

Tracer behavior of a series stabilization ponds

**Guillermo Villasmil, José Sánchez, Gerardo Aldana
y Nibis Bracho**

*Centro de Investigación del Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia
Apartado 15.380 Delicias, Maracaibo, Venezuela. Telefax: 061-598822*

Abstract

The flow behavior of a series of stabilization ponds (facultative, maturation 1 and 2) located in La Universidad del Zulia, was studied by means of the employment of a tracer (triated water). The main objective of this research was to determine the hydraulic behavior based on the distribution of the tracer concentrations in each pond. For the samples collection, the ponds were divided into grids according to their dimensions, on the surface as well as on the bottom. The tracer behavior was followed through the contour graphs by ponds. In the graphs high concentrations of the tracer were mainly observed in the corners of the ponds. The facultative pond, maturation 1 and maturation 2 were evaluated and in the results observed in the first pond, the top level dispersion flow was higher than the bottom level and the existence of anomalous flow caused flow interruption in the body water. Dead zones in the body of water were detected. The pond of maturation 1 was evaluated also, and the best homogenization of the tracer was found on the surface. This could mean it was possible to find plug flow at the top level probably due to this pond having transversal baffles. The influence of the wind, as a external variable, on the superficial level of the facultative pond was determined, and it was estimated that the most unfavorable form of the inlet and outlet flow weirs was when they were aligned.

Key words: Stabilization ponds, tracer, behavior of tracer, homogenization, physical model.

Comportamiento de un trazador en una serie de lagunas de estabilización

Resumen

El comportamiento del flujo en una serie de lagunas de estabilización (facultativa, maduración 1 y maduración 2) ubicadas en La Universidad del Zulia, fue estudiado mediante el empleo de un trazador (agua tritiada). El objetivo principal de esta investigación es determinar el comportamiento hidráulico basándose en la distribución del trazador en cada laguna. Para la toma de muestras las lagunas fueron divididas en cuadrículas, de acuerdo a sus dimensiones, tanto en la superficie como en el fondo la distribución del trazador fue analizada a través de las gráficas de contorno por lagunas, distinguiéndose principalmente, altas concentraciones del trazador en las esquinas, las cuales son de geometría rectangular. Se evaluaron las lagunas facultativa, maduración 1 y maduración 2, obteniéndose como resultado en la primera una mayor dispersión a nivel del fondo, observándose la existencia de flujos anómalos causando interrupciones de flujo en el cuerpo de agua. Se encontró que en la laguna de Maduración 1 la cual posee pantallas transversales al sentido del flujo, la homogeneización del trazador en la superficie fue en mayor proporción que la del fondo, poniendo en evidencia un flujo pistón al nivel de la superficie. Se determinó que el viento ejerce un efecto considerable a nivel superficial influyendo además los tipos de entrada y salida las cuales resultaron desfavorables cuando están alineadas.

Palabras clave: Lagunas, trazador, comportamiento, homogeneización, modelo físico.

Introducción

Las lagunas de estabilización son sistemas de tratamiento de aguas residuales cuya finalidad es mejorar las características sanitarias del agua residual para su posterior reutilización en riego, usos agro-industriales, etc.[1,2]. Debido a ello, se hace necesario el estudio de estos sistemas para comprobar su buen funcionamiento. En las lagunas de estabilización se presentan problemas complejos de tipo físico, químico y biológico [3] teniendo incidencia en el comportamiento hidráulico de las lagunas; también existen otros factores externos como el viento, temperatura y la radiación solar. No obstante, para estudiar la conducta del flujo en las lagunas se emplean trazadores [4], mediante las técnicas estímulo-respuesta [5]; y que con su uso se pueden determinar el comportamiento hidráulico de este tipo de sistema [1], pero son costosos. En esta investigación se utilizó como trazador, el isótopo tritio (³H) en forma de agua tritiada, el cual se mezcla con el fluido sin interactuar químicamente[1,6], sin perturbar el flujo y es fácilmente detectable [6]. Adicionalmente a este tipo de técnica, se pueden desarrollar modelos para simular las condiciones y el comportamiento del flujo en las lagunas, y obtener aproximaciones para evaluar las posibles respuestas aplicables al sistema. Existen pocas investigaciones sobre estos tipos de modelos [2], porque a pesar de las limitaciones que ellos presenten, es bastante laborioso llegar a reunir todas las variables que ejercen continuamente influencia en el complejo comportamiento de las lagunas [3]. Este trabajo tiene dos objetivos: evaluar a través de las gráficas de

contorno la distribución de las concentraciones del trazador y, observar para varios muestreos, el comportamiento del trazador en el sistema. Con las gráficas se quiere señalar el efecto que tienen los vertederos de entrada y salida sobre el flujo, y la incidencia de pantallas ("deflectores") en una de las lagunas.

