

# 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

Primera parte publicado en la Revista Tecnología en Marcha 20/2

Segunda parte publicado en la Revista Tecnología en Marcha 20/3

Fecha de recepción: 14/02/07

Fecha de aceptación: 08/05/07

Guillermo Calvo Brenes<sup>1</sup>

Jesús Mora Molina<sup>2</sup>

### Palabras clave

Calidad del agua, oxígeno disuelto, nitrógeno amoniacal, Sistema Holandés de Clasificación, porcentaje de saturación de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno.

### Key Words

Water quality, dissolved oxygen, ammonium nitrogen, Holland Classification System, oxygen saturation percentage, biochemical oxygen demand.

### Resumen

Dos de las principales cuencas de Costa Rica, las de los ríos Tárcoles y Reventazón, donde se asienta casi el 70% de la población, reciben las aguas residuales sin tratar provenientes de las ciudades de San José, Heredia, Alajuela y Cartago (2).

Además, este proceso de contaminación en las aguas superficiales terminará afectando paulatinamente los cuerpos subterráneos usados en el suministro de agua para consumo humano, debido a la relación intrínseca que existe entre ambos, en el futuro inmediato (1, 2, 3).

Uno de los objetivos de la investigación fue clasificar la calidad físico-química de los cuerpos de agua utilizando el Índice Holandés de Valoración, basado en la prioridad de su uso. Los muestreos se efectuaron en las cuatro zonas de control de la cuenca del río Grande de Tárcoles y del río Reventazón en los primeros seis meses del año.

Para la valoración de la calidad del agua con este sistema, se determinaron los siguientes parámetros: el porcentaje de saturación de oxígeno (PSO), la demanda

1. Profesor e investigador. Escuela de Química. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Sede Cartago. Coordinador del proyecto. Tel: 550-2738. Correo electrónico: [gcalvo@itcr.ac.cr](mailto:gcalvo@itcr.ac.cr)
2. Profesor e investigador. Escuela de Química. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Sede Cartago. Tel.: 550- 2304. Correo electrónico: [jmora@itcr.ac.cr](mailto:jmora@itcr.ac.cr)

bioquímica de oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ) y el nitrógeno amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ).

El modelo de clasificación holandés de la calidad de agua de los efluentes por colores es una herramienta visual muy útil. Aún más útil es la clasificación de la contaminación por parámetro del índice holandés para estudiar las causas de las fuentes de contaminación de los efluentes, lo que facilita la búsqueda de posibles soluciones.

Los niveles altos de contaminación en los ríos estudiados están asociados a los niveles de densidad poblacional en las cercanías de los ríos. Un manejo adecuado de las descargas de desechos domésticos permitiría la recuperación de los ríos.

*La Organización Mundial de la Salud afirma que un 80% de las enfermedades en el mundo son atribuibles a problemas con el agua. El agua, necesaria e indispensable para sostener la vida, también es portadora de enfermedades y muerte (3)*

### **Abstract**

Two of the most important basins of the country are those from Tarcoles River and Reventazón River, where almost 70% of the population lives and discharges domestic wastewaters without any treatment coming from the cities of San José, Heredia, Alajuela and Cartago. Besides, the contamination of surface waters will affect later the underground waters, because of the relationship between them.

One of the objectives of the project was to classify the quality of waters using the Holland Classification System, based on potential water use. Sampling was done in the four control zones of Tarcoles River and Reventazón River Basins during the six month period study.

In order to determine the quality of water, dissolved oxygen, ammonium nitrogen and biochemical oxygen demand were analyzed.

The Holland Classification Model resulted to be a useful tool. But even better was the contamination classification of water by each individual parameter to find the cause of this resulting contamination.

High levels of contamination in rivers were associated with high density populations nearby the rivers studied. An adequate wastewater discharge management would be helpful for the recovery of the rivers.

### **Introducción**

La Organización Mundial de la Salud afirma que un 80% de las enfermedades en el mundo son atribuibles a problemas con el agua. El agua, necesaria e indispensable para sostener la vida, también es portadora de enfermedades y muerte (3).

