

Diseño de reactores biológicos para tratamiento de aguas de canales de riego

Mayorga-Llerena, Eduardo¹, Carrera-Villacrés, David².

¹ Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Químicas. Quito, Ecuador.
emayorga@uce.edu.ec

² Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Dpto. de Ciencias de la Tierra y la Construcción,
Sangolquí, Ecuador.
dvcarrera@espe.edu.ec.

Resumen - Las aguas del Cutuchi que aportan al canal de riego Latacunga-Salcedo-Ambato (LSA), escurren en el río 1 000 Millones de m³ anuales. Debido a una incapacidad de gestión del recurso hídrico se remedian los efectos que causan los contaminantes biológicos. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar la contaminación microbiológica e implementar tratamientos de filtración anaeróbico-aeróbico, se diseñó dos reactores que contienen dos partes, cada una de 1 m³, la primera contiene piedra pómez (A) cubriendo 1/2 y 3/4 del reactor (T50 y T75), el segundo contiene cascarilla de arroz (B) en 2 y 4 filas de bandejas de 15 cm de altura (T2 y T4), durante los períodos enero-marzo/Julio-agosto del 2013; el lote de estudio se ubicó en las coordenadas: UTM (WGS84) Zona 17S X: 766806; Y: 9895000. Se tomaron 16 muestras por triplicado, cada 8 días. Se analizaron DQO, DBO, *E. coli* y coliformes totales como NMP. La remoción de DQO es del 16% y 29,2% de materia orgánica (MO), en los sistemas T50/4-T75/2, y en T50/2-T75/4 una remoción de 43,6 y 53,7% de MO. Se valoró estadísticamente F en el DQO, los que no son significantes para p= 0,05 y 0,01 en las dos fases para las variables A y B por separado; el análisis AxB resultan significantes. El conteo bacteriano está en 10⁶ 100 ml⁻¹ como NMP, los sistemas T50/4-T75/2, y T50/2-T75/4 generaron una remoción bacteriana de una unidad logarítmica. Los sistemas propuestos son una opción para la remoción de MO pero resultaron insuficientes para la carga bacteriana.

Palabras Clave: DBO, DQO, COLIFORMES, TRATAMIENTO AEROBICOS ANAEROBICOS.

Abstract - Cutuchi waters that provide irrigation canal Latacunga-Salcedo-Ambato (LSA), drained into the river 1000 million m³ per year. Due to the inability to management of water resources is causing the effects not remedy biological contaminants. The aim of this study was to characterize the microbiological contamination and implement anaerobic-aerobic treatment filtration, two reactors containing two parts design, each of 1 m³; the first contains pumice (A) covering 1/2 and 3/4 the reactor (T50 y T75). The second contains rice bran (B) at 2 and 4 rows of trays 15 cm (T2 y T4), during the period from January to March / July-August 2013, studio lot was located at coordinates: UTM WGS84) Zone 17S X: 766806; Y: 9895000, 16 triplicate samples, were taken every 8 days. It was analyzed COD, BOD, *E. coli* and total *coliforms* as NMP. The COD removal is 16% and 29.2% of organic matter (OM) in the T50/4-T 75/2 systems, and T50/2-T75/4 removal of 43.6% and 53.7% of MO. It was assessed statistically F in the COD, which are not significant at p = 0.05 and 0.01 in the two phases for the variables A and B separately; the analysis AxB are significant. The bacterial count is at 10⁶ x 100 ml⁻¹ as NMP, the T50/4-T7 /2 and T50/2-T75/4 systems generated a bacterial removal of one log. The proposed systems are an option for the removal of MO but were insufficient to bacterial load.

Keywords: BOD, COD, COLIFORMS, ANAEROBIC AEROBICS TREATMENT.

INTRODUCCIÓN

El 80% del agua limpia se convierte en agua residual, su uso en el agro determina el deterioro de las condiciones de vida de la

población rural [1], la cuenca del Cutuchi provee agua para regadío al canal de riego Latacunga Salcedo Ambato (LSA), que cubre una extensión aproximada de 24 000 ha [2]. Debido a la falta de sistemas de

depuración de aguas residuales (AR), más del 95 % de las AR se vierten directamente a los ríos sin ningún tratamiento previo. La población de Cotopaxi es 349540 habitantes según Ecuador [3], el 70 % se localiza en la cuenca del Cutuchi, el nivel de contaminación microbiológica es crítico que resulta inminente la necesidad de implementar tratamientos biológicos en los lote de regadío.