Metodología

Descripción del sistema

El sistema para el tratamiento de aguas residuales de La Universidad del Zulia se encuentra ubicado dentro de la Ciudad Universitaria "Antonio Borjas Romero" conjuntamente con la sede del Centro de Investigación del Agua (C.I.A.). El sistema en estudio esta conformado por una laguna de tipo facultativa y dos de maduración de sección transversal trapezoidal, como se aprecia en la Figura 1. La Laguna facultativa tiene dimensiones de 75,2 m de largo por 29,4 m de ancho y profundidad de 2,9 m con taludes inclinados a 45°. El caudal promedio durante el período experimental fue de 432 m³/día con un volumen efectivo de agua 4776 m³ medidos sobre el espejo de agua, para la facultativa, el flujo es inyectado a través de una tubería de bombeo la cual finalmente descarga en un canal rectangular. La laguna de maduración 1 recibe los efluentes de la laguna facultativa por medio de un vertedero situado a 1,5 m de profundidad, y la salida, es por rebose en un vertedero de 0,203 m (8"). La laguna de maduración 2 es alimentada mediante un vertedero de entrada sumergido a 1,5 m, y la descarga es por rebose al igual que la de maduración 1. Las lagunas de maduración presentan dimensio-

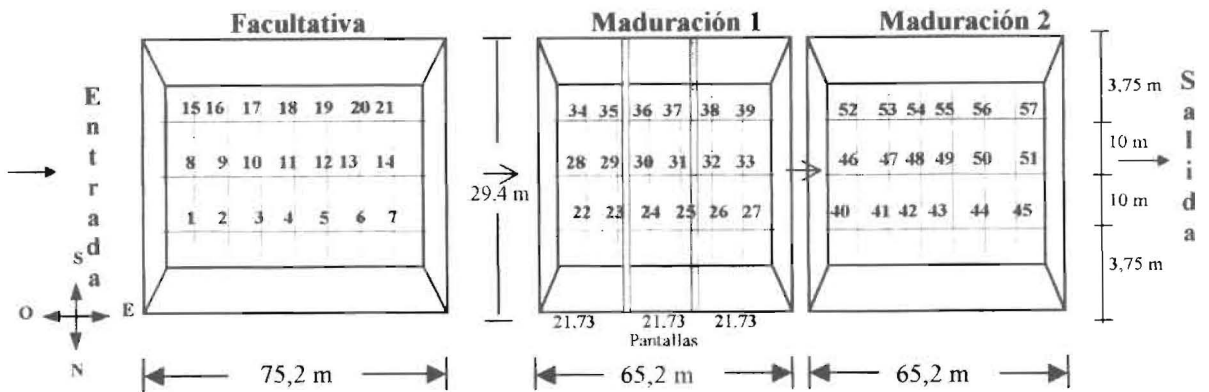


Figura 1. Sistema de tratamiento de la serie de estudio (No está a escala).

nes de 65,2 m de largo por 29,4 m de ancho, con una profundidad de 1,5 m y un volumen efectivo de agua de 2032 m³. En la laguna de maduración 1 se encuentran dos pantallas o "deflectores" transversales que ocupan la sección desde la superficie hasta el fondo, ubicados a 21,7 m y 43,5 m de la entrada del flujo el cual es mediante una tubería de entrada sumergida ubicada en el nodo 28 y la salida es un vertedero circular (8") ubicada en el nodo 33, como se aprecia en la Figura 1. Estas están construidas en tuberías de PVC de 0,102 m (4") de diámetro, separadas entre sí, cada 0,05 m verticalmente. El flujo entre las pantallas es transversal en toda la altura de la laguna (1,50 m).

Materiales y equipos

Los reactivos utilizados en este trabajo fueron: Gamma Fluor 2, obtenido de la Empresa Gamma Nuclear, S.A. (Caracas) y Agua Tritiada (H₂O) de NEN RESEARCH (USA). Los valores de Desintegraciones por Minuto (DPM) se obtuvieron en un Contador de Emisiones Beta LKB Wallak modelo 1219, manejado por un computador Pentium 100 Mhz, ubicado en el Instituto de Investigaciones Clínicas de L.U.Z. El contador maneja eficiencias en un rango de 55-60% en el conteo de las emisiones beta para el isótopo Tritio (³H). La toma de muestras en las lagunas fue realizada con un muestreador de tipo Van Dorn.

Procedimiento

El trazador fue seleccionado tomando en cuenta las experiencias de Aldana y otros [8] y criterios para uso de trazadores en aguas residuales señalados en [1,4], además del criterio de trazador ideal [6]. Basándose en estos criterios, el trazador seleccionado fue Agua Tritiada.