En Costa Rica, el 96% de las aguas residuales no recibe tratamiento alguno antes de ser vertidas a los ríos (2, 10, 13). Dos de las principales cuencas del país, las de los ríos Tarcoles y Reventazón, donde se asienta casi el 70% de la población, reciben las aguas residuales sin tratar provenientes de las ciudades de San José, Heredia, Alajuela y Cartago. Los problemas de contaminación en las subcuencas se deben a las descargas de desechos líquidos y sólidos provenientes principalmente de las descargas domésticas e industriales (14, 15). Menos del 10% de las empresas llevan a cabo un tratamiento previo antes de descargar sus aguas a un cuerpo receptor (11). Se estima que de las 3 500 industrias que están ubicadas en las áreas de influencia del río Virilla, solo el 5% posee una planta de tratamiento (3). Estas subcuencas presentan un alto crecimiento poblacional, no poseen un sistema adecuado para el manejo de las excretas, afectando seriamente la salud de sus habitantes. Además, este proceso en las aguas superficiales terminará afectando paulatinamente los cuerpos subterráneos usados en el suministro de agua para consumo humano debido a la relación intrínseca que existe entre ambos, en el futuro inmediato (1, 2, 3).

Uno de los objetivos de la investigación fue clasificar la calidad físico-química de los cuerpos de agua utilizando el Índice

Holandés de Valoración, basado en la prioridad de su uso. Los muestreos se efectuaron en las cuatro zonas de control de la cuenca del río Grande de Tárcoles y del río Reventazón en los primeros seis meses del año (6).

## Materiales y métodos

Para analizar los parámetros relacionados con la calidad de los cuerpos de agua, se recolectaron muestras y se efectuaron mediciones en campo en los puntos de muestreo localizados en las cuencas del río Grande de Tárcoles y el Reventazón. Los puntos de muestreo se encuentran claramente detallados en la revista *Tecnología en Marcha* (6).

### Análisis de parámetros fisicoquímicos del agua

Para la valoración de la calidad del agua usando el modelo del Índice de Clasificación Holandés, se determinaron los siguientes parámetros: el porcentaje de saturación de oxígeno (PSO), la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y el nitrógeno amoniacal ( $N-NH_4^+$ ).

Para el análisis de  $DBO_5$  y  $N-NH_4^+$  se utilizó la metodología recomendada en el "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (4), cuyas metodologías han sido aceptadas en el país, según decreto N.º 25018-MEIC, publicado en el diario oficial *La Gaceta* N.º 59 del 25 de marzo de 1996.

El PSO se obtiene al dividir el oxígeno disuelto (OD) real medido en el sitio de medición entre el OD teórico que corresponde a la cantidad máxima de oxígeno que puede disolver el agua pura a la presión atmosférica del sitio de medición y a la misma temperatura del río. Por lo tanto, es necesario primero medir el OD en el río; tanto más alejado el porcentaje de PSO del 100 %, más se habrán perdido las condiciones naturales del cuerpo de agua.

El OD es uno de los indicadores más importantes de calidad del agua que refleja, en general, la salud de los sistemas acuáticos. Esta medición se efectúa en el lugar de muestreo y para ello se utilizó un medidor de oxígeno marca YSI modelo 57. El nivel de oxígeno en un cuerpo de agua está determinado por la oxidación de las descargas de residuos orgánicos e inorgánicos y las interacciones con las plantas acuáticas. Los efectos en la vida acuática debido a determinada concentración del oxígeno disuelto es función para cada especie, del período de duración de esta concentración y su estado de madurez (larva, juvenil y adulto). Esto dificulta el establecimiento de un número único como criterio universal de la calidad del agua. Sin embargo, se han definido criterios alrededor de 5,0 mg/L como concentración mínima necesarias para poder mantener la vida acuática. En general, se ha concluido que para niveles menores de 4,0 mg/L se empieza a causar la muerte de los peces juveniles, y por debajo de 3,0 mg/L el impacto es severo en todos los peces. Valores por encima de 6,0 mg/L se consideran apropiados para mantener la vida acuática (5, 8, 9).

La demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), es una medida del oxígeno consumido en la oxidación de la materia orgánica por acción bacteriana. Debe ser medido a los cinco días y a 20 grados centígrados. Este parámetro es un indicador de la cantidad de materia orgánica vertida en un cuerpo de agua.

El  $N-NH_4^+$  es otro parámetro importante ya que en su forma libre como amoníaco es tóxico para los peces y su toxicidad depende del pH del agua y su temperatura. Su presencia en los cuerpos de agua se atribuye a descarga directa o a la degradación de la materia orgánica nitrogenada proveniente de las aguas residuales domésticas.

### Metodología de Clasificación del Sistema Holandés

De acuerdo con la metodología del código holandés de clasificación por colores, la calidad en términos de estas variables

*La demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), es una medida del oxígeno consumido en la oxidación de la materia orgánica por acción bacteriana. Debe ser medido a los cinco días y a 20 grados centígrados. Este parámetro es un indicador de la cantidad de materia orgánica vertida en un cuerpo de agua*

se pondera con una puntuación asignada para cada uno de los parámetros antes mencionados en función de los datos que se muestran en el cuadro 1. Según el valor obtenido para cada parámetro, se asigna el puntaje correspondiente con base en la indicación de ese cuadro. Para clasificar la calidad del agua, se deben sumar primero el puntaje obtenido por cada parámetro y el resultado final se compara con los datos que se muestran en el cuadro 2.

**Cuadro 1.** Valores de los parámetros de porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, de la demanda bioquímica de oxígeno y del nitrógeno amoniacal

Puntos	PSO, %	DBO <sub>5</sub> , mg/L	N-NH <sup>4+</sup> , 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

## Resultados y discusión

### Análisis de parámetros fisicoquímicos del agua

En el cuadro 3 se puede observar que tanto el OD como el PSO muestran una disminución en sus valores usualmente en los meses de marzo y/o abril. Este comportamiento concuerda con la aparición de la época seca en el período de estudio, que a su vez se relaciona con los valores de caudal de los ríos muestreados (PARTE II de esta serie de artículos) (7).

El N-NH<sup>4+</sup> presenta en cambio, un comportamiento inverso que consiste en un incremento de los valores en los meses antes mencionados.

En el caso del DBO<sub>5</sub> no se encontró un patrón de comportamiento que fuera el mismo para todos los puntos de muestreo.

### Evaluación de la calidad del agua por el método holandés

El cuadro 4 presenta información que relaciona la densidad poblacional de varios distritos pertenecientes a las zonas estudiadas (12). Esta información nos permite vincular la densidad poblacional con respecto a la calidad de las aguas que se muestra en el cuadro 5.

**Cuadro 2.** Clasificación numérica de las variables según la metodología del código 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

Cuadro 3. Datos de los parámetros relacionados con la calidad del agua analizada durante el período de estudio

