

---

# *Evaluación estocástica de lagunas de estabilización. Aplicación a lagunas facultativas primarias en la provincia de Villa Clara, Cuba.*

Rodolfo Sánchez Morales<sup>1\*</sup>, Elena Rosa Domínguez<sup>1</sup> y Maritza Moreno Mata<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Estudios de Química Aplicada, Universidad Central de la Villas, Santa Clara, Cuba. <sup>2</sup>Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos, Villa Clara, Cuba.

---

*Avaluació estocàstica de llacunes d'estabilització. Aplicació a llacunes facultatives primàries a la província de Villa Clara, Cuba.*  
*Stochastic evaluation of stabilization ponds. Application to primary facultative ponds in the province of Villa Clara, Cuba.*

*Recibido: 17 de septiembre de 2009; aceptado: 17 de junio de 2010*

## RESUMEN

La evaluación estocástica de lagunas de estabilización (LEs) permite el estudio de su fiabilidad, generándose información de utilidad para su diseño, la evaluación de su desempeño y la elaboración de normas de vertimiento. En este trabajo, se desarrolló un procedimiento para la evaluación estocástica del funcionamiento de LEs en un territorio, a partir de un conjunto de datos de caracterizaciones de residuales existentes. El procedimiento combina la generación de datos aleatorios para un número determinado de días de operación, simulados mediante el empleo de las funciones de densidad de probabilidades (FDPs) de cada componente analizado, con la aplicación, a la serie de datos simulados, de la metodología desarrollada por Niku et al. (1979). El procedimiento se aplicó a un conjunto de 36 caracterizaciones de lagunas facultativas primarias (LFPs) en la provincia de Villa Clara, Cuba. Los resultados arrojaron bajos valores de la fiabilidad para el cumplimiento de la norma cubana de vertimiento. Las concentraciones medias reales en el efluente, en general, fueron inferiores a las concentraciones de proyecto requeridas, indicando que el efluente real no logra cumplir con los límites establecidos en la norma cubana de vertimiento, para un nivel de confiabilidad del 95 %. Se discuten las causas de este comportamiento.

**Palabras claves:** aguas residuales urbanas, lagunas de estabilización, lagunas facultativas primarias, evaluación estocástica, fiabilidad, calidad del efluente.

## SUMMARY

The stochastic evaluation of waste stabilisation ponds (WSP) allows the study of their reliability. This study generates useful information for designers, for WSP performance evaluation and for the elaboration of disposal standards. In this paper, a procedure for the stochastic evaluation of the performance of waste stabilisation ponds in a territory is developed. The procedure combines random data generation for a given number of days of operation that are simulated using the probability density functions (PDFs) of each polluting component under study, with the application of a methodology developed

by Niku, et al. (1979) to the set of data simulated. The procedure was applied to a set of 36 characterizations of primary facultative ponds (PFPs) in Villa Clara province, Cuba. The results showed low reliability values in order to fulfil with Cuban disposal standard. In general, the real effluent concentrations were lower to the required project concentrations. It showed that real effluent did not fulfil with limits established in Cuban disposal standard, to a reliability level of 95 %. The causes of this behaviour are discussed.

**Key Words:** urban wastewater, waste stabilization ponds, primary facultative ponds, stochastic evaluation, reliability, effluent quality.