Una semana antes de la inyección del trazador se controló el caudal de entrada a la serie de lagunas, correspondiendo al caudal de la laguna facultativa. Los puntos de medición para la toma de muestras se dispusieron en forma de mallas matriciales, de 10 x 10 m², de acuerdo a las dimensiones de las lagunas. La malla en la laguna facultativa consta de 21 nodos distribuidos al nivel de superficie y de fondo, es decir a 0,4 m y 2,0 m, como se muestra en la Figura 1. En las lagunas de maduración se ubicaron mallas matriciales de 18 nodos, señalados en la Figura 1, a 0,4 m

y 1,0 m en superficie y fondo, respectivamente. Se obtuvieron datos de velocidades de viento, dirección predominante y porcentaje de tiempo de calma para el año 1997, provenientes de la estación meteorológica de la Facultad de Arquitectura (IFA) de La Universidad del Zulia, cuya ubicación es, latitud: 10°40'30", longitud: 71°37'30" y altitud 40m.

Antes de la inyección del trazador, se tomaron muestras en los diferentes nodos de superficie y fondo para conocer la concentración base del tritio ("Background"), existente en las lagunas. La toma de muestras se realizó una semana antes de la inyección del trazador, con un muestreador de tipo Van Dorn en cada uno de los nodos de las lagunas señalados en la Figura 1. El agua tritiada fue agregada en el vertedero de entrada de la laguna facultativa el tiene un ancho de 40 cm ubicado en el eje central de la laguna, con una concentración de 3,33 10¹¹ DPM (12,5 mCi/ml), y las muestras se tomaron empleando el mismo procedimiento de recolección, utilizado para la determinación del "Background". El tiempo de recolección de las muestras duró 47 días, es decir, más de dos veces el tiempo teórico de retención hidráulico de la serie de lagunas, de 21 días, según recomendaciones realizadas por investigadores tales como Marecos do Montes *et al.* [4]

Resultados y Discusión

Gráficas de contornos

Las gráficas de contorno son también llamadas gráficas de campo, las cuales, muestran la variación de una variable a través de la data del campo según estudios realizados por Villasmil *et al* [9]. En el caso en estudio el campo esta representado por una vista en planta de la laguna a una profundidad a 0,4 m o 2,0 m; y la data del mismo, son los valores de la concentración de trazador medidos en los diferentes nodos de las lagunas señalados en la Figura 1. Es por ello que, las gráficas de contornos nos permiten analizar la distribución y/o variación de las concentraciones del trazador en cualquiera de las lagunas, para un ensayo determinado y, también, seguir el comportamiento del trazador durante el período de muestreo. Las gráficas nos indican de forma cualitativa la presencia de regiones con anoma-

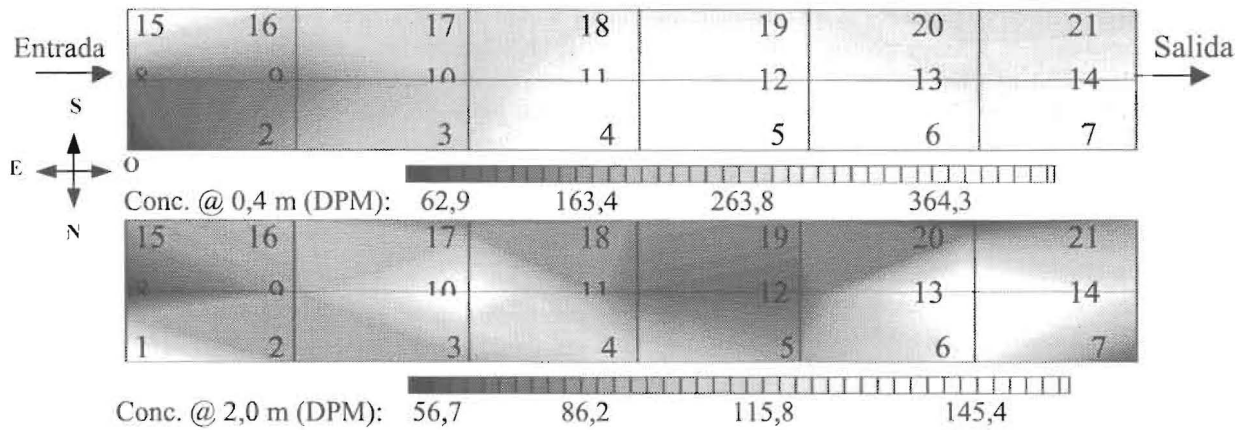


Figura 2. Distribución de concentraciones en la laguna facultativa. Superficie y fondo. Una hora después de inyectado el trazador.

