

HIGIENE Y SANIDAD AMBIENTAL

Hig. Sanid. Ambient. 5: 123-131 (2005)

Dirección

Prof. Miguel Espigares García

Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. Facultad de Farmacia. Universidad de Granada.
Campus Universitario de Cartuja. 18071 Granada, España. Telf: 958 243 169. Fax: 958 249 958. E-mail:
mespigar@ugr.es

Comité de redacción

Prof. Aurora Bueno Cavanillas. E-mail: abueno@ugr.es

Prof. Milagros Fernández-Crehuet Navajas. E-mail: fcrehuet@ugr.es

Prof. Pablo Lardelli Claret. E-mail: lardelli@ugr.es

Prof. Obdulia Moreno Abril. E-mail: omoreno@ugr.es

Prof. José Antonio Pérez López. E-mail: japerez@ugr.es

Redacción

Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. Facultad de Farmacia. Universidad de Granada.
Campus Universitario de Cartuja. 18071 Granada, España. Telf: 958 29618. Fax: 958 249 958. E-mail:
mespigar@ugr.es

Depósito legal GR-222/2002 ISSN 1579-1734

Higiene y Sanidad Ambiental es una revista electrónica en español, de difusión gratuita, que publica trabajos de investigación originales, revisiones y procedimientos técnicos, con un contenido relativo al área científica de Higiene y Sanidad Ambiental: criterios de calidad ambiental; contaminación de agua, aire y suelo; análisis de riesgos y exposición ambiental, industrial y laboral; epidemiología ambiental; técnicas de saneamiento; higiene de los alimentos; higiene hospitalaria; antibióticos, desinfección y esterilización; tratamiento de aguas y residuos sólidos; etc. También podrán ser publicados artículos relativos a la docencia universitaria de estos contenidos.

Los artículos para la publicación en la revista *Higiene y Sanidad Ambiental*, deben ser enviados a la Dirección de la revista en soporte electrónico con formato de Microsoft Word (o compatible), con un estilo editorial internacionalmente aceptado en las publicaciones científicas (título, resumen, palabras clave, introducción, material y métodos, resultados, discusión, bibliografía, etc.).

Las suscripciones a la revista *Higiene y Sanidad Ambiental* son gratuitas y se pueden realizar mediante el envío de un correo electrónico dirigido a la Dirección o Comité de Redacción, o pueden ser directamente obtenidas en la dirección electrónica del Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública de la Universidad de Granada (www.ugr.es/%7Edpto_prev).

Evaluación de una planta piloto de tratamiento de aguas residuales del procesamiento del café: características químicas.

C. OROZCO¹, H. BARRIENTOS¹, A. LOPEZLENA¹, J. CRUZ¹, C. SELVAS¹,
EL. OSORIO¹, Ed. OSORIO¹, R. CHÁVEZ¹, J. MIRANDA², J. ARELLANO²,
B. GIESSEMAN³

¹ Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Carretera a Puerto Madero, km 1,5. CP 30780, Tapachula, Chiapas, México. Telf./fax: (962)6251500/6262461. Correo electrónico: *corozco_71@yahoo.com*

² Comisión Nacional del Agua - Gerencia Regional Frontera Sur (CNA – GRFS). Carretera a Chicoasén, km 1,5. Fraccionamiento Los Laguitos. CP 29029, Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas, México. Telf. (962)6259356.

³ Finca Argovia. 21 Privada Oriente, nº 70. CP 30700, Tapachula, Chiapas, México. Telf. (962)6259356.

RESUMEN

Las aguas del procesamiento húmedo para la extracción del fruto del café son consideradas como una de las fuentes de mayor contaminación orgánica en la zona cafetalera de Tapachula, Chiapas, México. Se han realizado diversos trabajos antecedentes sobre el impacto ambiental de la descarga de estas aguas en los ríos o cuerpos receptores en la región.