## RESUM

L'avaluació estocàstica de llacunes d'estabilització (LEs) permet l'estudi de la seva fiabilitat, generant-se informació d'utilitat per al seu disseny, l'avaluació del seu funcionament i l'elaboració de normes d'abocament. En aquest treball, es desenvolupa un procediment per a l'avaluació estocàstica del funcionament de LEs en un territori, a partir d'un conjunt de dades de caracteritzacions dels residus existents. El procediment combina la generació de dades aleatòries per a un número determinat de dies d'operació, simulades mitjançant l'ús de les funcions de densitat de probabilitats (FDPs) de cada component analitzat, amb l'aplicació a la sèrie de dades simulades de la metodologia desenvolupada per Niku et al. (1979). El procediment s'aplica a un conjunt de 36 caracteritzacions de llacunes facultatives primàries (LFPs) en la província de Villa Clara, Cuba. Els resultats mostren valors baixos de fiabilitat per al compliment de la norma cubana d'abocaments. Les concentracions mitjanes reals en l'efluent són en general inferiors a les concentracions de projecte requerides, indicant que l'efluent real no aconsegueix complir amb els límits establerts en la norma cubana d'abocaments, per a un nivell de confiança del 95 %. Es discuteixen les causes d'aquest comportament.

**Mots clau:** aigües residuals urbanes, llacunes d'estabilització, llacunes facultatives primàries, avaluació estocàstica, fiabilitat, qualitat de l'efluent.

\*Autor para la correspondencia: rodolfoism@uclv.edu.cu

---

## INTRODUCCIÓN

La importancia de la evaluación probabilística o estocásticas de lagunas de estabilización facultativas primarias reside en la falta de estudios dirigidos a la evaluación de la fiabilidad de su desempeño y en la importancia que la información generada tiene para proyectistas y operadores de estas unidades de tratamiento, ampliamente utilizadas en Cuba y otros países de clima tropical y subtropical. Esta información, también, puede ser de utilidad para la elaboración de normas de vertimiento, razonables y técnicamente alcanzables por parte de las agencias regulatorias ambientales (Olivera y Von Sperling, 2008).

La evaluación de lagunas de estabilización se realiza tradicionalmente de forma determinística con la aplicación de diversas variantes de factores de seguridad (Doby, 2004). La eficiencia de remoción de los principales parámetros que caracterizan el agua residual y la comparación de los valores medios de las concentraciones en el efluente, con los valores máximos permitidos en la legislación ambiental vigente o los deseados por diseño, son los principales criterios de evaluación tradicionalmente utilizados. Alternativamente, un tratamiento estocástico (aleatorio) de la composición de las aguas residuales, afluente y efluente a las lagunas de estabilización, permite introducir el concepto de fiabilidad, considerado como un criterio más confiable de la calidad del tratamiento de aguas residuales (Olivera y Von Sperling, 2008; Doby, 2004; Niku, 1979; Benedetti, 2006; Von Sperling, 1996); permitiendo además, la evaluación de las FDPs de las eficiencias de remoción de los componentes analizados para un período de operación determinado.

Para un territorio dado, la recopilación del conjunto de evaluaciones realizadas a las aguas residuales afluentes y efluentes de lagunas de estabilización y su correspondiente procesamiento estadístico permiten establecer el comportamiento global del conjunto de lagunas de estabilización con características similares. Las funciones de densidad de probabilidades (FDPs) de mejor ajuste, para los principales componentes que describen las características de estas aguas residuales, permiten caracterizar el comportamiento de cada componente evaluado en el agua residual; permitiendo, también, la generación de series de datos aleatoriamente distribuidos de las concentraciones, mediante la generación de números pseudo-aleatorios, alternativa disponibles en la mayoría de los programas que manejan bases de datos ó en programas de simulación. Bajo este escenario, es posible una evaluación estocástica o probabilística del funcionamiento de las lagunas de estabilización, en un territorio dado.

Los datos de las concentraciones o los valores de sus correspondientes logaritmos naturales, para el caso de distribuciones lognormales, ambos, se ajustan a la distribución de probabilidades normal; siendo ambos casos, muy frecuentemente reportado en la literatura (Doby, 2004; Von Sperling, 1999; Huo, 2005; Zimmo, 2003; Olivera y Von Sperling, 2007). Sin embargo, la distribución Gaussiana tiene la dificultad, por un lado, que permite valores negativos, los que no tienen sentido para el caso de concentraciones, parámetros estequiométricos y constantes cinéticas; mientras que además, puede producir valores positivos extremos, muy altos o muy bajos, verdaderamente ilógicos en la realidad. El

uso de distribuciones normales truncadas es una forma de solucionar esta dificultad (Doby, 2004; Huo, 2005).