lías, tales como interrupciones de flujo y zonas estancadas [9]. También, las regiones en las que el trazador se distribuye en mayor cantidad, al nivel de superficie y fondo, tomando como referencia de comparación la máxima y la mínima concentración del trazador, expresado en una gráfica. El análisis se hace cualitativamente de acuerdo a la diferencia de tonalidades que el programa gráfico le asigna a los diferentes valores de concentración del trazador, las cuales van desde zonas claras (concentraciones altas), zonas sombreadas (concentraciones intermedias) hasta zonas oscuras que representan las concentraciones bajas. De un total de 79 gráficas obtenidas durante el estudio para las tres lagunas, se seleccionaron solo las correspondientes al primer ensayo realizado en cada laguna. En la Figura 2 se muestra la gráfica de contorno de superficie y fondo para la laguna facultativa luego de 1 hora de haber sido lanzado el trazador, con muestreo en la mañana. En la superficie se observa la predominancia de zonas sombreadas, las cuales corresponde a concentraciones aproximadas de 264 DPM, significando esto que el trazador se encuentra distribuido en gran proporción en la superficie y presenta buena homogeneidad en la laguna. Entre los nodos 4, 11, 5, 12, 6 y 13 se observa una zona de alta concentración, lo que significa, la presencia de una zona estancada. Entre los nodos 1, 8, 9 y 2 de superficie se denota una zona de baja concentración, que implica la presencia de interrupciones de flujo en la laguna facultativa. Esto puede ser interpretado, que es causado por la influencia del flujo en el vertedero

de entrada (nodo 8), el cual se encuentra situado a nivel superficial de la laguna [10]. Adicionalmente, que el viento se encontraba con dirección predominante Nor-Este aproximadamente a 11 km/h, afectando la distribución del trazador a nivel superficial.

En el fondo se observa que prevalecen, tonalidades que corresponden a concentraciones de aproximadamente 70 DPM, indicando baja distribución de las concentraciones de trazador y poca homogeneidad. Alrededor del nodo 8 de fondo, se evidencia una zona de baja concentración, significando la aparición de interrupciones de flujo los cuales son originados por el efecto de la velocidad del flujo en las zonas cercanas al vertedero de entrada [10]. Otra zona de baja concentración se nota cerca de los nodos 11 y 12. Alrededor del nodo 10 y 13 se observan dos epicentros identificados por zonas de altas concentraciones. En esos dos nodos el valor de las concentraciones, no alcanza la mitad de la concentración máxima de superficie (365 DPM).

En la Figura 3, con muestreo en horas de la mañana luego de 4 horas de haber sido lanzado el trazador, se aprecia como zonas sombreadas ocupan casi la totalidad del área de la gráfica de contorno para la superficie, dichas zonas señalan concentraciones de 220 dpm, teniendo altas concentraciones y buena homogeneización de trazador. Un pequeño triángulo oscuro se observa alrededor del nodo 4 siendo esta una zona de baja concentración o interrupciones de flujo. Así como también zonas de baja concentración o muertas entre los nodos 11, 17, 18 y 19 además

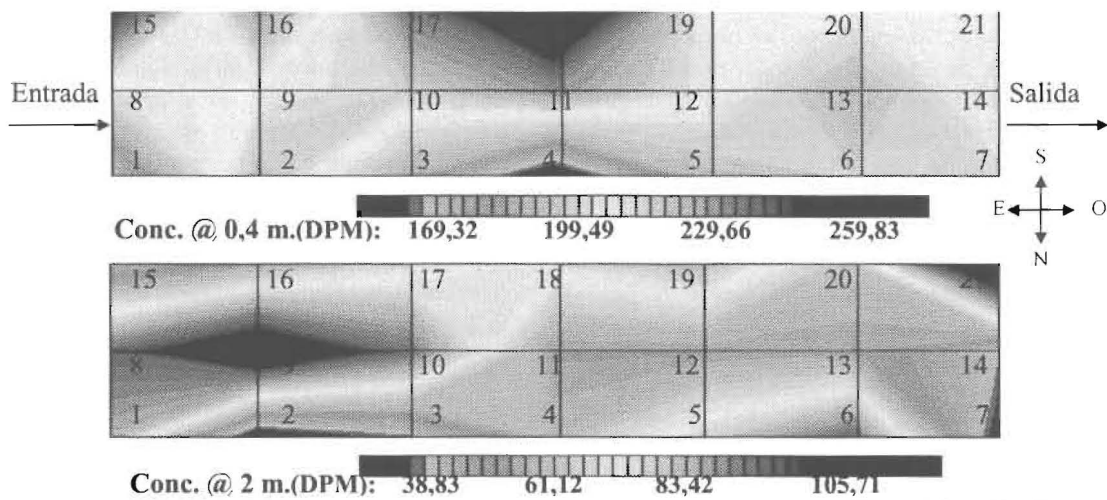


Figura 3. Distribución de concentraciones en la laguna facultativa. Superficie y fondo. 4 horas después de inyectado el trazador.