El Agua Residual y su Uso:

Una costumbre de las poblaciones sin una planificación adecuada, es verter de manera directa las aguas residuales domésticas en los cuerpos de aguas superficiales [4]; el uso de las aguas residuales constituye foco de contaminación del usuario ya sea de manera directa ó indirecta; con el crecimiento poblacional en los centros urbanos se generó un mayor volumen de aguas residuales por lo que se generalizó su uso en el agro.

Problemática de salud y eficacia de las aguas de regadío: El regadío de zonas cultivables con agua residual doméstica constituye un riesgo para la salud humana por la presencia de patógenos que involucran: virus (enterovirus, adenovirus, rotavirus), bacterias (coliformes, etc.), protozoos o helmintos (lombrices) de origen humano. Las aguas residuales generan problemas de salud pública, un 40% de la población urbana en América Latina contrae enfermedades infecciosas asociadas al agua [5].

La calidad sanitaria del agua de regadío está determinada por la cantidad de Coliformes fecales como indicador de los niveles de bacterias que generan enfermedades entéricas en el hombre. La calidad de las aguas para uso agrícola se categoriza en 3 tipos como se observa en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Directrices de la OMS–informe-Engelberg sobre calidad microbiológica y de Nematodos de aguas residuales para uso en agricultura (1).

clase	Condiciones de aprovechamiento	Coliformes fecales (2) (media geométrica / 100 ml)
A	Riego de cultivos que se consumen crudos, campos de deportes o parques públicos.	< 1 000
B	Riego de cultivos de cereales, industriales, forrajeros, praderas (3) y árboles (4)	No recomienda ninguna norma.
C	Riego localizado de cultivos de la categoría B cuando los trabajadores ni el público están expuestos.	No es aplicable.

1. En casos específicos, se deberían tener en cuenta los factores epidemiológicos, socioculturales y ambientales de cada lugar y modificar las directrices de acuerdo con ello.
2. Durante el período de riego.
3. Conviene establecer una directriz más estricta (< 200 coliformes fecales por 100 ml) para prados públicos, como los de los hoteles con los que el público puede entrar en contacto directo.
4. En el caso de los árboles frutales, el riego debe cesar dos semanas antes de cosechar la fruta y ésta no se debe recoger del suelo. No es conveniente regar por aspersión.

Sistemas de tratamiento de aguas:

Se categoriza en: preliminar, primario, secundario y terciario o avanzado; mientras que de acuerdo al mecanismo, los métodos de clasifican en:

- 1.-NO destructivos o Físico que incluye: técnicas mecánicas (desbaste, sedimentación), de adsorción (por carbón activado), desorción (stripping), extracción con solventes y filtración de membrana (ultra y nanofiltración), y
- 2.-Destructivos que incluyen tratamientos biológicos (anaeróbicos y aeróbicos) y oxidación química. Los métodos destructivos de oxidación química se clasifican en dos categorías: directos y avanzados. Los primeros son aquellos que utilizan oxígeno como agente oxidante e incluyen: la incineración, la oxidación

húmeda (Wet Air Oxidation, WAO), la oxidación húmeda catalítica (Catalytic Wet Air Oxidation, CWAO) la supercrítica (Supercritical Wet Air Oxidation, SWAO) y la oxidación anódica (AO) o electroquímica. Los métodos avanzados implica la generación de radicales hidroxilo [OH] como: O₃, H₂O₂, radiación ultravioleta y el método Fenton [7]. En América Latina, el riego de hortalizas con aguas residuales ocupa el primer lugar [8].

Sistemas de filtración ascendente-descendente:

Los sistemas de filtración biológica ascendente son tipos de reactores anaeróbicos que permite mantener en suspensión el agua residual, constituye un proceso de tratamiento continuo, el uso de material poroso permite la formación de una película fija que asegura la retención de sólidos por adsorción, siendo la piedra pómez un material de bio-filtración adecuado [9]

Piedra pómez o pomina: Es un material ígneo, piroclástico poroso, en forma de espuma y que se forman durante un enfriamiento muy rápido de un magma ascendente de alta viscosidad, presentan una coloración gris, densidad de 0,4 a 0,9 gcm⁻³, pH 7.3 con un porcentaje de humedad de 3,4%, constituido básicamente por trióxido de sílice y trióxido de aluminio, (71% de SiO₂, 12.8% de Al₂O₃, 1.75% de Fe₂O₃, 1.36% de CaO, 3.23% de Na₂O, 3.83% de K₂O,), alta porosidad y gran área de superficie [10]. Su empleo en biofiltración es apropiado desde el punto de vista económico, ya que su aplicación es simple y eficaz, la piedra pómez por su porosidad presenta una gran capacidad de adsorción de material inorgánico como orgánico [11] [12] [13].

