

## IV Bracho-Venezuela-1

# DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL FLUIDO EN LAS LAGUNAS DE MADURACIÓN DE LIDSEY.

### **NIBIS BRACHO<sup>1</sup>**

Ingeniero Civil Universidad del Zulia (LUZ)-Venezuela. Postgrado en Ingeniería Ambiental LUZ (PhD) Universidad de Surrey-Inglaterra. Prof. Facultad de Ingeniería-LUZ. **Premios y distinciones:** Diplomas de Honor-LUZ. Programa del Investigador Novel (CONICIT). Profesores Altamente Meritorios (CONABA) Beneficio al Rendimiento Académico (PREA). Beca LUZ (PhD ). PPI-I Convocatoria 2005. Publicaciones (25). Presidenta del I COINLAGO (2006).

### **GERARDO ALDANA<sup>2</sup>**

Ingeniero Civil Universidad del Zulia (LUZ)-Venezuela. Postgrado en Ingeniería Ambiental LUZ. (PhD) Universidad de Surrey-Inglaterra. Prof de la Facultad de Ingeniería-LUZ. Presidente del ICLAM (2005-2006). **Premios y distinciones:** Diplomas de Honor-LUZ. Programa del Investigador Novel (CONICIT). Profesores Altamente Meritorios (CONABA). Premio Científico APUZ. Rendimiento Académico (PREA). Beca LUZ (PhD). PPI-I Convocatoria 2005. Publicaciones (30).

e-mail. [nibisbracho@hotmail.com](mailto:nibisbracho@hotmail.com) Teléfono + 58 + 414+0627870, FAX: + 58+ 261 + 643709 y 7647234. Universidad del Zulia. Av. Goajira. Ciudad Universitaria. Centro de Investigación del Agua. Maracaibo-Venezuela.

## **RESUMEN**

El presente estudio fue realizado en la planta de tratamiento municipal de Lidsey localizada en Bognor Regis al Sur de Inglaterra. El tratamiento terciario de la citada planta, se encuentra constituido por tres (3) lagunas de maduración en paralelo (Norte, Central y Sur), con dimensiones similares (122mx14mx1m). La laguna Sur tiene instalados tres baffles, difiriendo su geometría con respecto a las otras dos lagunas. Esta investigación fue desarrollada en el tratamiento terciario con el propósito de determinar, los movimientos ocasionados por la viscosidad de Eddy, los espacios muertos, cortos circuitos y la velocidad del fluido a diferentes profundidades (superficie, profundidad  $P = 25, 45, 60$  cm. medidos desde la superficie hacia el fondo de la laguna). Para medir la velocidad en la superficie se utilizaron objetos flotantes de tamaño y peso similar, cuyo grado de sumergencia fue de aproximadamente un 98%, con lo cual se evitó el efecto del viento sobre el instrumento. La velocidad debajo de la superficie fue determinada con drogue construidos artesanalmente en el laboratorio y calibrados a la profundidad requerida antes de su utilización. Adicionalmente se realizó un experimento simultáneo con objetos flotantes y Rodamina WT con los cuales se observó la trayectoria del movimiento del fluido con cada instrumento, concluyéndose que se requiere de la utilización de ambos, para obtener la información del tiempo real de la salida del flujo jet (corto circuito), del tiempo del movimiento de la viscosidad de Eddy, localización de los espacios muertos e identificación del efecto del viento sobre el fluido. La laguna con baffles presentó el mejor comportamiento hidráulico, con el menor efecto de la viscosidad de Eddy y el mayor retardo en la salida del flujo jet en comparación con la laguna original. En todas las lagunas se registró máxima velocidad en la superficie y cero velocidad, a la profundidad de 60 cm. El comportamiento hidráulico de la laguna con baffles fue predicha empleando el modelo HYDRO-3D, resultado su predicción similar a las evidencias obtenidas experimentalmente, en cuanto a los cambios de velocidad del fluido (cortos circuitos), zonas con altas velocidad y espacios muertos.