Las concentraciones obtenidas de las caracterizaciones para los componentes principales de las aguas residuales se consideran datos bajo variabilidad, por presentar fuentes intrínsecas de heterogeneidad y porque su comportamiento se obtiene de datos reales; mientras que, los datos simulados de estas concentraciones se consideran bajo incertidumbre de escenario, al asumirse la permanencia en el tiempo de las condiciones que dieron origen a los datos reales empleados (Niku et al., 1979; Doby, 2004; Huo, 2005).

Un procedimiento de evaluación estocástica fue desarrollado por (Niku et al., 1979) y aplicado por (Olivera y Von Sperling, 2007). Este procedimiento permite determinar los Coeficientes de Fiabilidad (CDFs) y los valores de las concentraciones medias de proyecto ( $X_c$ ) requeridas para que el efluente cumpla, para un nivel de confiabilidad dado, con los límites máximos de concentración establecidos en la legislación.

En Cuba, en las principales ciudades donde existe alcantarillado, se utilizan predominantemente lagunas facultativas primarias para tratar el agua residual colectada (INRH, 2008). Al igual que en muchos otros países (Benedetti, 2006; Benedetti et al., 2008), los efluentes de las lagunas de facultativas primarias, que tratan residuales urbanos, son vertidos a cuerpos de agua receptores, siendo un componente crucial en el manejo de cuencas hidrográficas, por su significativa contribución de cargas contaminantes.

Los costos del monitoreo, que incluyen los trabajos de muestreo y los correspondientes ensayos de laboratorio, han limitado la evaluación representativa del comportamiento del conjunto de lagunas en explotación en el país, durante al menos los últimos 15 años.

En el presente trabajo se desarrolla un procedimiento para la evaluación estocástica del funcionamiento de un conjunto de lagunas de estabilización, ubicadas en un mismo territorio y con características comunes, a partir de un conjunto de datos reales. Se aplica el procedimiento en la evaluación del comportamiento global de más de 34 lagunas facultativas primarias en la provincia de Villa Clara, Cuba.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la evaluación del funcionamiento de lagunas facultativas primarias, a partir de un conjunto de datos reales, se realizaron los siguientes pasos:

Recopilación de los datos de 36 caracterizaciones de lagunas facultativas primarias realizadas por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos en la provincia de Villa Clara, en el período 1999-2009;

Procesamiento estadístico de datos recopilados, consistente en:

Análisis descriptivo;

Identificación y eliminación de valores atípicos;

Determinación y evaluación de los valores de la curtosis y la asimetría de los datos;

Pruebas de normalidad mediante el estadístico W de Shapiro Wilk;

Pruebas de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov;

Comparación de distribuciones alternativas;

Gráficas de probabilidad normal y lognormal;

Determinándose la función de densidades de probabilidades (FDPs) de mejor ajuste y sus parámetros representativos;

Determinación de valores de los percentiles del 1 y 99 %. Elaboración de un modelo de generación de datos simulados de las composiciones de entrada y salida, a partir de las funciones de densidad de probabilidades (FDP) de mejor ajuste. Este programa, elaborado en Stella 9.1, calcula las eficiencias de remoción de los contaminantes estudiados y la fiabilidad para el cumplimiento de los límites de vertimiento exigidos. Este procedimiento incluye la eliminación (truncado) de datos generados con valores superiores al percentil del 99 % e inferiores al percentil del 1 %.

Los componentes DQO, DBO<sub>5</sub>, NT, PT, SST y CF fueron estudiados.

El procedimiento fue implementado con el apoyo combinado de los programas STELLA 9.1 (generación de datos simulados), MICROSOFT EXCEL (almacenamiento y procesamiento primario de datos generados) y STATGRAPHICS CENTURION XV (procesamiento estadístico).