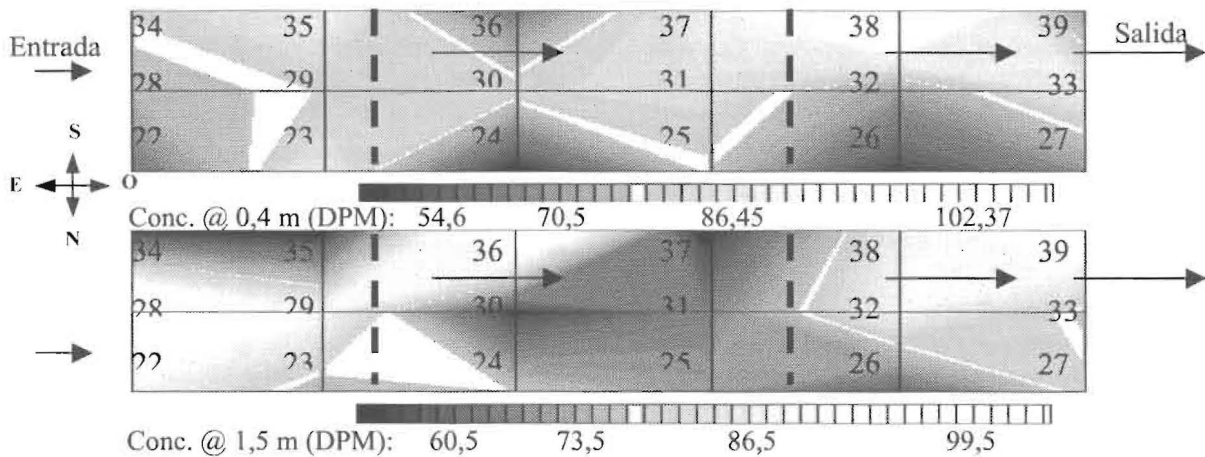


Figura 4. Distribución de concentraciones en la laguna de maduración 1. Superficie y fondo. 263 horas después de inyectado el trazador.

del nodo 15, situados a los lados de la laguna y en una esquina respectivamente. Esto se debe a la influencia en dirección Nor-Este del viento a una velocidad de 11 km/h en horas de la mañanas.

En el fondo las zonas sombreadas corresponden a los valores de 70 dpm y se encuentran distribuidas proporcionalmente en la gráfica de contorno evidenciando bajas concentraciones de trazador además de buena homogeneidad del mismo. Cerca de los nodos 7 y 14 se observan zonas oscuras, evidenciando la presencia de interrupciones de flujo, debido al efecto de choque del fluido con las paredes de la laguna [10]. Además se observa estancamiento del flujo en los nodos 9 y 21 por la presencia de zona de bajas concentraciones en dichos nodos.

Un análisis similar al realizado a las gráficas de contorno de la laguna facultativa, se le realizó a las gráficas de maduración 1, tomando en cuenta que esta laguna esta provista de dos pantallas o "deflectores" colocadas entre los nodos 23, 29, 35, 24, 30 y 36 para la primera y entre los nodos 25, 31, 37, 38, 32 y 26 para la segunda. Además, la concentración total varió entre 120 dpm y 45 dpm para la máxima y mínima, respectivamente. La Figura 4, corresponde al día 11 (263 horas) luego de inyectarse el trazador.

A nivel de superficie predominan concentraciones entre 70 y 80 DPM, lo que señala baja distribución de trazador y buena homogeneización. Cerca de los nodos 24 y 26 se observan zonas oscuras señalando la presencia de altas velo-

ciudades del flujo. En este caso, el muestreo fue realizado en la mañana, y el viento, presentó dirección predominante hacia el Nor-Este igual que la laguna facultativa. En el fondo se aprecia, una zona sombreada de bajas concentraciones entre las pantallas. La velocidad del viento de 11 km/h es mayor en las tardes en comparación con las mañanas. Esta disminución de la velocidad durante las mañanas ocasiona un efecto de baja dispersión en la hidráulica del fluido, disminuyendo la concentración del trazador a nivel del fondo, y a la vez genera un flujo pistón a nivel de la superficie, entre las pantallas [11].