Estudios a escala de laboratorio demostraron que la piedra pómez es un absorbente prometedor de materia orgánica y excelente para reducir la DQO de las aguas residuales

en valores hasta de 0,032 gkg⁻¹[14]. La piedra pómez tiene una capacidad de absorción de agua de hasta 90 veces su peso en un tiempo de hasta 120 minutos.

Cascarilla de arroz: está compuesto de ligno-celulósica, a nivel mundial se utiliza como abono en pequeña escala, en especial vía compost y su mayor parte es incinerado [15], de acuerdo a análisis de su composición se determina los siguientes componentes en proporción porcentual: Celulosa, 43-49%; Hemi-celulosa, 23-28%; Lignina 12-16%; cenizas 15 –20% y sílice 9-14%; entre las principales propiedades físicas se tiene: es material liviano, de buen drenaje, baja capacidad de retención de humedad, sustrato orgánico de baja tasa de descomposición [16], se reporta el uso de materiales orgánicos resistentes a la descomposición y establece estudios del bio-deterioro de las fibras de la cascarilla en base al análisis del crecimiento del hongo de pudrición blanca *Pleurotus ostreatus* durante 30 días con una pérdida de peso de 27%. La cascarilla de arroz en su proceso de degradación libera peróxido de hidrógeno como principal componente en el control de crecimiento de algas colocados en una red de nylon y como flotador en dosificaciones volumétricas desde 25 gm⁻³[17]. Otros estudios confirman la capacidad inhibitoria de algas de la cascarilla de arroz debido a la liberación de componentes químicos como estructuras fenólicas [18], los compuestos fenólicos liberados presentan actividad inhibitoria de bacterias [19].

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1. Zona de Estudio, Investigación de campo

El estudio se realizó en las coordenadas UTM (WGS84) Zona 17S X: 766806; Y: 9867344, la investigación se efectuó en dos fases. La primera fue entre los meses de enero y marzo del 2013 en época de lluvia y

la segunda fase fue entre los meses de julio y agosto del 2013 en época de estiaje. Se tomaron 16 muestras en intervalos de aproximadamente 8 días y se determinaron: DQO, DBO₅, coliformes fecales, MILLIPORE/Dilution Kit MCSK10025 y totales, MILLIPORE / Dilution Kit MTSK10025 [20].

Diseño de reactor: Se tomó como base el sistema anaeróbico [21] [22], que especifica la aplicación de materiales orgánicos resistentes a la descomposición en sistemas de filtración rápida, como es el caso de la cascarilla de arroz, en la Figura 1. Se observa el diseño modificado anaeróbico-aeróbico.

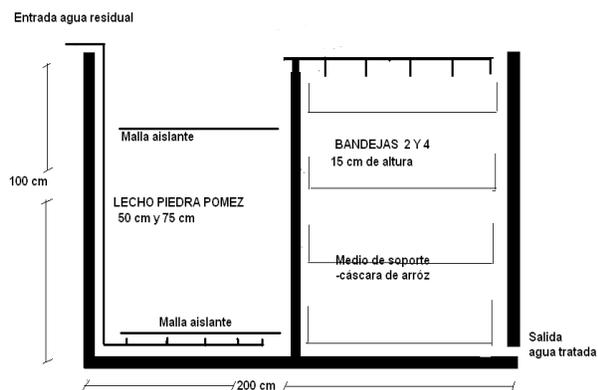


Figura 1. Diseño de sistema de Filtración Anaeróbico –Aeróbico. Vista lateral.

En diseño de reactor consta de dos partes, cada una de 1 m³, como variables dependientes piedra pómez y cascarilla de arroz, la piedra pómez cubre el 50% y 75% del reactor 1(A50 y A75), en el reactor dos se colocó cascarilla de arroz en filas de 2 y 4 bandejas de 15 cm de altura (B2 y B4), en la fase I se trataron los sistemas: A50/B4 y A75/B2; en la fase II los sistemas: A50/B2 y A75/B4

Descripción de los tratamientos: Las variables independientes que se establecieron en este experimento son: Piedra Pómez y cascarilla de arroz especificadas de la siguiente manera.

Variables Independientes:

Factor A: Piedra pómez: A1= 50 cm de altura del reactor y A2= 75 cm de altura del reactor.