Además, se determinaron los coeficientes de fiabilidad (CDFs) y las concentraciones de proyecto (X<sub>g</sub>) necesarias para que el efluente cumpla con los valores límites en la norma cubana de vertimiento (NC, 1999), con un nivel de confiabilidad del 95 %. Se calcularon las razones entre las concentraciones de proyecto y las reales para evaluar el desempeño de las lagunas bajo estudio (Niku et al., 1979; Olivera y Von Sperling, 2007).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las FDPs de las series de 1000 datos simulados para los componentes bajo estudio, tanto del agua residual cruda afluente como del agua residual efluente de las lagunas facultativas primarias en la provincia de Villa Clara, fueron comparados con las correspondientes FDPs de los datos recopilados. En todos los casos, no se pudo rechazar la hipótesis para la diferencia entre las medias  $\mu_1$  y  $\mu_2$  de dos distribuciones normales con varianzas iguales, lo que confirma la validez del procedimiento empleado para la generación de datos simulados (Tablas 1 y 2).

**Tabla 1.** Comparación de los datos de entrada (afluente) simulados con los reales

Componente	Tipo de Distribución	Datos Simulados		Datos Reales		Valor P <sup>1</sup>
		Media	Desviación Estándar	Media	Desviación Estándar	
DQO	Normal	409,6	105	403,7	132,5	0,756
DBO <sub>5</sub>	Normal	213,1	55,4	215,2	68,6	0,834
NT	Normal	20,5	5,7	20,6	6,9	0,923
PT <sup>2</sup>	Lognormal	1,6	0,6	1,5	0,742	0,357
SST <sup>2</sup>	Lognormal	5,2	0,2	5,34	0,372	0,139
CF <sup>2,3</sup>	Lognormal	16,1	2,9	17,72	6,21	0,068

<sup>1</sup> Valor P de la prueba de hipótesis para la diferencia entre las medias  $\mu_1$  y  $\mu_2$  de dos distribuciones normales con varianzas iguales.

<sup>2</sup> Se muestran los valores de los parámetros de la distribución lognormal.

<sup>3</sup> El contenido de coliformes fecales se expresa en NMP·(100mL)<sup>-1</sup>, el resto de componentes en mg·L<sup>-1</sup>.

**Tabla 2.** Comparación de los datos de salida (efluente) simulados con los reales

Componente	Tipo de Distribución	Datos Simulados		Datos Reales		Valor P <sup>1</sup>
		Media	Desviación Estándar	Media	Desviación Estándar	
DQO	Normal	148,3	55,1	148,4	67,9	0,992
DBO <sub>5</sub>	Normal	74,8	29	73,3	36,6	0,849
NT	Normal	11,5	4,9	11,6	5,3	0,911
PT <sup>2</sup>	Lognormal	1,1	0,5	1,0	0,4	0,2628
SST <sup>2</sup>	Lognormal	4,6	0,2	4,6	0,24	10,000
CF <sup>2,3</sup>	Lognormal	5,5	1,9	5,5	2,20	10,000

<sup>1</sup> Valor P para la prueba de hipótesis para la diferencia entre las medias  $\mu_1$  y  $\mu_2$  de dos distribuciones normales con varianzas iguales.

<sup>2</sup> Se muestran los valores de los parámetros de la distribución lognormal.

<sup>3</sup> El contenido de coliformes fecales se expresa en NMP·(100mL)<sup>-1</sup>, el resto de componentes en mg·L<sup>-1</sup>.

Como referencia para determinar la fiabilidad del proceso de tratamiento fueron tomados los límites máximos permisibles de DQO, DBO<sub>5</sub>, NT, PT y CF en el efluente de la norma cubana de vertimiento (NC, 1999), para SST se asumieron tres valores límites diferentes dentro de un rango lógico en el efluente basado en las normas de la Unión Europea y Chilena (Communities, 1991; Presidencia, 2001) (Tabla 3).