El objetivo de este trabajo es el de evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento biológico integrado para la disminución de la contaminación química del agua proveniente del beneficiado húmedo, así como las descargas de uso doméstico de la población de la finca (300- 450 habitantes). El periodo de estudio ha sido de septiembre a diciembre del 2003. Las determinaciones se realizaron en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas de la UNACH siendo: pH, demanda química de oxígeno (DQO), cianuros, cadmio, zinc, níquel, cobre, cromo hexavalente, plomo. Los parámetros anteriores se determinaron utilizando los métodos de análisis de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas y métodos estandarizados. Se evaluaron el agua del beneficio húmedo del café y las aguas servidas, que ingresan a la planta por separado, en los siguientes parámetros: pH, DQO y conductividad.

Los resultados establecen la eficiencia de la planta según los límites permisibles por la Norma Oficial Mexicana, obteniéndose rendimientos de depuración de carga orgánica altos (94-99 %), no se encontraron metales tóxicos por encima de lo permisible e inclusive en algunas muestras no se presentaron evidencia de ellos. De acuerdo con la información obtenida se puede concluir que este sistema puede ser aplicable en toda la región tomando en cuenta las mejores condiciones de operación y mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

La costa de Chiapas es un estado sustentado históricamente en la agricultura y dentro de esta

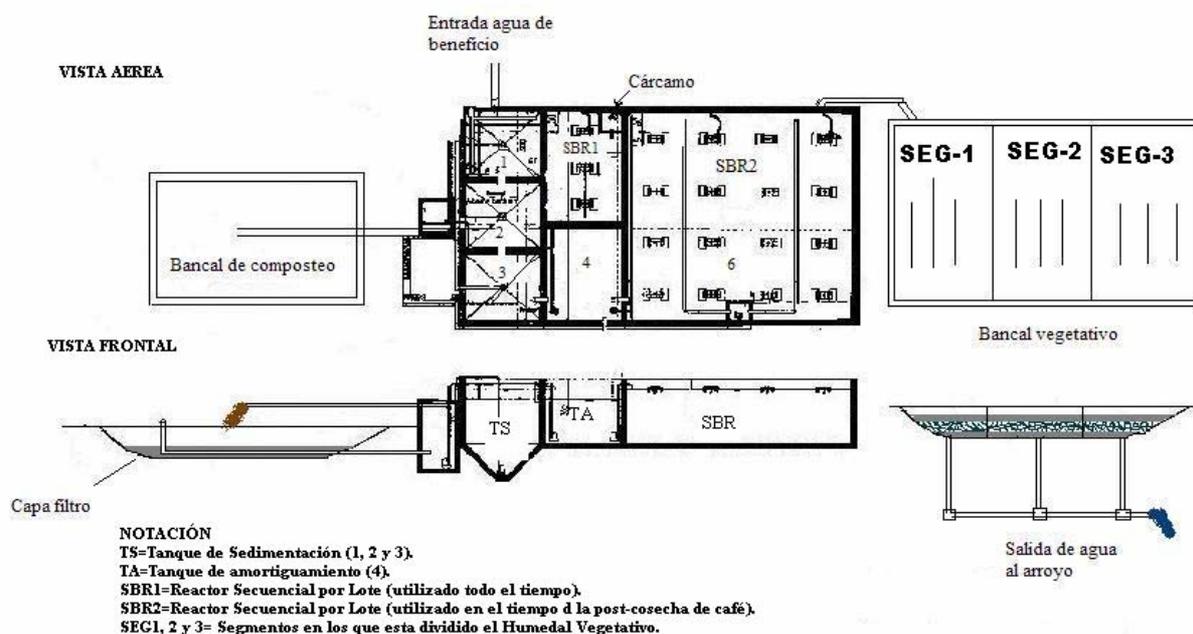
encontramos el café, que ha sido el cultivo de mayor importancia social y económica. La crisis en los precios internacionales y la fuerte diversificación productiva en los últimos años lo han relegado como

la fuente del sustento económico de la región; aún así, la producción de café sigue vigente (Pohlan, 2002).

El café maduro presenta una composición en la cual el grano, que es la parte aprovechable para el proceso, representa el 20% del volumen total de la fruta, de manera tal que, el procesamiento de extracción del fruto (beneficiado) genera un 80% del volumen procesado en calidad de desechos, cada uno en un grado diferente constituyendo un riesgo para el medio ambiente si no se reutiliza de una manera inteligente para otros propósitos utilizando los principios de producción más limpia. Existen dos tipos de proceso de beneficiado: seco y húmedo. En la finca Argovia se utiliza ambos beneficiados, por lo cual se consumen grandes cantidades de agua en el proceso, el cual al final se convierte en desechos (Pujol *et al.*, 1998).