En la Figura 5 correspondiente al día 11 (264 horas) después de inyectarse el trazador en la laguna de maduración 1 se observa a nivel de superficie concentraciones aproximadas de 85 dpm, lo que señala baja distribución de trazador y buena homogeneización de la mezcla. Cerca de los nodos 24 y 26 se observan zonas de bajas concentraciones señalando la presencia de interrupciones de flujo o estancamientos entre las dos pantallas. Además de esto en el nodo 38 se evidencia estancamiento de trazador, esto originado por la influencia del viento en dirección Nor-Este en horas de la mañana.

En el fondo se observa baja homogeneización del trazador con concentración promedio de 73 DPM, esto pone en evidencia la tendencia de

un flujo pistón a nivel de la superficie entre las pantallas, disminuyendo el efecto de la difusión del trazador observado en la laguna facultativa a nivel del fondo [7]. Esto se aprecia en la zona sombreada ubicada entre las pantallas y que se extiende hasta el nodo 26. En el nodo 30 existe un epicentro identificado por una zona con concentración mínima (73 DPM), influenciado por la presencia de la tubería sumergida a la entrada de la laguna [10], al igual que en el nodo 28, pero en este caso la concentración es máxima (104 DPM).

En la Figura 6, 11 días después de haberse lanzado el trazador (265 horas) la concentración fue de 85 dpm en promedio siendo a nivel de la superficie, significando esto baja distribución de trazador y no homogeneidad del mismo. Salvo por una zona oscura ubicada en los nodos 30, 35, 36, 38 y 39, entre la primera y segunda pantalla, este efecto se le atribuye a la dirección Nor-Este del viento por las mañanas el cual va en forma casi paralela al sentido del flujo.

En el fondo se observa un comportamiento similar al de superficie, tanto en homogeneización como en distribución. Se nota mayor orden en el flujo desde antes de la primera pantalla hasta el vertedero de salida, por la presencia predominante de una zona de baja concentración ubicada en los nodos 36 y 37, igualmente en la zona alrededor de los nodos 26 y 31, señalando espa-

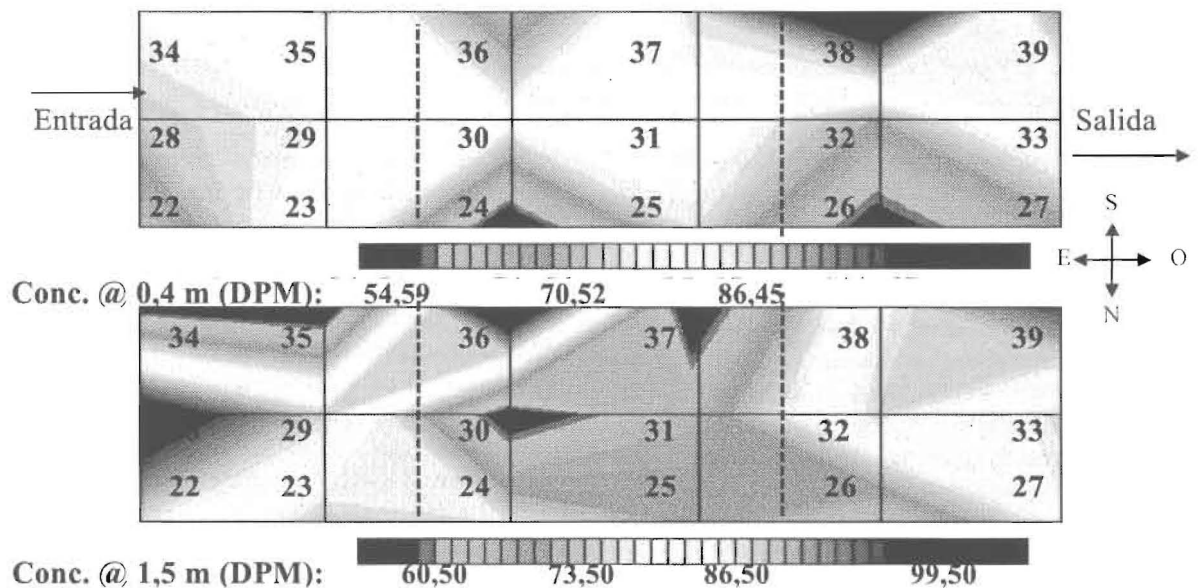


Figura 5. Distribución de concentraciones en la laguna de maduración 1. Superficie y Fondo. 264 horas (11 días) después de inyectado el trazador.