Ríos investigados	OD (mg/L)						PSO (%)					
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Tiribí-1	9,10	7,80	5,20	5,90	4,10	5,90		97,7	66,1	74,9	54,6	74,0
María Aguilar	8,90	5,10	3,40	3,70	4,30	4,80		63,9	45,0	47,4	58,1	61,7
Tiribí-4	8,80	7,80	5,80	4,10	5,10	7,00		97,2	74,8	54,1	69,7	88,3
Torres	9,20	6,40	5,10	5,40	5,20	5,20		80,6	67,4	71,6	69,6	67,0
Virilla-3	9,50	7,50	5,50	4,60	6,10	6,10		93,5	73,7	61,0	82,6	77,4
Virilla-1	8,20	7,30	7,30	5,10	6,60	6,40		92,2	98,7	68,1	90,6	81,2
Reventado	7,50	5,90	3,10	3,10	5,10	4,40		75,1	44,6	42,5	67,6	60,2
Purires	7,20	6,20	5,50	5,50	5,60	4,90		78,0	74,8	74,1	75,4	65,6
Agua Caliente	7,90	6,10	6,10	6,10	5,90	5,40		77,7	80,5	83,6	81,2	71,5
Poas	8,30	8,10	4,50	6,60	6,60	6,10		96,7	57,0	86,9	84,1	77,4
Alajuella	8,50	7,90	5,40	5,50	5,10	5,60		98,1	70,4	75,6	65,1	70,8
Tizate	8,30	7,20	6,10	5,30	5,60	6,10		90,0	80,2	72,9	70,0	78,2
Grande S.Ramón	9,90	7,60	5,90	5,40	4,70	6,80		95,4	78,3	74,1	58,4	86,2
Virilla 6	8,50	7,50	5,50	6,20	5,40	6,70		93,5	78,5	81,9	68,7	89,5
Virilla 5	6,70	5,60	5,10	3,90	5,10	5,20	82,4	74,6	63,8	56,8	66,8	67,1
Bermúdez	6,40	6,50	4,20	4,10	5,40	5,70	80,3	84,6	55,1	56,9	71,1	75,1
Ciruelas	6,80	6,20	4,50	5,40	5,50	5,60	90,4	81,2	62,4	70,8	70,8	70,0
Segundo	7,30	6,90	6,40	5,50	5,90	5,90	91,0	87,7	82,1	72,3	75,4	75,1
Uruca	5,90	6,80	7,10	4,50	5,60	5,50	78,3	88,1	90,7	59,2	73,2	69,8

Ríos investigados	DBO5 (mg/L)						N-NH4+ (mg/L)					
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Tiribí	25,66	16,90	16,30	17,90	13,00	3,43	0,06	2,06	3,37	0,74	2,01	0,66
María Aguilar	11,06	18,80	18,60	11,80	12,23	9,93	7,71	8,25	12,17	10,13	8,20	2,42
Tiribí	25,66	18,40	16,40	11,80	17,73	11,10	6,71	7,43	10,99	10,15	8,23	1,66
Torres	12,56	17,20	19,20	35,50	19,20	23,63	6,77	9,71	11,39	12,76	6,17	2,06
Virilla	11,76	15,90	21,10	32,00	13,70	2,93	0,51	1,99	6,13	7,14	2,59	0,41
Virilla	10,56	17,50	10,50	11,60	6,07	0,37	-0,30	0,04	0,38	0,30	0,07	0,10
Reventado	13,16	5,30	12,70	26,10	21,28	17,80	0,54	1,29	3,55	3,35	2,66	0,97
Purires	11,36	13,40	11,30	10,80	10,62	14,80	0,62	1,54	1,61	1,23	2,72	4,15
Agua Caliente	14,06	25,65	13,50	13,00	10,52	16,37	0,25	0,75	1,40	1,18	1,59	0,89
Poas	9,40	2,70	8,40	6,80	22,80	3,80	-0,19	0,27	0,41	0,15	0,15	0,14
Alajuella	5,33	5,50	7,50	7,60	13,53	4,10	2,18	2,45	3,82	1,94	0,99	1,17
Tizate	18,20	5,80	9,60	8,80	16,03	1,70	0,47	0,32	2,63	0,18	0,66	0,40
Grande S.Ramón	34,50	2,68	7,40	6,80	10,60	2,80	-0,02	0,07	0,52	-0,06	0,50	0,45
Virilla 6	24,40	3,93	8,40	10,60	6,60	4,90	0,37	0,41	3,91	-0,02	0,28	0,59
Virilla 5	37,50	8,20	6,42	37,00	6,50	5,50	1,95	2,17	4,55	6,38	2,26	2,12
Bermúdez	31,00	17,20	18,02	37,50	27,00	19,77	6,59	6,30	6,61	4,23	1,11	1,66
Ciruelas	14,20	21,80	6,02	23,70	41,70	24,87	2,94	4,54	7,24	10,82	2,92	1,82
Segundo	27,20	4,90	6,12	14,10	13,80	14,10	0,72	4,32	3,12	2,79	1,21	1,11
Uruca	13,40	8,60	6,72	12,30	4,60	9,07	-0,07	0,28	0,23	0,48	0,07	0,93