El beneficiado húmedo es el método de procesamiento de café más utilizado en Centroamérica, México y Colombia. El método surgió como una alternativa para solucionar el problema de la fermentación inmediata y excesiva del café en zonas

tropicales. Luego de la cosecha de la cereza se eliminan los componentes externos, después los frutos son depositados en despulpadoras para eliminar el epicarpio o pulpa. Seguidamente se utilizan tanques de fermentación para obtener la hidrólisis del mucílago mediante la acción de enzimas propias del grano y de microorganismos en el agua en donde el tiempo de fermentación es variable (Cervantes, 1998; Bello *et al.*, 1993). El mucílago está fuertemente adherido a la cáscara del grano de café; desde el punto de vista físico, el mucílago es un sistema coloidal líquido y liofílico o un hidrogel; el mucílago contiene agua, pectinas, azúcares y ácidos orgánicos, durante la maduración del grano de café el pectato de calcio (localizado en la laminilla media) y la protopectina de la pared celular son convertidos en pectinas (Braham y Bressani., 1978; Elías., 1972; Brezan *et al.*, 1972). La concentración de la materia orgánica en las aguas procedente del fermento del café depende del volumen utilizado por el beneficio, y en particular si hay recirculación de agua o no.



Esquema de la planta piloto de tratamiento de aguas de la post-cosecha de café.

Estudios realizados por Claass (2002), muestran que la concentración se ubica entre 7000 y 12000 mg/l de DQO y con un pH de 3.8 de las aguas mieles (aguas del fermento del café) que ingresan a esta planta piloto; como comparación un agua negra

urbana tiene generalmente entre 500 a 1000 mg/l de DQO (Metcalf-Eddy., 1985).

Una Finca Cafetalera generalmente no está sola, en ocasiones en una cuenca hidrológica vierten sus aguas varias agro-industriales o una sucesión de

fincas cafetaleras; en el mismo río se juntan también las aguas negras de localidades cercanas. La importancia de tratar las aguas de los beneficios radica en que la oxidación de la materia orgánica contenida en el agua se efectúa por medio de la microflora de bacterias que se alimentan de la materia consumiendo el oxígeno disuelto en el agua. En caso de descarga importante de materia como es el caso del vertido del agua miel, se agota el oxígeno (anaerobiosis), y se destruye por asfixia la fauna y flora acuática (Hernández e Hidalgo, 2000; Rodríguez, 2000).

Hay que introducir que actualmente en el Soconusco hay un deshecho promedio de 70.000 ha \times 3000 kg de pulpa = 210,000 toneladas de producto con potencial de contaminación (Pohlan, 2002).

Sistemas de descontaminación

Sedimentación primaria: El primer tratamiento importante que sufren las aguas residuales después de las precedentes fases es generalmente la sedimentación de los sólidos suspendidos en un tanque adecuado en el que se mantienen las aguas en un lapso de 0.5 a 3 horas o más, que es suficiente para permitir que el 40 al 65 % de los sólidos finamente divididos se pose en el fondo del tanque, del cual se extraen por medio de colectores mecánicos, en forma de lodos (César y Vázquez, 2003).

Reactores secuenciales por lotes (SBR): Este sistema biológico pertenece a la tecnología de lodos activados, el cual procesa las aguas residuales por medio de un tratamiento biológico-aeróbico-anóxico, por medio de aireación, y disminución de nutrientes en etapa anóxica. Este opera en un grupo de sistemas de volumen variable de tratamientos donde los procesos definidos son: de llenado, reacción, decantado, vaciado y tiempo muerto (Manual Aquamax, 2003).