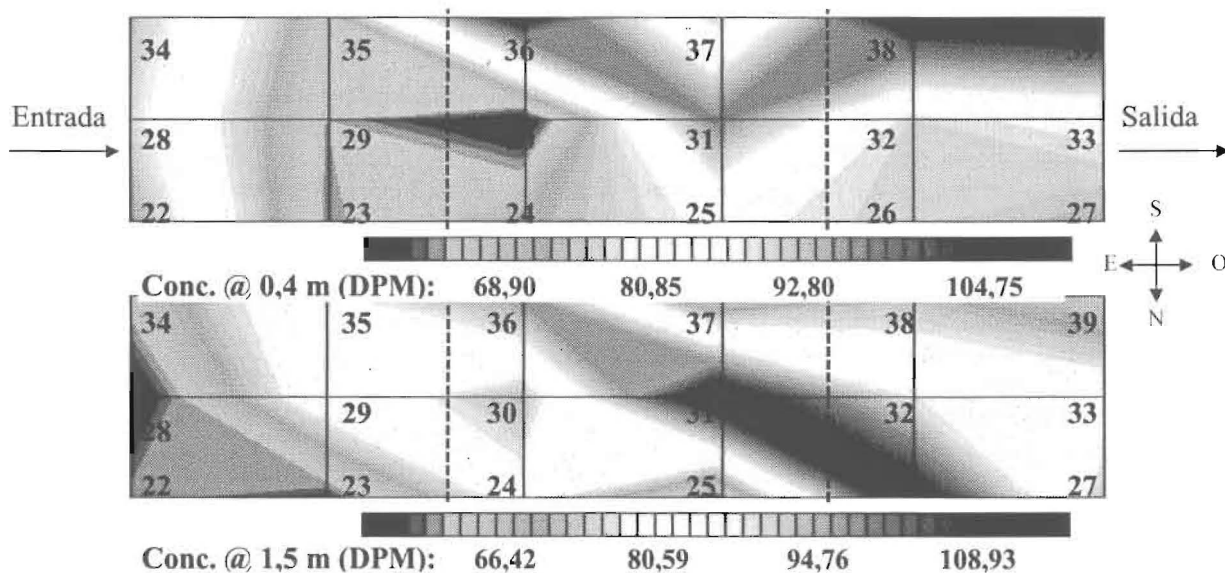


Figura 6. Distribución de concentraciones en la laguna de maduración 1. Superficie y fondo. 265 horas (11 días) después de inyectado el trazador.

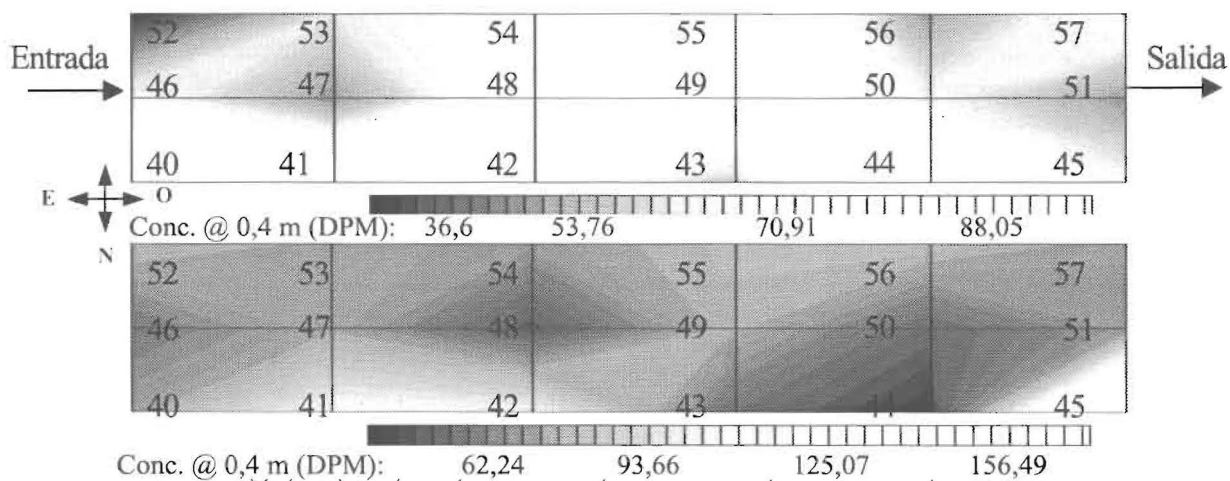


Figura 7. Distribución de concentraciones en la laguna de maduración 2. Superficie y fondo. 457 horas (19 días) después de inyectado el trazador.

cios muertos antes y después de la segunda pantalla, causando la restricción del flujo en estas en forma más acentuada a nivel de fondo. También se evidencia esta anomalía entre los nodos 22, 23, 2 y 34 indicando interrupciones de flujo antes de las pantallas, a nivel de la entrada de la laguna.

