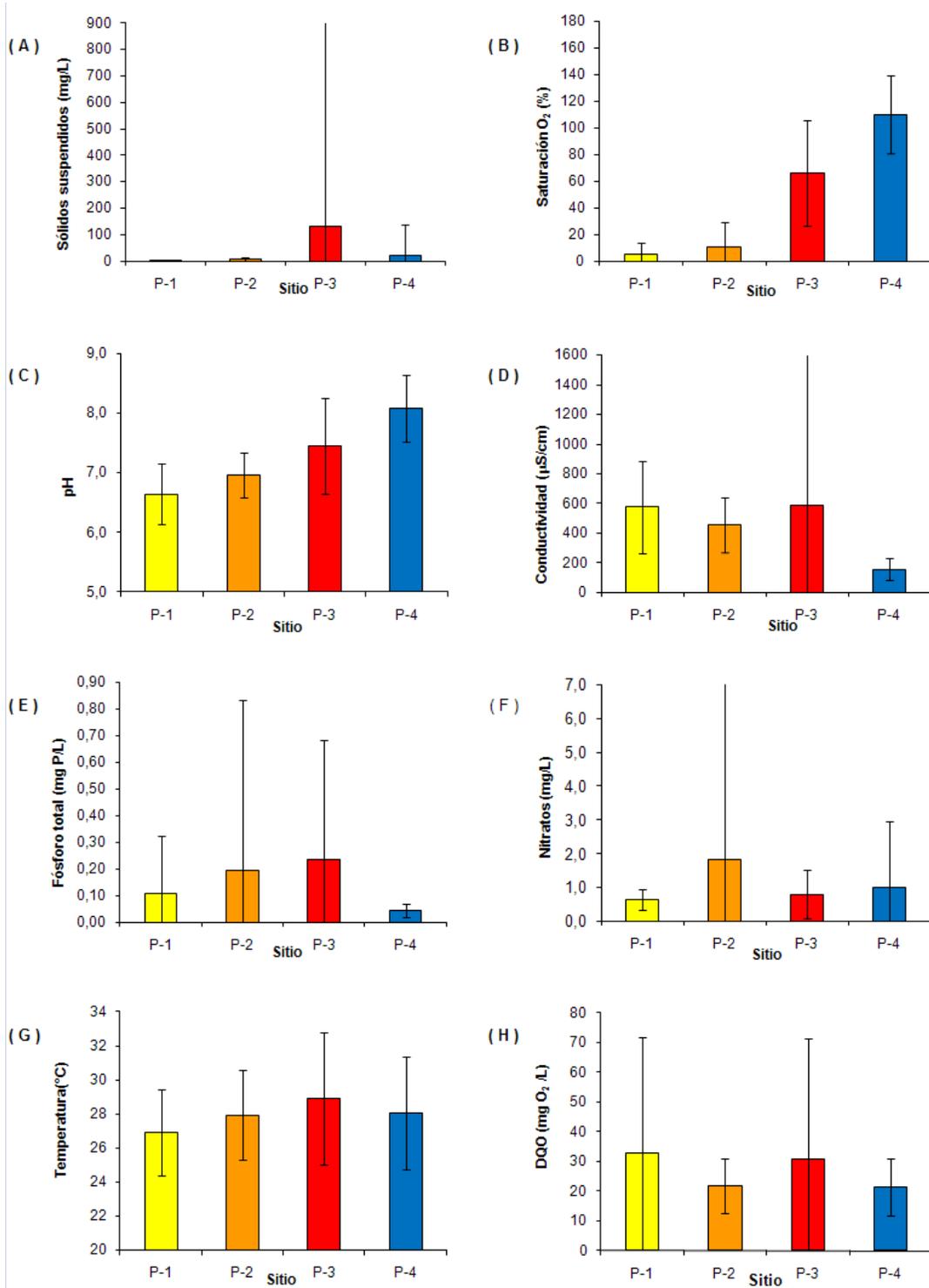


FIGURA 2. Promedio de julio de 2002 a octubre de 2003 y su intervalo de confianza del 90 %, para cada variable indicada, en los sitios puente Las Espuelas (P-1), puente de Chilo Campo (P-2), inmediaciones SRT (P-3) y canal de irrigación (P-4).