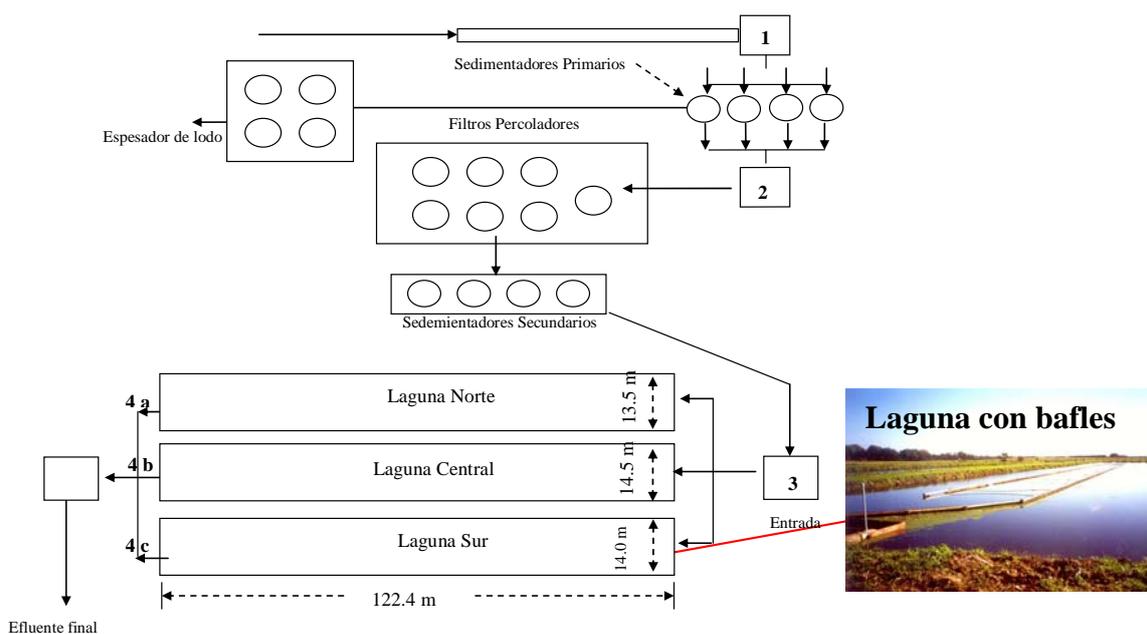
**Palabras claves:** Lagunas, velocidad, cortos circuitos, espacios muertos, modelos matemáticos.

## **INTRODUCCIÓN**

En el campo de la Ingeniería sanitaria, la importancia de las características hidráulicas como por ejemplo, cortos circuitos, espacios muertos y dispersión fueron reconocidos por primera vez en el tratamiento de aguas residuales por Camp (1946). Muchas investigaciones en lagunas de estabilización han demostrado que la eficiencia en la laguna de estabilización mejora cuando se reducen los espacios muertos y los cortos circuitos (Juanico 1991; Vorka 1999; Lloyd *et al.*, 2002; Bracho 2003; Bracho *et al.*, 2006). Algunos investigadores como Kilani y Ogunrombi (1984), Mutamara y Puetpaiboon (1997) Lloyd *et al.*, (2002), Bracho (2003) y Bracho *et al.*, (2006) han demostrado que al reducir el número de dispersión, se incrementa la remoción de DBO, DQO SS Y coliformes fecales (CF) por otra parte Bracho (2003) y Bracho *et al.*, (2006) demostraron que los cortos circuitos (flujo jet) producidos por altas velocidades en la superficie pueden ser retardado empleando baffles, trayendo como consecuencia una mejor calidad del efluente de la laguna.

Sáenz (1986) reportó que la velocidad del fluido en la capa superficial del fluido es 3/2 mayor a la velocidad promedio. Esto afecta el tiempo de retención y en consecuencia el tratamiento.