**Cuadro 4.** Densidad poblacional de varios distritos de la Gran Área Metropolitana relacionados con las zonas de estudio

Zona	Provincia	Cantón	Distrito	Densidad (Hab/km <sup>2</sup> )
1	San José	Central	Hospital	7152
	San José	Central	Catedral	6641
	San José	Central	Zapote	7282
	San José	Central	San Francisco	8106
	San José	Central	La Uruca	3247
	San José	Central	Pavas	8156
	San José	Central	Hatillo	12857
	San José	Central	San Sebastián	10866
	San José	Desamparados	Desamparados	12025
	Heredia	Santo Domingo	Santo Domingo	7001
			San Vicente	1845
<b>Promedio</b>				<b>7744</b>
<b>Desviación estándar</b>				<b>3345</b>
2	Cartago	Central	Agua Caliente	274
	Cartago	Central	Dulce Nombre	166
	Cartago	Paraíso	Paraíso	969
<b>Promedio</b>				<b>470</b>
<b>Desviación estándar</b>				<b>436</b>
3	San José	Atenas	Concepción	127
	Alajuela	Alajuela	Turrúcares	586
	Alajuela	Alajuela	La Garita	280
<b>Promedio</b>				<b>331</b>
<b>Desviación estándar</b>				<b>234</b>
4	Alajuela	Alajuela	Guácima	791
	Heredia	Belén	San Antonio	2922
	Heredia	Belén	Rivera	1364
<b>Promedio</b>				<b>1692</b>
<b>Desviación estándar</b>				<b>1103</b>

*El sistema holandés de clasificación por colores es una ayuda visual en la interpretación de los resultados. El cuadro 5 muestra que los puntos de muestreo con baja densidad poblacional presentan niveles de contaminación entre “incipiente” a “moderada” (zona 3)*

El cuadro 5 presenta la clasificación de cada uno de los puntos de muestreo por coloración en función del mes en estudio.

El sistema holandés de clasificación por colores es una ayuda visual en la interpretación de los resultados. El cuadro 5 muestra que los puntos de muestreo con baja densidad poblacional presentan niveles de contaminación entre “incipiente” a “moderada” (zona 3). Poblaciones con

densidad baja-media muestran un rango de contaminación entre “incipiente” a “severa” (zona 4). Zonas con densidad media son predominantemente contaminadas en un nivel “severo” (zona 2) y las que son de densidad alta, presentan contaminación “severa” o “muy severa” (zona 1).

Se observa una correlación positiva entre la densidad poblacional y el grado de contaminación de los efluentes. También

Cuadro 5. Clasificación de la calidad de agua de los efluentes, según el modelo holandés

Ríos Muestreados	Zona	Densidad Poblacional	Mes					
			Enero	Feb	Mar	Abr	May	Jun.
Tiribí-1	1	alta	Verde	Naranja	Naranja	Amarillo	Amarillo	Verde
María Aguilar	1	alta	Amarillo	Rojo	Rojo	Rojo	Naranja	Naranja
Tiribí-4	1	alta	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja	Rojo	Amarillo
Torres	1	alta	Amarillo	Naranja	Rojo	Naranja	Rojo	Naranja
Virilla-3	1	alta	Verde	Amarillo	Naranja	Rojo	Naranja	Verde
Virilla-1	1	alta	Verde	Amarillo	Verde	Amarillo	Verde	Verde
Reventado	4	baja-media	Verde	Amarillo	Naranja	Rojo	Naranja	Naranja
Purires	4	baja-media	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Naranja	Naranja
Agua Caliente	4	baja-media	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo
Poas	3	baja	Verde	Azul	Amarillo	Verde	Amarillo	Verde
Alajuela	3	baja	Verde	Amarillo	Rojo	Amarillo	Amarillo	Verde
Tizate	3	baja	Verde	Verde	Rojo	Verde	Amarillo	Verde
Grande S.Ramón	3	baja	Verde	Azul	Amarillo	Verde	Amarillo	Verde
Virilla 6	3	baja	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Verde
Virilla 5	2	media	Naranja	Amarillo	Naranja	Rojo	Naranja	Amarillo
Bermúdez	2	media	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja
Ciruelas	2	media	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja
Segundo	2	media	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Naranja	Amarillo	Amarillo
Uruca	2	media	Amarillo	Verde	Verde	Amarillo	Verde	Amarillo

se puede inferir que en la época más seca en el período de estudio muestra niveles mayores de contaminación.