Evaluación del agua del Sector de Riego de Tamarindo mediante el ICA-L.

Etapa I: Sin considerar las sustancias tóxicas, la variación temporal de ICA-L y su variación espacial, representada por los valores promedio del índice (ICA-L_p), de setiembre de 2002 a octubre de 2003, se observan, respectivamente, en las Figuras 3 y 4.

El agua del canal de irrigación mostró las menores oscilaciones en el ICA-L, cuyos valores se mantuvieron dentro de la categoría excelente (ICA-L_p = 92). En contraste, las muestras de inmediaciones SRT (ICA-L_p = 50) sostuvieron índices iguales o menores a 55 de manera permanente, excepto para el muestreo del mes de abril de 2003 (ICA-L = 86).

La calidad de las aguas del puente de Chilo Campo correspondió a la categoría de mala en setiembre de 2002. Este sitio evidenció las variaciones más pronunciadas de calidad y en promedio se clasificó como regular (ICA-L_p = 63).

El agua del regadío de Tamarindo que ingresó al PNPV, a través de la laguna La Bocana, obtuvo un ICA-L_p = 70, límite entre las categorías regular y buena.

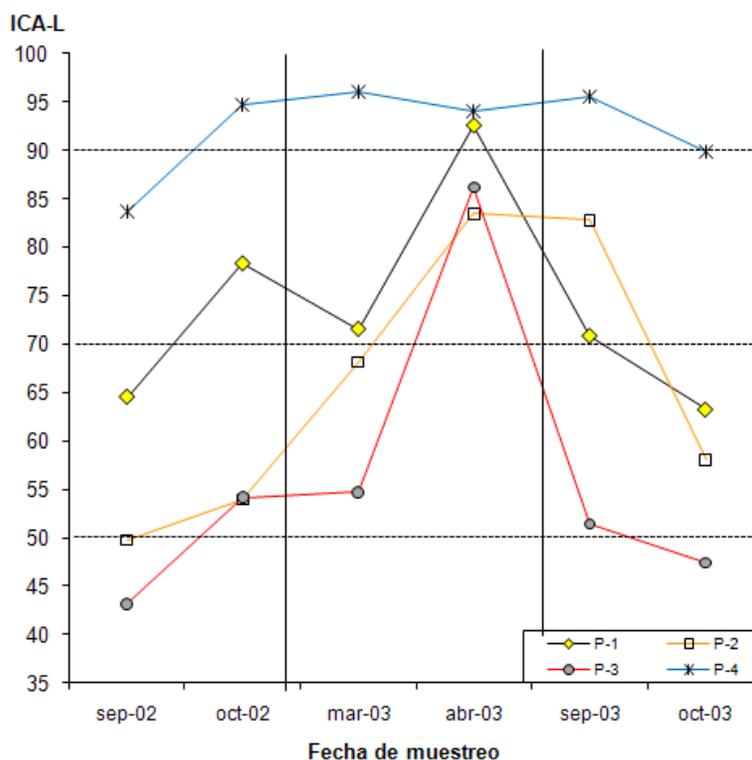


FIGURA 3. Variación temporal del índice de calidad de agua para el manejo de lagunas de inundación durante tres ciclos de muestreo en los sitios puente Las Espuelas (P-1), puente de Chilo Campo (P-2), inmediaciones SRT (P-3) y canal de irrigación (P-4).