El presente estudio fue realizado en la planta de tratamiento municipal de Lidsey localizada en Bognor Regis al Sur de Inglaterra (Figura 1). El tratamiento de sus aguas residuales se lleva a cabo en una planta convencional con 4 sedimentadores primario 7 filtros percoladores, 4 sedimentadores secundario y un tratamiento terciario constituido por tres (3) lagunas de maduración en paralelo (Norte, Central y Sur), con dimensiones similares (122mx14mx 1m). La laguna Sur tiene instalados tres baffles, difiriendo su geometría con respecto a las otras dos lagunas. Esta investigación fue desarrollada con el propósito de comparar los movimientos ocasionados por la viscosidad de Eddy, los espacios muertos y los cortos circuitos de dos lagunas sin baffles con relación largo/ancho (L/A) 9:1 y una laguna con baffles con relación L/A 79:1.

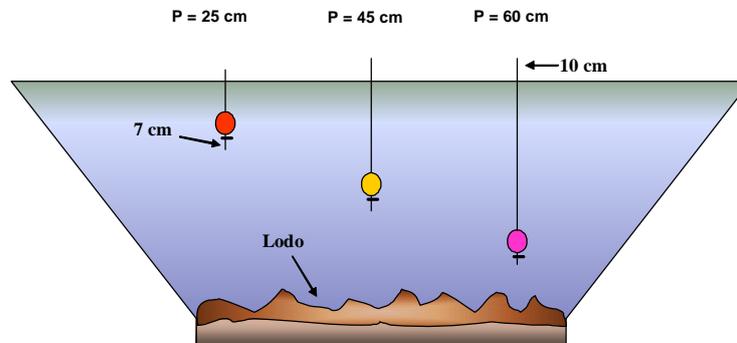


**Figura 1. Esquema de la Planta Municipal de Tratamiento de aguas residuales de Lidsey-Inglaterra.**

## METODOLOGÍA

Para la determinación de la trayectoria superficial del fluido, la velocidad y el movimiento de la viscosidad de Eddy se emplearon objetos flotantes (50 naranjas) de tamaño y peso similar, cuyo grado de sumergencia fue de aproximadamente un 98%, con lo cual se evitó el efecto del viento sobre el objeto.

La velocidad debajo de la superficie fue determinada con drogues construidos artesanalmente en el laboratorio para medir velocidades a 25, 45 y 60 cm. (Figura 2). Se emplearon entre 5 a 9 drogues por profundidad. La calibración de la profundidad de cada drogue fue realizado en un cilindro transparente cuya profundidad del agua fue similar a la de la laguna en estudio.

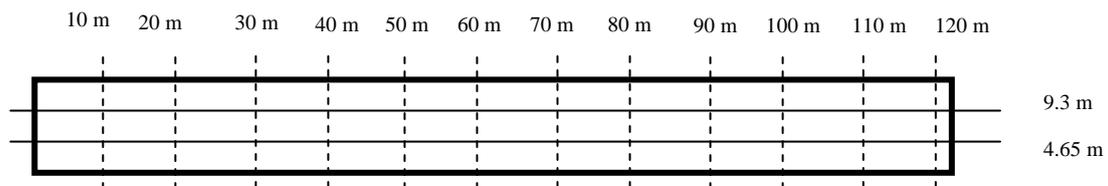


**Figura 2. Profundidad (P) de los drogues.**

Adicionalmente se efectuó un experimento simultáneo con objetos flotantes y Rodamina WT con el objetivo de registrar la trayectoria del movimiento del fluido y su velocidad con ambos instrumentos.

La Rodamina fue inyectada a la entrada con una señal impulso y registrada a la salida con un Flourimetro en línea, con una capacidad de almacenar 6000 datos y un nivel mínimo de detección de 0,02 µg/l. La velocidad fue obtenida a partir de la ecuación (1), considerando como t, el tiempo transcurrido entre la inyección del trazador y la salida del mismo. El espacio recorrido en el intervalo de tiempo fue registrado como el desplazamiento.

Las lagunas Norte, Sur y Central fueron divididas en cuadrículas imaginarias (Figura 3) con la finalidad de localizar dentro de las coordenadas los movimientos descritos por los instrumentos.