La Figura 7, representa la distribución de concentración en la laguna de maduración 2 para un ensayo durante la mañana, después de 19 días (457 horas) de haber sido lanzado el trazador. En la figura se ve cómo no existe predominancia de ninguna zona sombreada en la gráfica

de superficie, la concentración en promedio fue de 60 DPM, teniendo con esto bajas concentraciones y poca homogeneización del trazador. La zonas observadas alrededor de los nodos 47 y 51 denotan dos epicentros con bajas concentraciones, y alrededor de los nodos 44, 49, 55 y 40 la zona señala alta concentración.

En el fondo las tonalidades que corresponden a valores de 80 DPM se encuentran distribuidos proporcionalmente en la gráfica con bajas concentraciones de trazador. En comparación con la laguna de maduración 1, la tendencia a la

homogeneización del trazador es menor, y la influencia de factores externos como el viento (a nivel superficial de la laguna), tiene mayor incidencia; reflejándose zonas de bajas concentraciones en los nodos 44, 48, 50, 54 y 51 ya que la dirección predominante del viento fue en dirección Nor-Oeste, durante la tarde [9]. Recientemente otros estudios realizados por Torres y otros [3] han descubierto la influencia del viento sobre la distribución aleatoria del trazador en la superficie de la laguna. Esto ocasiona no uniformidad de las concentraciones a nivel de la superficie y en el fondo la homogeneización es poco frecuente, aunque muy cercana.

Conclusiones

En el estudio realizado se encontró que las zonas de estancamiento de flujo, se localizan en las esquinas y costados laterales tanto en superficie como en fondo principalmente. Las interrupciones de flujo, o zonas de altas velocidades, se ubicaron cerca de los vertederos, y a nivel superficial, en la línea central del flujo. Las figuras de distribución de concentración evidenciaron, que el viento tiene influencia directa sólo a nivel superficial para las tres lagunas, pero principalmente en las lagunas que no tienen pantallas. En la laguna con pantallas, la homogeneización de las concentraciones del trazador fue mayor, notándose una especie de canalización del flujo debido a la presencia de las pantallas. Por lo que se concluye que, emplear pantallas en las lagunas de estabilización induce la formación de flujo pistón desde el punto de vista de la hidráulica, lo cual es beneficioso para la homogeneización del fluido.

Las figuras de distribución de concentración evidenciaron que el efecto del viento es a nivel superficial en lagunas desprovistas de pantallas, y que la condición de tener vertederos alineados ocasiona altas velocidades en la línea de flujo.

Referencias Bibliográficas

1. Moreno, M.D.: "A Tracer Study of the Hydraulic of Facultative Stabilization Ponds," *Wat. Res.*, Vol 24, (1990) 1025-1030.
2. Wood, M., Greenfield, P., Howes, T., Johns, M. y Keller, J., "CFD Modelling of Wastewater Ponds to Improve Design," CRC for Wastewater Management and pollution Control Limited, 3th Conference International of Ponds Stabilization, IAWQ, (1985)
3. Torres J. J., Soler A., Sáez J., Ortuño J.F.: "Hydraulic Performance of a Deep Wastewater Stabilization Pond", *Wat. Res.*, Vol 31, (1997) 679-688.
4. Marecos do Monte M. H. F., Mara D. D.: "The Hydraulic Performance of Waste Stabilization Ponds in Portugal", *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 19, (1987) 219-227
5. Levenspiel O.: "Ingeniería de las Reacciones Químicas", Reverté, España. (1981) 277-340
6. Wen C. and Fan L.: "Models for Flow Systems and Chemical Reactors", Marcel Dekker Inc. New York, Vol 3. (1975). 785-1101
7. Yanez, C.F.: "Lagunas de Estabilización Teoría, Diseño, Evaluación y Mantenimiento (1993) Cap. 14. Métodos de Evaluación-Trazadores. Quito, Ecuador.
8. Aldana G., Herrera L. y Bracho N.: "Selección de un Trazador para la Determinación de Regímenes Hidráulicos en Reactores". *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, Vol. 18, No.1 (1995) 113-122.
9. Villasmil, G., Sanchez, J., "Comportamiento Físico-Químico y Simulación Hidrodinámica de una serie de Lagunas de Estabilización". Tesis de Grado. Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. (1998). 45-100.
10. Aldana, G. "Determinación de los Regímenes Hidráulicos y Patrones de Flujo Mediante Trazadores". Trabajo de Ascenso. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. (1994). 21-50
11. Aldana G., Aiello C., Morán M., y Jerez O. "Mecanismos de las Variables Dinámicas en la Remoción de Metales Pesados en una Laguna Facultativa". *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, Vol. 21, No.1 (1998) 10-19.

Recibido el 3 de Mayo de 1999

En forma revisada el 27 de Septiembre de 1999