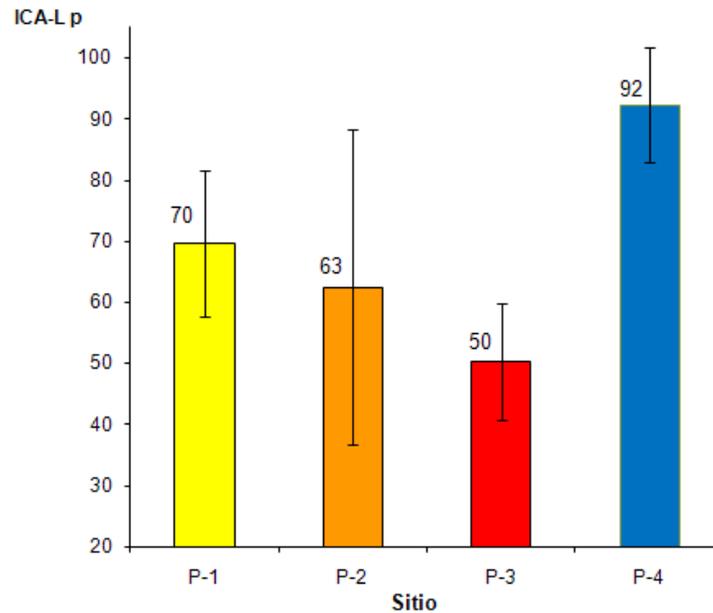


FIGURA 4. Variación espacial del índice de calidad de agua para el manejo de lagunas de inundación durante tres ciclos de cultivo en los sitios puente Las Espuelas (P-1), puente de Chilo Campo (P-2), inmediaciones SRT (P-3) y canal de irrigación (P-4).

Etapa II: El índice de calidad de agua para lagunas de inundación considerando sustancias tóxicas (ICA-L_{ST}) llega a ser cero en las inmediaciones SRT (P-3) por efecto del zinc en marzo de 2003 (Cuadro II).

Los niveles de grasas y aceites, cuyo seguimiento se limitó a la segunda y tercera cosecha de arroz, cambia la condición del agua, en los humedales (P-1 y P-2) y en las inmediaciones SRT (P-3) durante la mayor parte del período de medición, pues el ICA-L_{ST} se ajusta a cero y el agua se declara como no apta para el manejo de lagunas de inundación. (Cuadro II).

Cuadro II

Ajuste del valor del ICA-L en sitios 1, 2 y 4 por efecto de sustancias tóxicas (ST)

Mes	Sitios ICA-L (ST) = 0	Sustancia
Marzo 2003	1, 2	Grasas y aceites
	3	Grasas y aceites / Zinc
Abril 2003	1, 2, 3	Grasas y aceites
Julio 2003	1, 2, 3	Grasas y aceites
Setiembre 2003	2, 3	Grasas y aceites
Octubre 2003	Ninguno	

1. Puente Las Espuelas 2. Puente Chilo Ocampo 3. Inmediaciones SRT

IV. Discusión

Variables fisicoquímicas:

El ingreso de sólidos suspendidos en las aguas de retorno del SRT (Cuadro I), se originó principalmente, por la erosión ocasionada por las prácticas agrícolas y el acarreo de material por escorrentía. Los aumentos en la concentración de esta variable medidos en los puntos previos a Chilo Campo, en los meses de setiembre y octubre, se pueden explicar por el efecto de las lluvias, en tanto que su incremento en las inmediaciones de SRT (P-3) en julio y agosto, por el vertido de las aguas retenidas en las parcelas durante el “fangueo”, (parte del proceso de preparación del terreno para la siembra de arroz).

Los sólidos suspendidos en Las Espuelas y Chilo Campo (P-1 y P-2) no superaron el límite permitido por la Comunidad Europea [2], a pesar del arrastre del suelo, a raíz de la lluvia o las técnicas de cultivo, que originaron máximos importantes en el área de regadío. Lo anterior, confirma la efectividad de los humedales de la zona de amortiguamiento para retener los sólidos en suspensión, como consecuencia de la merma en la velocidad del flujo del agua y la presencia de la vegetación acuática y semiacuática flotante [16].

El bajo porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (Figura 1) en el seno del agua en las zonas de humedal (P-1 y P-2), es algo propio de estos ecosistemas y una situación semejante fue informada por Rizo-Patrón [15] en el puente Las Espuelas. Este hecho se debe a la capa de sedimentos, a lo lento de la corriente de agua y a la alta densidad en la vegetación flotante, aspectos que dificultan el intercambio con el oxígeno atmosférico y el desarrollo de fitoplancton. También, Lampert y Sommer [9], indican que el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto en las lagunas de inundación, disminuye marcadamente en un gradiente vertical.

Las mediciones de DQO inferiores a 24 mg/l no guardaron relación con el abatimiento del oxígeno disuelto, pues la capa de sedimento evidente en el fondo y rica en materia orgánica en descomposición, no incidió en dichos resultados al no ser incorporada en las muestras recogidas del cuerpo de agua.