Factor B: Número de bandejas con cascarilla de arroz: B1= dos bandejas con 15 cm de altura llenas de cascarilla de arroz. Y B2= cuatro bandejas con 15 cm de altura llenas de cascarilla de arroz. Todas las tomas conllevaron un análisis de muestra sin tratamiento.

Análisis estadístico: ANOVA, prueba de significancia F, valor que se comparó con la tabulada al 5% y 1%, se escoge el parámetro de caracterización: DQO.

2. RESULTADOS Y DISCUSIONES

El sistema se fundamenta en la remoción de materia orgánica en los cuatro sistemas de tratamiento evaluados como Demanda Química de Oxígeno, una remoción porcentual del 16% y 29,2% de carga orgánica en los sistemas A50/B4 y A75/B2; mientras que en los sistemas A50/B2 y A75/B4 hay una remoción de carga orgánica 43,6 y 53,7%. Se valoró una prueba estadística F en el parámetro de DQO, para la determinación de significancia se aplica el programa estadístico de MINITAB 16, se obtienen los siguientes resultados que se resumen en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Anova del Porcentaje de Remoción de DQO, A (Altura) vs B (Número de bandejas).

FUENTE	Grado de Libertad GL	Suma de cuadrados SC	Medias Cuadráticas MC	Valor de F		Valor P
				Calculada	Tabulada 5% 1%	
A: Altura	1	777,4	777,4	3,22	4,6 8,86	0,084*
B: Número de Hileras -bandeja	1	33	32,96	0,14	4,6 8,86	0,750*
Interacción AxB	1	4551	4551	18,82	2,947 4,568	0,000**
Error	28	6769,4	241,76			
Total	31	12130,9				

S = 15,55R-cuad. = 44,20%R-cuadrat. (ajustado) = 38,22%,** (significativo),*(No significativo)

En la Figura 2 se esquematiza en gráficas de caja la remoción de materia orgánica en DQO de la fase I y II

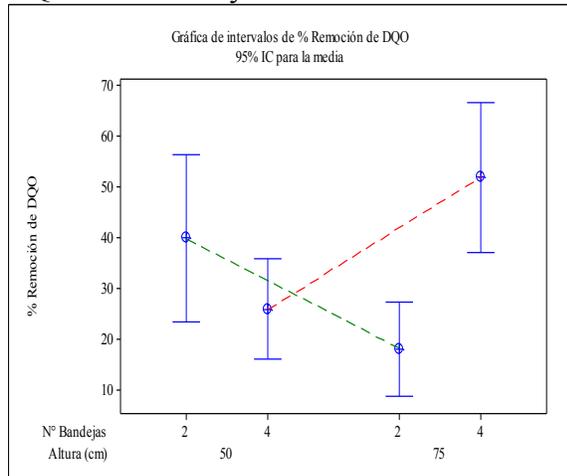


Figura 2. Relación de significancia del Porcentaje de Remoción DQO vs. Tratamientos fase I, fase II y entre variables A (altura) y B (Número de Bandejas)

Según los resultados de los ANOVA, tanto del Cuadro 2 así como de la Figura 2, a un nivel de significancia del 95 % ($p=0.05$), se puede evidenciar que en las fases por separado, no existe diferencia significativa en la remoción de la DQO entre los sistemas TA75/B2 y TA50/B4, y sistemas TA50/B2 y TA75/B4 respectivamente; mientras que la interacción entre las dos fases, las variables A(altura) y B(Número de Bandejas), se determina la existencia de significancia entre interacción A x B.

Remoción de Coliformes: Un 15% de los ríos de Latinoamérica presentan concentraciones de coliformes fecales con valores iguales o mayores 10.000 UFC/100ml en aguas que se emplean para riego [5], en el caso del canal LSA se confirma esta aseveración.

En las Figura 3 se registran la remoción de los valores de Coliformes fecales en los sistemas TA50/B4 y TA75/B2 (fase I); así como también en los sistemas TA50/B2 y TA75/B4 (fase II).