**Tabla 3.** Valores límites de referencia para la determinación de la fiabilidad del proceso de tratamiento para cada constituyente evaluado

Componente	Vertimiento a Ríos y Embalses <sup>1</sup>			Vertimiento a Suelos y Zonas No Saturadas <sup>1</sup>		
	A	B	C	A	B	C
DQO	70	90	120	90	160	250
DBO <sub>5</sub>	30	40	60	40	60	100
NT	5	10	20	5	10	15
PT <sup>2</sup>	2 (0,7)	4 (1,4)	10 (2,3)	5 (1,6)	5 (1,6)	10 (2,3)
SST <sup>2,3</sup>	100 (4,6)	150 (5,0)	200 (5,3)	-	-	-
CF <sup>2,4</sup>	200 (5,3)	1000 (6,9)	-	20 (3,0)	50 (3,9)	-

<sup>1</sup> A, B y C corresponden a diferentes Clases de cuerpos receptores según (NC, 1999).

<sup>2</sup> Componentes ajustados mediante una distribución lognormal; entre paréntesis se muestran los valores del logaritmo neperiano de los límites máximos permisibles (NC, 1999).

<sup>3</sup> Valores límites no referidos en la norma cubana de vertimiento. (NC, 1999). Se asumieron valores lógicos en base a los establecidos en (Communities, 1991; Presidencia, 2001).

<sup>4</sup> El contenido de coliformes fecales se expresa en NMP·(100 mL)<sup>-1</sup>, el resto de componentes en mg·L<sup>-1</sup>.

La evaluación estocástica de las lagunas facultativas primarias indica bajos valores de las fiabilidades del tratamiento con respecto a los diferentes valores límites exigidos en la referida norma cubana de vertimiento.

Además, las lagunas facultativas primarias bajo estudio muestran eficiencias medias de remoción de materia orgánica y nutrientes ligeramente inferiores a los reconocidos en la literatura especializada (Abis y Mara, 2005;Cladir Terezinha, 2002;Mara, 2008;Rojas, 2002;Von Sperling, 2005) (Tabla 4).

1A, B y C corresponden a diferentes Clases de cuerpos receptores según (NC, 1999);

2Componentes ajustados mediante una distribución log-normal; entre paréntesis se muestran los valores del logaritmo neperiano de los límites máximos permisibles (NC, 1999);

3Valores límites no referidos en la norma cubana de vertimiento.(NC, 1999). Se asumieron valores lógicos en base a los establecidos en (Communities, 1991;Presidencia, 2001);

4El contenido de coliformes fecales se expresa en NMP·(100 mL)<sup>-1</sup>, el resto de componentes en mg·L<sup>-1</sup>.

Los resultados de la aplicación a las series de datos simulados del procedimiento desarrollado por (Niku et al.,1979) mostraron elevada similitud con los obtenidos mediante la evaluación de la fiabilidad determinada por el programa de simulación desarrollado en Stella 9.1, lo cual puede apreciarse comparando los resultados en las Tablas 4 y 6.

La razón entre las concentraciones de proyecto del efluente y las correspondientes concentraciones reales indican un desempeño insuficiente, con valores de la razón menores que 1, para la mayoría de los constituyentes con respecto a las diferentes Clases de cuerpos receptores (Tabla 6).