Humedales Artificiales: Los humedales son sistemas de tratamiento de aguas residuales artificiales y consisten en cuerpos combinados de roca, arena y grava (de menos de 1 m de profundidad), y un soporte impermeable para evitar la infiltración de las aguas a tratar en la tierra. Dependiendo del tipo de sistema pueden tratar efluentes primarios o ser un sistemas de tratamiento secundario o terciario; una parte importante son las especies vegetativas que se utilizan en el tratamiento, ya que es necesario que tengan raíces profundas y rizomas extendidas con el fin de proporcionar el suficiente área superficial para el contacto entre los microorganismos y los componentes que se desean degradar (U.S.E.P.A., 1993; Guillen, 1993; Perkins y Hunter, 2000; Lara y Salgot, 1999).

Humedales de Humificación: Durante el proceso de tratamiento de aguas residuales se generan grandes

cantidades de lodos, y su utilización frecuentemente presenta un problema (Sachon *et al.*, 1997). El acondicionamiento de los lodos en bancales de humificación ofrece una buena alternativa económica y ecológica reduciendo el número de indicadores patógenos. Si el bancal de humificación está correctamente planeado y diseñado, el crecimiento de la capa con el sustrato mineralizado será lento. (Aquaplan, 2005; U.S.E.P.A., 2003).

El objetivo de esta investigación es evaluar y conocer los sistemas de tratamiento que dentro del programa Public Private Partnership (PPP) de la Sociedad Alemana para Inversión y Desarrollo (DEG), las empresas AquaPlan y ATB tecnologías Ambientales planearon y construyeron mutuamente con la Comisión Nacional del Agua (CNA) de México para el tratamiento de las aguas residuales que se generan durante el proceso post-cosecha de café en la finca. Con este trabajo se establecerían las bases de adopción de sistemas de tratamiento que nos llevaría a mejorar la calidad de las fuentes hídricas reduciendo en un porcentaje considerable la contaminación orgánica y microbiológica (Baumann *et al.*, 2003; Baumann, 2003; Claass, 2002; Orozco *et al.*, 2004).

MATERIAL Y MÉTODOS

Sistema de tratamiento de aguas residuales

El sistema combinado para el tratamiento de las aguas residuales se encuentra ubicado en la finca Argovia y se localiza entre los 15° 02' de latitud norte y 92° 18' de longitud oeste a 620 msnm, en el municipio de Tapachula, Chiapas, México. La planta consiste en tres tanques de sedimentación, un tanque de amortiguamiento y dos taques de tratamiento de reactores secuenciales por lotes (SBR), de diferentes capacidades (Figura 10), de los cuales el SBR1 trabaja todo el año y el SBR2 trabaja durante la temporada de la cosecha. Al agua tratada se le da un tratamiento terciario pasándolo a través del humedal de flujo vertical y los lodos que se generan en los sedimentadores son estabilizados por humificación a través de un humedal de composteo (Baumann, 2003; Baumann *et al.*, 2003).

El funcionamiento pleno de la planta empezó a partir del día 20 de septiembre del 2003 y término el día 15 de diciembre del 2003. Durante el mes de octubre se le realizo un mantenimiento correctivo al sistema en general, y además se consideró colocar una reja para separar los sólidos no biodegradables y elementos extraños provenientes de las aguas del influente a la planta.

La planta tiene capacidad para una carga contaminante de 15,000 mg/l de DQO y un volumen diario de 10 m³, según la norma técnica europea se cuenta en promedio con una carga contaminante por habitante de 40 g de DBO (aprox. 60 g de DQO) a partir de esto se calculo una carga contaminante total

para la finca equivalente a 2500 habitantes (U.S.E.P.A, 1993). La planta trata 7000 lts/día en época de cosecha del café (septiembre-diciembre, 2003).

Muestreo

Las muestras se extrajeron en recipientes de plástico limpios y frascos de vidrio de diferentes capacidades de acuerdo al parámetro a ensayar. *In situ* se determinó pH, conductividad y temperatura. Las muestras se etiquetaron y se remitieron inmediatamente al laboratorio mediante transporte en hielo el mismo día del muestreo.