Al segregarse la clasificación de los efluentes en cada uno de sus componentes muestra que el grado de contaminación es diferente en cada uno de los parámetros que forman parte del modelo holandés. Así, se infiere de los resultados presentados en el cuadro 6 que los valores de PSO, y por lo tanto el OD, en la mayoría de los puntos muestreados oscila entre valores correspondientes a la clasificación de “sin contaminación” hasta “moderada”.

El cuadro 3 muestra que la mayoría de los ríos presentan valores superiores a 5 mg/L de OD en la mayoría de los datos en el período de estudio. El contenido de  $N-NH_4^+$  varía considerablemente, aunque esta variación está claramente relacionada con la densidad poblacional, tal como se puede observar en los cuadros 5 y 6. Altos niveles de  $N-NH_4^+$  se relacionan con la presencia humana o el uso de fertilizantes. El parámetro que presenta los valores más altos de concentración corresponde al  $DBO_5$ , los cuales se vinculan con la carga orgánica, la cual es directamente proporcional con la densidad poblacional.

Cuadro 6. Clasificación de la contaminación de los efluentes por parámetro

Ríos investigados	DBO5 (mg/L)						PSO ( % )						N-NH4 (mg/L)					
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Tiribí-1	Red	Red	Red	Red	Orange	Green	White	Blue	Yellow	Green	Yellow	Green	Blue	Orange	Orange	Green	Green	Green
María Aguilar	Orange	Red	Red	Orange	Orange	Orange	White	Yellow	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Orange
Tiribí-4	Red	Red	Red	Orange	Red	Orange	White	Blue	Green	Yellow	Yellow	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow
Torres	Orange	Red	Red	Red	Red	Red	White	Green	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Orange
Virilla-3	Orange	Red	Red	Red	Orange	Blue	White	Blue	Green	Yellow	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Orange	Blue
Virilla-1	Orange	Red	Orange	Orange	Yellow	Blue	White	Blue	Blue	Yellow	Blue	Green	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
Reventado	Orange	Green	Orange	Red	Red	Red	White	Green	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Orange	Orange	Orange	Orange
Purires	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	White	Green	Green	Green	Green	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Orange
Agua Caliente	Orange	Red	Orange	Orange	Orange	Red	White	Green	Green	Green	Green	Green	Blue	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Green
Poas	Orange	Blue	Yellow	Yellow	Red	Green	White	Blue	Yellow	Green	Green	Green	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
Alajuela	Green	Green	Yellow	Orange	Orange	White	White	Blue	Yellow	Green	Yellow	Green	Orange	Orange	Orange	Yellow	Green	Green
Tizate	Red	Green	Orange	Yellow	Yellow	Green	White	Green	Green	Green	Yellow	Green	Blue	Blue	Orange	Blue	Blue	Blue
Grande S. Ramón	Red	Blue	Yellow	Yellow	Orange	Blue	White	Blue	Green	Green	Yellow	Green	Blue	Green	Blue	Blue	Green	Blue
Virilla 6	Red	Green	Yellow	Orange	Yellow	Blue	White	Blue	Green	Green	Yellow	Yellow	Blue	Blue	Orange	Blue	Blue	Green
Virilla 5	Red	Yellow	Yellow	Red	Yellow	Green	White	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Red	Orange	Orange
Bermúdez	Red	Red	Red	Red	Red	Red	White	Green	Green	Green	Yellow	Green	Green	Red	Red	Red	Orange	Yellow
Ciruelas	Orange	Red	Yellow	Red	Red	Orange	White	Green	Yellow	Green	Green	Yellow	Orange	Orange	Red	Red	Orange	Yellow
Segundo	Red	Green	Yellow	Orange	Orange	Orange	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Orange	Orange	Orange	Yellow	Yellow
Uruca	Orange	Yellow	Yellow	Orange	Green	Orange	White	Green	Green	Blue	Yellow	Green	Yellow	Blue	Blue	Blue	Blue	Green