El pH no generó repercusiones ambientales, pues excepto en La Bocana en el mes de marzo de 2003, se mantuvo sobre 6,5 (Figura 1B), límite apropiado para la vida acuática y la piscicultura según normas de Canadá y la Comunidad Europea [2].

Al contrastar la conductividad de las aguas del canal de irrigación con la que se registró para las aguas de drenaje, se evidenció un ingreso de sales al sistema (Figura 1C). No obstante, al comparar los datos con el límite de 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el uso del agua en la irrigación y la piscicultura [6], el perjuicio puede considerarse como moderado, pues en La Bocana (P-1) sólo el 15 % de los valores excedió dicho límite.

El máximo de conductividad en las inmediaciones SRT (P-3) podría asociarse a un ingreso de fertilizantes, dado que coincidió con el período del ciclo de cultivo del arroz en que se concentraba la aplicación de nitrógeno y potasio en la zona. Sin embargo, la descarga no afectó al PNPV, ya que en el puente Las Espuelas (P-1) la conductividad y las concentraciones de los iones analizados, habían disminuido por debajo de los parámetros establecidos.

A pesar del efecto positivo de la zona de amortiguamiento (P-2) para atenuar el enriquecimiento del agua con fósforo y nitrógeno en ciertos muestreos, la laguna La Bocana (P-1) mostró máximos en la concentración de fósforo total superiores a 50 $\mu\text{g P/l}$, límite definido por EPA [4], para aquellas aguas en el punto en que desaguan en lagos o lagunas.

Los valores superiores a 125 $\mu\text{g P/l}$ de fósforo total medidos en forma repetitiva en el puente de Chilo Campo (P-2) y de la laguna La Bocana (P-1) definieron la calidad del agua en función de la presencia de este elemento como muy mala [13]. El fósforo es un componente esencial del ciclo biológico en los cuerpos de agua y generalmente, es el agente limitante del crecimiento de las algas y plantas acuáticas en humedales de agua dulce, por lo que un aumento en su concentración sirve de indicio para reconocer un problema de eutrofización antropogénica. No obstante, en lagos de zonas tropicales donde predominan las macrófitas, la concentración de fósforo tiene limitaciones para definir su estado eutrófico, si se considera como criterio único [10].

Las condiciones de anoxia y acidez imperantes en el Puente La Bocana (P-1) podrían acentuar el efecto del ingreso del fósforo sobre la eutrofización, pues se favorece su liberación desde los sedimentos y retarda su eliminación [8].

El incremento en la concentración de fósforo total no siempre se asoció con claridad a la época prevista como la de mayor aplicación en el ciclo de cultivo del arroz. Esto se explica por la dispersión en la aplicación del paquete tecnológico por parte de los parceleros del SRT y el arrastre tardío del fósforo que se mantiene ligado a los sedimentos.

El ion nitrato no presentó una alteración significativa, pues las concentraciones medidas estuvieron dentro del ámbito recomendado para el desarrollo de la vida acuática y en particular, las descargas recibidas en el puente de Chilo Campo (P-2), no repercutieron en el humedal La Bocana (P-1). En principio, la incorporación de urea y nitratos debido a la escorrentía de fertilizantes, así como las excretas de animales domésticos alrededor del puente de Chilo Campo, aparentemente fueron neutralizadas por el ecosistema.

No obstante, no se deben pasar por alto las mediciones de nitrógeno, porque existen datos específicos superiores a 0,9 mg NO_3/l , en el humedal de amortiguamiento (P-2), valor indicado por Chapman [2] como límite a partir del cual es posible que se dé un estímulo para el crecimiento de las algas.

Evaluación del agua del Sector de Riego de Tamarindo mediante el ICA-L.

Etapa I: El comportamiento del ICA-L en el canal de irrigación fue concordante con la ausencia de descargas de aguas residuales que ocasionaran alteraciones en sus características. Se mantuvo dentro de la categoría excelente durante casi todo el período de estudio y su ICA- L_p fue significativamente diferente al de las aguas de retorno del SRT (P-3) (Figura 4).