**Figura 3. Cuadrículas imaginarias empleadas para localizar el movimiento de los objetos flotantes y los drogues.**

Para determinar la velocidad se empleo la ecuación:

$$V = \frac{e}{t} \tag{1}$$

Donde:

*e* = espacio recorrido

*t* = tiempo

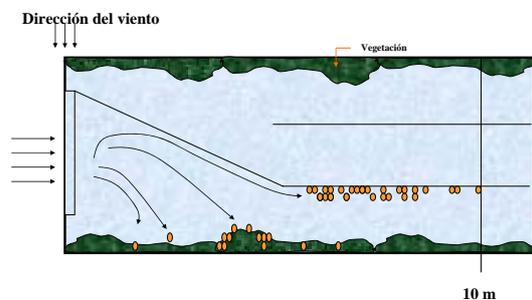
El desplazamiento de los objetos flotantes ó los drogues fueron registrados a intervalos de tiempo fijos. El experimento con los objetos flotantes fue desarrollado simultáneamente en las tres lagunas y el de los drogues fue llevado a cabo de forma independientemente. El experimento efectuado con

la Rodamina y los objetos flotantes se desarrolló simultáneamente en la laguna Sur (laguna con baffles).

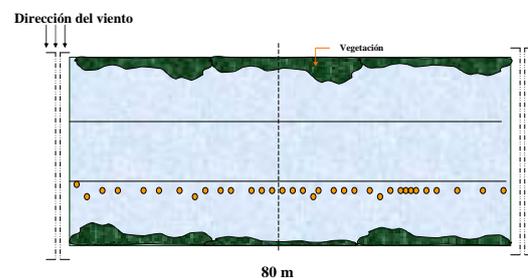
Adicionalmente se realizó una simulación empleando la Dinámica de Flujo Computacional (DFC) utilizando el programa computacional HYDRO-3D, para lo cual se emplearon los datos experimentales obtenidos en el campo, tales como caudal, velocidad superficial del fluido, velocidad y dirección del viento. Para determinar la velocidad y dirección del viento se utilizó, una estación meteorológica portátil adyacente a la laguna. La calibración del modelo se realizó utilizando objetos flotante, drogues y trazador Rodamina WT en un modelo físico a escala 1:16. La verificación del modelo HYDRO-3D se realizó con los datos obtenidos en la laguna Sur a escala real. Este modelo fue alimentado con los datos al comienzo del programa, para simular la hidrodinámica de la laguna Sur (con baffles) a partir de vectores de corriente.

## RESULTADOS

En la Figura 4 puede observarse la trayectoria de los objetos flotantes en la superficie en la laguna Sur (con baffles). Aproximadamente el 30% de los objetos flotantes se quedaron atrapados en la vegetación (espacios muertos), mientras que el resto, continuó la trayectoria con velocidad constante cerca de la pared del baffle, cuyo borde libre, es de aproximadamente 20 cm. Esta velocidad fue incrementándose a medida que las naranjas aumentaban el recorrido. Después de los 80 metros los objetos se fueron espaciando entre sí (Figura 5), continuando su trayectoria. Es bueno indicar que ninguno de las naranjas trató de sobrepasar a la otra, conservándose un desplazamiento ordenado tal como ocurre por definición en el flujo pistón, con una velocidad promedio de 1,66 m/mi. En el cruce de los baffles, las naranjas fueron fuertemente afectadas por la dirección y velocidad del viento, desplazándose las naranjas hacia la vegetación, donde quedaron atrapadas. Esto indudablemente indica que en el punto de cruce de los baffles, se generan cambios de velocidades (cortos circuitos) mientras que el borde libre del baffle actúa como un corta viento.