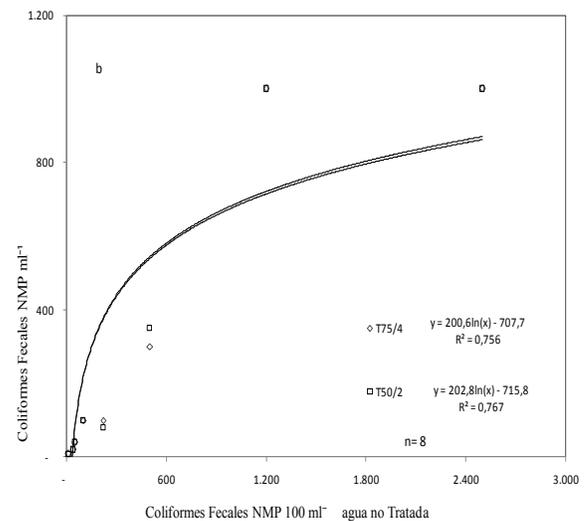
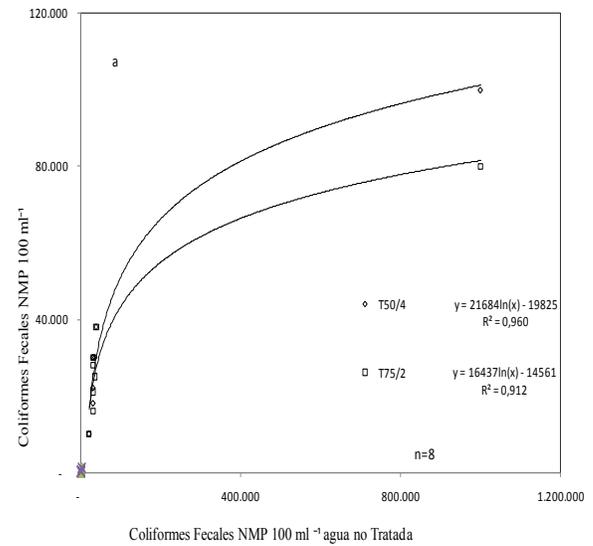


Figura 3. Remoción de Coliformes fecales de las aguas del canal LSA. (a) fase I y (b) fase II con respecto a la contaminación de las aguas del canal LSA

El conteo bacteriano se encuentra en concentraciones de UFC $10^6/100$ ml como NMP, los sistemas TA50/B4 y TA75/B2; y TA50/B2 y TA75/B4 generan una remoción bacteriana de una unidad logarítmica; sin embargo, le remoción resulta insuficiente para cumplir con lo que estipula la norma que detalla como límite máximo permisible 1.000UFC como unidades número más probable por 100 ml. [23]

3. CONCLUSIONES

El presente trabajo confirma lo expuesto en la bibliografía pues el uso de piedra pómez y de cascarilla de arroz como soportes de adsorción de materia orgánica y como fuente generadora de compuestos biológicos con una potencial actividad antibacteriana e inhibidora de crecimiento celular.

Los sistemas permiten la remoción de MO, en su parámetro de DQO, y la disminución de la carga bacteriana. EL DQOes menor en el período de lluvia debido a que existe una dilución de la contaminación por una mayor precipitación pluvial en la cuenca del Cutuchi; mientras que en período de estiaje sucede lo contrario.El contaje bacteriano paradójicamente presenta concentraciones inversas a la materia orgánica, es probable que la curva de crecimiento tenga una mayor pendiente por las condiciones de temperatura y velocidad del agua en el canal, lo que determine que las bacterias se encuentren en fase de muerte, esto se correlaciona con una mayor concentración de DQO en verano.

De los resultados del estudio microbiológico se desprende que las aguas del canal de riego presentan un nivel de contaminación microbiana que está sobre los límites permitidos por la normativa vigente, [23], contaminación que pone en riesgo y que afecta más a la población rural que usa las aguas del canal LSA; así como también a los cultivos de la zona que podrían contaminarse.

Los sistemas de reactores propuestos son una opción para la remoción de materia orgánica, pero resultan insuficientes para la remoción de carga bacteriana y cumplimiento de la normativa vigente por el alto nivel de contaminación de la cuenca del Cutuchi.