La calidad de las aguas de inmediaciones SRT (P-3) (ICA- L_p = 50) evidenció su exposición a descargas de contaminantes del regadío. Así, su índice se mantuvo en las categorías de mala y regular en las épocas cuando se esperaban los mayores efectos del ciclo

del cultivo del arroz. Es de suponer que el área mostrara una baja biodiversidad de organismos acuáticos, como detectó Rizo-Patrón [15].

El agua con una calidad regular ($ICA-L_p = 63$) en el puente de Chilo Campo (P-2) junto con las variaciones más marcadas del ICA-L, responderían a su mayor separación con respecto al ingreso de contaminantes, lo que permite que la acción del ecosistema incida en las mediciones obtenidas.

El agua del regadío de Tamarindo que ingresó al PNPV (P-1), se ubica en el límite superior de la clasificación del agua como regular para el manejo de lagunas de inundación ($ICA-L_p = 70$) por las descargas de sales y fertilizantes que incidieron en la concentración de fósforo total, la acidez y la conductividad.

En las zonas de humedal (P-1 y P-2) el ICA-L señala signos de contaminación, como aumento en la concentración de nutrimentos, realidad concordante con el desequilibrio observado en el crecimiento de algas y vegetación acuática, que podría asociarse a una posible reducción en la biodiversidad de los organismos acuáticos [13].

La comparación entre los valores promedio de ICA-L de los humedales Chilo Campo (P-2) y La Bocana (P-1) y sus oscilaciones, puso en evidencia la importancia para el PNPV del área de amortiguamiento. Esta ejerce un efecto benéfico, particularmente respecto a los sólidos suspendidos, el fósforo total y los nitratos (por la biodegradación de las sustancias orgánicas y la asimilación de los nutrimentos), más no suficiente para controlar la totalidad de la influencia del SRT.

Etapla II: El zinc generó un problema de contaminación aislado en las inmediaciones del SRT (P-3), durante el periodo de aplicación al arroz en la época seca (Cuadro I), cuando se encontró por encima de los límites fijados para la vida acuática [5, 13]. Esta situación no se repitió en el invierno, probablemente por la dilución con las aguas de lluvia. La incidencia del zinc no llegó a comprobarse dentro del PNPV, pues en la zona de amortiguamiento las mediciones no sobrepasaron la concentración máxima aguda de Zn^{2+} de $97,1 \mu\text{g/l}$ y no se detectó en el humedal La Bocana [13].

Las grasas y aceites originaron una contaminación prolongada (concentraciones mayores a 25 mg/l) que incidió hasta la laguna La Bocana, dentro del PNPV. Una exposición crónica de 10 a $100 \mu\text{g/l}$, genera interferencia en procesos celulares y fisiológicos asociados con la alimentación y la reproducción y, concentraciones de $0,3 \text{ mg/l}$ o más de aceite crudo, causan efectos tóxicos en los peces de agua dulce [3]. Dicha situación se relacionó con la aplicación por parte de algunos productores de aceite quemado para controlar el arroz rojo. En esta práctica se cubre el terreno de aceite por unos días y luego, se elimina junto con las aguas de retorno.

La contaminación aparentemente empezó a eliminarse hacia finales del año 2003, pues la calidad llegó a ser aceptable en La Bocana en setiembre y para el conjunto de los tres puntos en octubre de ese año. No obstante, el cese de los muestreos cuando se encontraron los primeros análisis por debajo del límite de detección no permitió confirmar esta tendencia.

Las malas prácticas agrícolas, como el uso de aceites para combatir el arroz rojo y el escurrimiento de agentes perjudiciales, producto de las lluvias o el drenado del agua de

irrigación provocaron un efecto contaminante. El ingreso de sustancias puede ser en forma disuelta, como es el caso de la urea y las sales de los programas de fertilización, o por arrastre de las partículas erosionadas, como el fósforo (introducido por la aplicación de fertilizantes que contienen ortofosfatos), que se incrementa con las quemas y el fangueo.

Las aguas de drenaje del Sector de Riego de Tamarindo del DRAT, no reunían las condiciones idóneas para su desagüe en los humedales del Parque Nacional Palo Verde, en el segundo semestre del 2002 y durante el año 2003 cuando se estimó recibían las mayores cargas de contaminación de los arrozales circundantes. Las variables que afectaron en mayor grado la calidad de las aguas que ingresaron al PNPV fueron: el fósforo total, que repercute en los fenómenos de eutrofización antropogénica; las grasas y aceites por su efecto tóxico y la demanda química de oxígeno que afectó aparentemente el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto en los muestreos de setiembre de 2002 y enero de 2003. Las apreciaciones de campo sugieren que la calidad del agua vertida ha generado aparentemente repercusiones en el ecosistema.