El protocolo de muestreo fue similar en todas las tomas. Las muestras fueron tomadas en intervalos de tiempo y espacio en la hora de llegada del agua de fermento a la planta (11:00 - 13:00 horas). La cantidad de muestra colectada en cada punto muestreo dependía del parámetro a determinar. Las pruebas se repitieron en dos diferentes días durante 14 semanas; las muestras se tomaron los miércoles y viernes a través de todo el periodo de estudio, pero en algunos casos las inclemencias del tiempo no permitieron el acceso para las tomas de muestra en ese día. Se eligió evaluar el agua de fermento del beneficio húmedo del café y las aguas servidas que ingresan a la planta por separado para ciertos parámetros, y de los efluentes de los SBR 1 y 2.

Estudio analítico

Las determinaciones realizadas en el laboratorio fueron: pH, demanda química de oxígeno (DQO), cianuro, cadmio, zinc, níquel, cobre, cromo hexavalente y plomo.

Análisis Estadístico

Para estudiar la variación en la concentración en todo el periodo de los parámetros ensayados se realizó análisis estadístico por grupos pareados con el estadístico de prueba *t* de Student y análisis de varianza (ANOVA) con el estadístico de prueba *f* para determinar la variación entre grupos y dentro de grupos (error $\alpha \leq 5\%$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Demanda Química de Oxígeno

Los resultados de los análisis estadísticos entre la comparación del agua servida con la salida general y el agua de fermento con la salida general se presentan en la Tabla 1. Para la comparación del agua servida con la salida general no se encontró diferencia significativa ($p=0.509$); para el agua de fermento con la salida general se encontró diferencia altamente significativa ($p=0$).

El comportamiento de los resultados nos determina que la concentración flujo y conducta de DQO del agua residual doméstica esta en función de la densidad de población en la finca a través del tiempo, pero la carga orgánica que aporta el agua de fermento es la mayor cantidad que entra a la planta y depende de la cantidad de café beneficiado diariamente (Figura 1); los resultados de DQO presentados por Claass (2002) presentan similitudes (7000-12000 mg/l) para el mismo beneficio. La concentración de DQO de la salida general presenta estabilización a partir de la primera semana de octubre y los resultados son inferiores a lo permisible según las Normas Mexicanas.

El análisis estadístico entre el SBR1 y el SBR2 (tabla 1) se encontró diferencia significativa ($p=0.029$), la variación entre ambos reactores es debido principalmente al tiempo de adaptación que requieren los microorganismos a la alta carga orgánica que ingresa a los reactores; en el SBR1 se observa que la biomasa no se adaptó a los componentes del agua residual, este efecto se puede atribuir a diferentes causas: a) Una de que no existe la suficiente homogenización del caudal de alta carga orgánica que entra y afecta a la biomasa; b) fallas en los ciclos de trabajo debido a que la planta funciona de manera automática y, c) variaciones de voltaje que pueden afectar la eficiencia de la planta. La Figura 2 presenta el comportamiento de DQO obtenidos de los reactores SBR1 y SBR2. Los resultados de DQO de los reactores están por debajo de los límites permisibles de la Norma Mexicana.

TABLA 1. Análisis de grupos pareados de los valores obtenidos de DQO en la comparación de agua servida con la salida, fermento con la salida y SBR1 con SBR2.

n	DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)					
	SBR 1 10	SBR2 10	AG. SERVIDA 24	SALIDA 24	FERMENTO 13	SALIDA 13
Promedio	232.20	544.20	106.21	74.50	9251.46	36.69
Varianza	41358.2	132265.0	30350.6	24233.7	2.3378X10 ⁶	279.8
Valor "T"		-2.36024		0.66488		21.78810
Valor "P"		0.029752		0.509445		0.000000
Desviación Estándar	203.367	363.683	174.214	155.672	1529	16.7301