Las principales causas que originan el insuficiente funcionamiento de las lagunas facultativas primarias bajo estudio, son:

Las lagunas facultativas primarias existentes fueron diseñadas de forma tradicional, determinística, con la aplicación de factores de seguridad y sin tomar en cuenta la variabilidad en la composición del agua residual; La norma cubana de vertimiento (NC, 1999) fue elaborada y puesta en vigencia con posterioridad al diseño y construcción de la gran mayoría de las lagunas existentes;

Las lagunas facultativas primarias existentes fueron diseñadas hace más de 20 años, bajo un escenario diferente al actual, difícilmente predecible en aquella fecha (Dominguez y Gujer, 2006);

Otros aspectos de operación y mantenimiento, por lo general presentes (Rojas, 2002;Peña y Mara, 2004;Shilton y Harrison, 2003);

**Tabla 4.** Valores medios y desviaciones estándares para cada componente evaluado y las fiabilidades calculadas

Componente	Porcentaje de Remoción		Fiabilidad para el Vertimiento a Ríos y Embalses <sup>1</sup>			Fiabilidad para el Vertimiento a Suelos y Zonas No Saturadas <sup>1</sup>		
	Media	D. Est.	A	B	C	A	B	C
	----- (mg.L <sup>-1</sup> ) -----		----- (%) -----			----- (%) -----		
DQO	64,2	4,5	9,5	16,5	31,4	16,5	56,6	<b>97,3</b>
DBO <sub>5</sub>	67,2	5,8	7,3	13,8	31,5	13,8	31,5	79,5
NT	49,6	10,5	9,7	39,7	<b>94,9</b>	9,7	39,7	75,8
PT	38,1	7,5	25,1	72	<b>97,8</b>	83,7	83,7	<b>97,8</b>
SST <sup>2</sup>	47	1	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	-	-	-
CF <sup>3</sup>	99,997	3	44,5	76,1	76,1	10,6	21	21

<sup>1</sup> A, B y C corresponden a diferentes Clases de cuerpos receptores.

<sup>2</sup> Límites no referidos en la norma cubana de vertimiento. NC 27:99. Se asumieron valores lógicos.

<sup>3</sup> El contenido de coliformes fecales se expresa en NMP·(100 mL)<sup>-1</sup>, el resto de componentes en mg·L<sup>-1</sup>.

- No se establece un valor límite fijo en la norma cubana de vertimiento, NC 27:99.

**Tabla 5.** Coeficientes de variación (CV), coeficientes de fiabilidad (CDF) y concentraciones medias de proyecto para el efluente y un nivel de confiabilidad del 95 %

Componente	CV	CDC.	Concentraciones de Proyecto para el Vertimiento a Ríos y Embalses <sup>1</sup>			Concentraciones de Proyecto para el Vertimiento a Suelos y Zonas No Saturadas <sup>1</sup>		
			A	B	C	A	B	C
			----- mg·L <sup>-1</sup> -----					
DQO	0,37	0,59	41	53	71	53	94	148
DBO <sub>5</sub>	0,39	0,58	17	23	35	23	35	58
NT	0,43	0,56	2,8	5,6	11,1	2,8	5,6	8,3
PT	0,62	0,46	2,3	4,6	9,2	2,3	4,6	6,9
SST	0,2	0,73	37	73	110	147	-	-
CF <sup>2</sup>	2,28	0,27	54	270	-	5	14	-

<sup>1</sup> A, B y C corresponden a diferentes Clases de cuerpos receptores (NC, 1999).

<sup>2</sup> El contenido de coliformes fecales se expresa en NMP·(100 mL)<sup>-1</sup>, el resto de componentes en mg·L<sup>-1</sup>.

**Tabla 6.** Razón de las concentraciones de proyecto del efluente entre las correspondientes concentraciones reales

Componente	Vertimiento a Ríos y Embalses <sup>1</sup>			Vertimiento a Suelos y Zonas No Saturadas <sup>1</sup>		
	A	B	C	A	B	C
	----- mg·L <sup>-1</sup> -----					
DQO	0,3	0,4	0,5	0,4	0,6	<b>1</b>
DBO <sub>5</sub>	0,2	0,3	0,5	0,3	0,5	0,8
NT	0,2	0,5	<b>1</b>	0,2	0,5	0,7
PT	0,7	<b>1,3</b>	<b>2,7</b>	0,7	<b>1,3</b>	<b>2</b>
SST	0,7	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	<b>1,4</b>	-	-
CF	0,04	0,22	-	0,004	0,01	-

<sup>1</sup> A, B y C corresponden a diferentes Clases de cuerpos receptores (NC, 1999).