**Figura 4. Objetos flotantes en la superficie en la laguna Sur (inicio del experimento)**

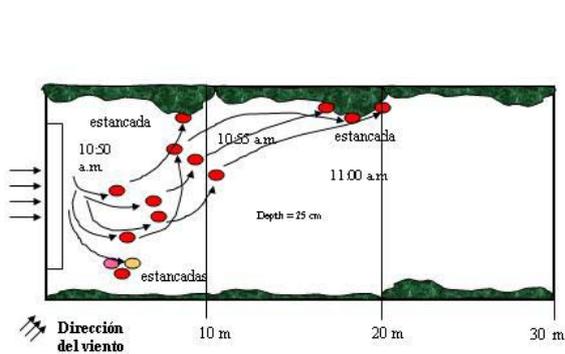


**Figura 5. Objetos flotantes en la superficie en la laguna Sur (80 m de recorrido).**

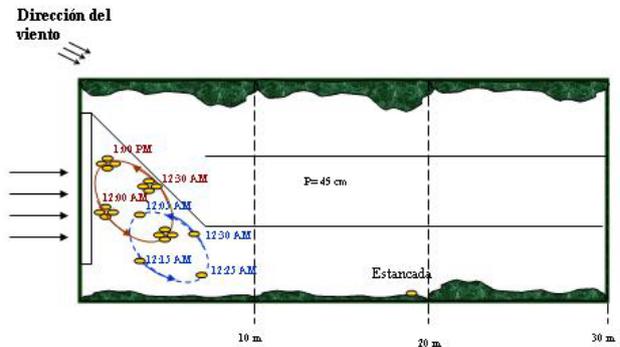
En el caso del experimento con los objetos flotantes en la laguna sin baffles, la superficie del agua se encontraba expuesta a los efectos del viento. Esta fuerza movilizó rápidamente las naranjas hacia la vegetación, por lo cual, no se registró la velocidad superficial del fluido. Sin embargo el experimento demostró el efecto que ejerce el viento sobre la superficie del fluido, generándose fuertes cortos circuitos. Por otra parte se observó en ambos experimentos que la vegetación alrededor de la laguna contribuye a los espacios muertos.

El estudio con los drogues fue realizado en la laguna Norte (sin baffles) y en la laguna Sur (con baffles). En ambos casos se observó muy poco movimiento de los drogues a la profundidad de 60 cm. Esto corrobora que la velocidad disminuye con la profundidad. En la entrada del primer baffle de laguna Sur se observaron por espacio de 2 horas, movimientos circulares del grupo de drogues a la profundidad  $P = 45$  cm., asociados con la viscosidad de Eddy, (Figura 7), mientras que el resto ( $P =$

25 cm.) continuó su trayectoria a lo largo del primer baffle, observándose que se movilizaban rápidamente con una velocidad promedio de 0.88 m/min. En el caso de la laguna Norte (Fig. 6), fue observado un desplazamiento de los drogues a 25 y 45 cm. influenciado por la dirección del vientos. Estos quedaron atrapados en la vegetación y en algunos lodos flotantes.



**Fig. 6 Trayectoria de los drogues (P = 25 cm)**



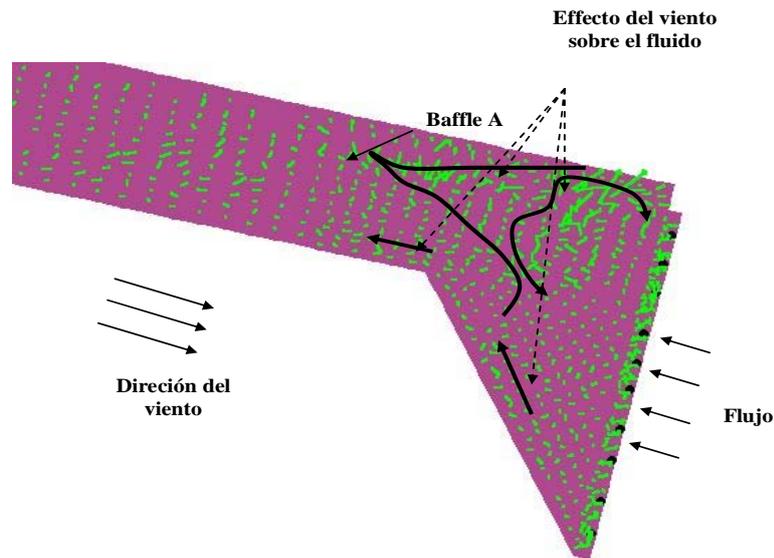
**Fig. 7 Trayectoria de los drogues (P = 45 cm)**