V. Referencias

- [1] American Public Health Association, *Standard methods for the examination of water and wastewater*, EEUU. 1992.
- [2] Chapman, D. *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*, E & FN Spon: Londres, 1996, p 626.
- [3] EPA, *Quality criteria for water*, Office of Water Regulations and Standards, U.S. Environmental Protection Agency: Washington DC, 1986, EPA 440/5-86-001, p 477.
- [4] EPA, *Nutrient criteria technical guidance manual lakes and reservoirs*, Office of Water & Office of Science and Technology, U.S. Environmental Protection Agency: Washington DC, 2000, EPA-822-B00-001, p 228.
- [5] EPA, *National Recommended Water Quality Criteria*, Office of Water & Office of Science and Technology, U.S. Environmental Protection Agency: Washington DC, 2002, EPA-882-R-02-047.
- [6] Escribano, M.; De Frutos, M., En: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (Eds.), *La práctica de las estimaciones de impactos ambientales, tomo 3*, Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid, 1987, pp 443-453.
- [7] González, E., *Liana (O.E.T)*, 2002, *Spring*, 1-18.
- [8] Kadlec, R.H.; Knight, R.L., *Treatment wetlands*, CRC: Boca Ratón, Florida, 1996, p 893.

- [9] Lampert, W.; Sommer, U., *Limnoecology: The ecology of lakes and streams*, Oxford University Press: Nueva York, 1997, pp 34-44.
- [10] Parinet, B.; Lhote, A.; Legube, B. *Ecol. Model.* **2004**, *178*, 295-311.
- [11] Pérez, J., *El cultivo del arroz en Costa Rica en el Proyecto de Riego Arenal-Tempisque*, O.E.T: Costa Rica, 2002.
- [12] Pérez-Castillo, A.G., *Evaluación de la calidad de las aguas de drenaje del Sector de Riego de Tamarindo para el manejo de humedales en el Parque Nacional Palo Verde*, Tesis de maestría en Química, Universidad de Costa Rica: Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, 2004.
- [13] Pérez-Castillo, A.G.; Rodríguez, A., *Int. J. Biol. Trop.* **2008**, *56*, 1905-1918.
- [14] Ramsar, *Procedimiento de orientación para la gestión. Informe N° 39: Sitio Ramsar Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica*, Oficina de la Convención sobre los Humedales: Gland, 1998.
- [15] Rizo-Patrón, F., *Estudio de los arrozales del proyecto Tamarindo: agroquímicos y macroinvertebrados bentónicos en relación al Parque Nacional Palo Verde*. Tesis de maestría en Manejo y Conservación de Vida Silvestre, Universidad Nacional: Heredia, 2003.
- [16] Rodríguez, R.A., *Humedal: Sistema de tratamiento de aguas residuales*, Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica: Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, 1995.
- [17] Rodríguez-Ulloa, A., *Informe final: Vigilancia de la calidad de las aguas superficiales en la zona de influencia del Proyecto de Riego Arenal Tempisque*, Centro de Investigación en Contaminación Ambiental, Universidad de Costa Rica: Costa Rica, 1996, p 38.

Agradecimiento

A la Fundación Costa Rica-Estados Unidos para la cooperación, a la Organización para Estudios Tropicales (OET) y al Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA) de la Universidad de Costa Rica, por el financiamiento aportado a este proyecto. A Jenaro Acuña, por sus oportunas sugerencias y correcciones. A Eugenio González y todo el personal de la Estación Biológica Palo Verde y de la OET, particularmente a: Francisco Enríquez, Oscar Arias, Mauricio Castillo, Manuel Blázquez y Marcela Rivera. A Elizabeth Carazo y a todo el personal del CICA, en especial a Katia Villalobos, Desireé Sauma y Edipcia Roque por su apoyo en el análisis de las muestras. Y al Servicio Nacional de Riego y Avenamiento (SENARA) por su colaboración.