## CONCLUSIONES

Se desarrolló e implementó un procedimiento para la evaluación estocástica del desempeño de un conjunto de lagunas de estabilización similares a partir de datos reales de caracterizaciones.

La aplicación del procedimiento desarrollado por (Niku et al., 1979) a las series de datos simulados permitió, además de corroborar los resultados del procedimiento desarrollado, la introducción de las concentraciones de proyecto necesarias para cumplimentar con los límites en la norma cubana de vertimiento (NC, 1999). Además, la comparación de las concentraciones de proyecto obtenidas con la aplicación del procedimiento de Niku (1979) con las observadas permitió determinar el bajo desempeño de las LFPs estudiadas con respecto los límites establecidos, para diferentes Clases de cuerpos receptores, en la referida norma cubana de vertimiento. Dado que la consideración de la variabilidad de la composición del efluente tiene implicaciones económicas, el tratamiento probabilístico de los datos puede ser utilizado para optimizar la relación de compromiso costo-fiablez de lagunas de estabilización.

## BIBLIOGRAFÍA

- Niku S., et al. (1979). J. Water Pollut. Control Assoc. 51: 2841-2857
- Olivera S. y Von Sperling M. (2008). Water Research 42: 1182-1194
- Doby T. A. (2004). Optimization of wastewater treatment design under uncertainty and variability, Thesis (Ph.D.)--North Carolina State University. Includes vita. Includes bibliographical references (p. 126-149).
- Niku (1979). J. Water Pollut. Control Assoc. 51: 2841-2857
- Benedetti L. (2006). Probabilistic design and upgrade of wastewater treatment plants in the EU Water Framework Directive context, Ghent University, Belgium
- Von Sperling M. (1996). Water Science and Technology 37: 41-47
- Von Sperling M. (1999). Water Science and Technology 37: 41-47
- Huo J. (2005). Application of statistical methods and process models for the design and analysis of activated sludge wastewater treatment, University of Tennessee
- Zimmo O. (2003). Nitrogen Transformations and Removal Mechanisms in Algal and Duckweed Waste Stabilisation Ponds, International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering
- Olivera S. M. A. C. y Von Sperling M. (2007). Water Research 42: 1182-1194
- Huo J. (2005). Application of statistical methods and process models for the design and analysis of activated sludge wastewater treatment
- INRH (2008). Instituto Nacional de Recursos Hídricos en Villa Clara, Santa Clara p 1-8
- Benedetti L., et al. (2008). Environmental Modelling and Software 23: 1082-1091
- NC (1999). Oficina Nacional de Normalización, Cuba. p 1-14
- Communities C. o. t. E. (1991). vol L135. Official Journal of the European Communities L135 p 40-52
- Presidencia S. G. d. I. (2001). Decreto Supremo, Chile, vol 36.906. Secretaría General de la Presidencia, Chile p 1-15
- Abis K. L. y Mara D. D. (2005). Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research 51: 61-67
- Cladir Terezinha Z. (2002). Modelagem Matemática de Nitrogênio E Fósforo em Lagoas Facultativas E de Aguapés Para Tratamento de Dejetos de Suínos
- Mara D. D. (2008). Efficient Management of Wastewater p 113-123
- Rojas R. (2002). Conferencia Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales p 1-19
- Von Sperling M. (2005). Water research 39: 5261-5273
- Dominguez D. y Gujer W. (2006). Water Research 40: 1389-1396
- Peña M. y Mara D. D. (2004). IRC TOP (Thematic Overview Paper) 1-43
- Shilton A. y Harrison J. (2003). Palmerston North: Institute of Technology and Engineering. Massey University. : 1-64