4. BIBLIOGRAFÍA.

1. Cisneros, O., González, J., y Fuente, C. Perspectiva de aprovechamiento de las

- aguas residuales en la Agricultura. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua IMTA. 2001.México
2. Gutiérrez, C. La contaminación del río Cutuchi. UTPL. Centro Universitario Latacunga. Postgrado en Derecho Ambiental. Loja. Ecuador.2010
3. Ecuador INEC. Censo de la Gestión, Gasto e Inversión en Protección Ambiental en Municipios y Consejos Provinciales. 2010.
4. Giogios, S., Stamatis, N. y Kallianiotis, A. Monitoring water quality and assessment of land –based nutrient loadings and cycling in Kaval Gulf. *Water Resources Management* 2005. 19, pp.713–735.
5. Veliz, E., Llanes, J., Asela, L., y Bataller, M. Reúso de Aguas residuales Domésticas para Riego Agrícola. Valoración Crítica. Revista CENIC. Ciencias Biológicas. 2009. Vol. 40(1), pp35-44.
6. Rodríguez, A., Ietón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S. y Sanz, J. Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales. CIDME. Ed. Vt. 2006. Madrid.
7. Taco, M. Mayorga-Llerena E. Aplicación del proceso Fenton en la disminución de materia orgánica en aguas residuales de la industria termoeléctrica. *Química Central Vol. 3 No. 1.Latindex*. 2013. pp25-28
8. Silva, J, Torres, P., Madera, C. Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Agronomía Colombiana* 26(2), 347-359. Jiménez, E. y Villegas, A. (2005). Diseño de un sistema de biofiltración para remoción de estireno. *Revista EIA. No. 3.junio*, 2008. pp9-20.
9. Kocadagistan, B., Kocadagistan., Topcu, N. y Demircioglu, N. Wastewater treatment with combined up flow anaerobic fixed-bed and suspended

- aerobic reactor equipped with a membrane unit. *Process Biochemistry* 40 2005. Pp. 177–182
10. Malekian, K., Shahbazi, H., Didehbaz, M., Dastoori, M. Evaluation of appropriate technique to improve soil characteristics and crop productio. *Int. joun. of Agr. and Vet Sciences* Vol. 2 (1) jan-apr.,2012. pp 26-31
 11. Tsalakanidou, I. Potential of reactive filter materials for small –scale wastewater treatment in Greece. Thesis KTH Architecture and the build environment.2006.
 12. Belova, T., and Selivanova, .O. Adsorption of Metal Ions by Sorbents Composed of Marine Alga *Saccharina bongardiana* and Proliferous Alum inosilicates *Journal of Environmental Science and Engineering A*. 2012 pp 514-521.
 13. Alarcón N., Quiroz E. Vergara A., Aroca G. Tratamiento biológico de aire contaminado con hidrocarburos volátiles en un biorreactor de lecho circulante air lift. XV Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental aidis– chile.2013
 14. Jiménez, E. y Villégas. Diseño de un sistema de biofiltración para remoción de estireno. *Revista EIA. No. 3.junio*, 2005. pp9-20
 15. Steele, P. *Technical Manual ‘Agro-Industrial Use of Rice Straw*. Cairo: FAO, regional office for the Near East.2009.
 16. Garay, R., Rallo, M., Carmona, R., y Araya, J. Characterization of anatomical, chemical, and biodegradable properties of fibers from corn, wheat, and rice residues. *Chilean JAR. Chilean journal of agricultural research* 69(3):pp 406-415 july-september 2009.
 17. Salwa, A., Hosny, M., y Bakry, M. Growth inhibition of bloom-forming using rice straw in water courses (case study). *Eleventh International Water Technology Conference, IWTC11 2007 Sharm El-Sheikh, Egypt*.
 18. Mariraj Mohan. S. Comparative Study of Rice Straw and Ragi Straw for the Inhibition of Algal. Bloom in Fresh Water International Research Journal of Biological Sciences Vol. 1(6), 2012. pp 31-37, October (2012) I. Res. J. Biological Sci. International Science Congress Association 31., India
 19. Shahab Uddin, A., Oo, M.; Yi, Y., Thakur, D., Bart. A., and Diana. J. Study about the Effect of Rice Straw Mat on Water Quality Parameters, Plankton Production and Mitigation of Clay Turbidity in Earthen Fish Ponds. *World Journal of Fish and Marine Sciences*4 (6):2012. pp 577-585.
 20. APHA/AWWA/WEF Standard Methods N° 5220), coliforms fecales, MILLIPORE/Dilution Kit MCSK10025 y totals, MILLIPORE / Dilution Kit MTSK10025.
 21. Pérez, A. Torres, P. Evaluación del comportamiento hidrodinámico como herramienta para optimización de reactores anaerobios de crecimiento en medio fijo. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia N. ° 45 27.2008*.
 22. Ortega F., Orellana R. El riego con agua de mala calidad en la agricultura urbana. Aspectos a considerar II. Aguas residuales urbanas. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal Sistema de Información Científica Redalyc*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, año/ vol. 16, número 003, 2007. pp. 25-27.
 23. Ecuador, TULAS. Texto Unificado de Legislación secundaria del Ministerio del Ambiente. Acuerdo Ministerial 155. Quito.2003.