En el caso del experimento simultaneo realizado con objeto flotante y Rodamina WT la dirección del viento fue Oeste con una velocidad de 0.65 m/s. En esta oportunidad fue observado que los drogues siguieron la misma trayectoria descritas por la Rodamina. Previamente se habían realizados estudio con trazadores en la laguna Norte y Sur, bajo las mismas condiciones de flujo (4.5 l/s), determinándose que en la laguna Norte, la Rodamina inició su salida a las 2,5 horas después de su inyección (flujo jet), mientras que en la laguna Sur la salida de la Rodamina ocurrió a las 17.5 horas después de su inyección (Bracho *et. al.* 2006). Esto confirma que los baffles reducen los cortos circuitos. Es importante mencionar que en todos los experimento se observó que cerca de la vegetación existen zonas muertas.



**Figura 8. Experimento simultaneo con objetos flotantes (naranjas) y Rodamina WT, en la laguna Sur (con baffles)**

Finalmente puede citarse que las evidencias experimentales en el campo fueron reproducidas con mucha similitud empleando la Dinámica de Flujo Computacional (DFC) utilizando el programa computacional HYDRO-3D. En la Figura 9, puede observarse que al inicio de la pared del baffle, donde está ubicada la primera flecha, los vectores de corriente se encuentran muy cerca uno del otro, mientras que a la mitad del recorrido del baffle, los vectores de corriente aumentan la distancia entre sí. Por otra parte se observan altas velocidades del flujo al inicio de la margen derecha del baffle, donde se encuentra la vegetación.



**Figura 9. DFC simulación hidrodinámica con el modelo HYDRO-3D para el primer baffle de la laguna Sur.**

## CONCLUSIÓN

Los cortos circuitos y los espacios muertos son reducidos en la laguna con baffles, creándose cambios de velocidades entre el cruce de un baffles y otro. Estos resultados experimentales fueron similares a los obtenidos con el modelo matemático HYDRO 3-D. La máxima velocidad del fluido fue registrada en la superficie (flujo jet) 1,66 m/min y fue descendiendo a 0.88 m/min a la profundidad de 25 cm, hasta llegar cerca de cero a la profundidad de 60 cm. La vegetación alrededor de la laguna produce zonas de muy bajas velocidades ó zonas muertas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Bracho .N; Aldana .G; Lloyd .B. Optimisation of hydraulic performance to maximise fecal coliform removal in maturation ponds. *Water Research*. Vol.40. No. 2. pp 1677-1685. 2006
2. Bracho N.R. Optimisation of faecal coliform removal performance in three tertiary maturation ponds. PhD thesis. University of Surrey-England. 2003
3. Camp, T. Sedimentation and the design of settling tanks. *ASCE*, Vol. 111, pp. 895-958. 1946
4. Horan, N.J. Biological wastewater treatment systems. John Wiley & Sons Ltd. Chichester England. 1990
5. Kilani, J. S. and Ogunrombi, J.A.. Effects of baffles on the performance of model waste stabilization ponds. *Water Research*. Vol. 18. No. 8, pp. 941-944. 1984
6. Lloyd, B., Vorkas, C. and Guganesharajah, K.. Reducing hydraulic short-circuiting in maturation ponds to maximize pathogen removal using channels and wind breaks. *5<sup>th</sup> International IWA specialist conference on Waste stabilisation ponds. New Zealand*. Vol. 2, pp. 445-458. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 48, (2), pp. 153-162. 2002.
7. Muttamara, S. and Puetpaiboon, U. Roles of baffles in waste stabilization ponds. *Wat. Sci. Tech.* Vol 19, pp. 141-144. 1997.

8. Sáenz-Forero, R. Predicción de la calidad del efluente en lagunas de estabilización. OPS (Washington, DC US) REPINDEX-Perú. Lagunas de estabilización 2ª. Edición No.47. Programa de cooperación OPS/GTZ/PAHO/GTZ. 1992.
9. Thackston, E., Shields, D. and Schroeder, P. Residence time distributions of shallow basins. *J. Env. Eng.* Vol. 113, No. 6, pp. 1319-1332. 1987.
10. Vorkas, C. Bacteriophage tracer in the identification of pathogen deficiencies in waste stabilization ponds. PHD thesis. University of Surrey-England. 1999.