### Conclusiones

- El modelo de clasificación holandés de la calidad de agua de los efluentes por colores es una herramienta visual muy útil para correlacionar variables con respecto a los niveles de contaminación.
- La clasificación de la contaminación por parámetro del modelo es igualmente útil para estudiar las causas de las fuentes de contaminación de los efluentes. Este tipo de información es valiosa al momento de definir las estrategias que se deban seguir para la recuperación de un río.
- Los datos muestran que los ríos poseen niveles adecuados de OD en la mayoría de los casos lo cual facilitaría el proceso de recuperación de los mismos.
- Los niveles altos de contaminación en los ríos estudiados están asociados a los niveles de densidad poblacional en las cercanías de los ríos. Un manejo adecuado de las descargas de desechos

domésticos permitiría la recuperación de los ríos.

## Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos al Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), y en especial a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE), así como al Ministerio de Energía y Ambiente (MINAE) en la persona de la Licda. María Guzmán, por el apoyo financiero recibido. A los compañeros del MINAE Marco Chinchilla y Lizbeth Leiva, al Laboratorio de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC) y a los compañeros Freddy Angulo Ramírez y Bernardo Morales Herrera, por su gran cooperación en el proyecto.

## Bibliografía

1. ABT Associattes. *Estudio de Factibilidad*. Programa de manejo de la Cuenca del Río Grande de Tárcoles. Volumen 4. 1999.
2. Autores varios. *Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible: Noveno Informe 2002*, octubre 2003, pp. 1-24.
3. Autores varios. *El Financiero*. 21-27 de julio, 2003, pp. 217-281.
4. Autores varios. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20 th edition, 2000,
5. Benedek P., Valló S., *Vízisztításhoz szennyvíztisztítás zsebkönyv. A környezetvédelmi és vízgazdálkodási minisztérium megbízásából kiadja a műszaki könyvkiadó, Budapest, 1990, pp. 275-278.*
6. Calvo, G; Mora, J. "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), pp. 3-9, abril-junio 2007.
7. Calvo, G; Mora, J. "Evaluación y clasificación preliminar de la calidad del 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), pp. 3-11, julio-setiembre 2007.
8. Eckenfeder, W. W. *Industrial Water Pollution Control*. McGraw-Hill, New York, 1989.
9. Kiely, G. *Ingeniería Ambiental*. McGraw-Hill/ Interamericana de España, 1999.
10. Pérez, M. y Alvarado, R. *Serie Servicios Municipales: N° 1. Dirección de Gestión Municipal*. Sección de Investigación y Desarrollo. 2003.
11. MINAE. *Taller de validación y modificación del reglamento de vertido y reúso de aguas residuales*. Hotel Corobici. 16 de Mayo 2003.
12. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. *Densidad de población de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica*. <http://www.mideplan.go.cr/Sides/ambiental/23-2.htm>, Agosto de 2002.
13. PROSIGA. *Información para el establecimiento de canones de vertido de aguas residuales en la zona alta y media de la cuenca del Río Virilla*. Informe Final. Tomo III. Junio 2003. Anexos VIII-XIX.
14. Ramírez, J.M. Informe Anual 2003: *Calidad de Aguas Residuales en los sistemas de depuración operados y administrados por A y A y estudios especiales de interés institucional*. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, enero-diciembre 2003.
15. Romero, L. y Ramírez, J.M. *Informe Final: Monitoreo de las microcuencas de las quebradas Pavas, Bibrí, Psiquiátrico y Rivera. Cantón Central de San José*. Municipalidad de San José e Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, febrero-noviembre 2001.