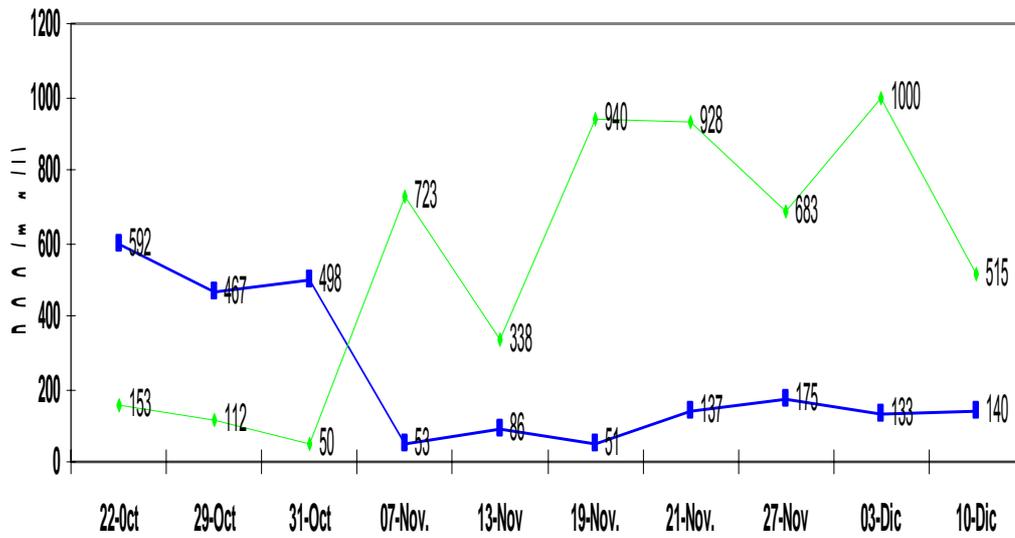


Fig.2 DQO de los reactores secuenciales por lotes

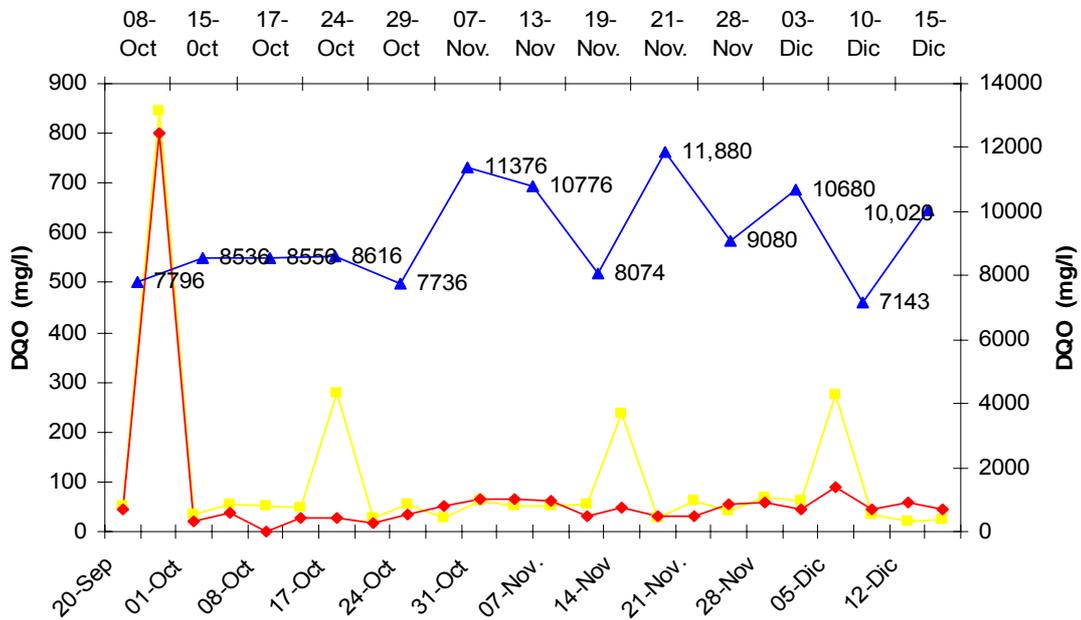


Fig.1 DQO del fermento, salida y la entrada del agua servida



TABLA 2. Análisis de grupos pareados de los valores obtenidos de pH.

n	POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)					
	AG.SERVIDA	SALIDA	SBR1	SBR2	FERMENTO	SALIDA
	24	24	17	17	8	8
Promedio	7.3375	6.9958	6.9117	7.4117	4.1500	7.0625
Varianza	0.2267	0.4903	0.2423	0.1773	0.1542	0.04839
Valor "T"		2.44879		-3.18216		-182981
Valor "P"		0.01820		0.00324		3.57736x10 ⁻¹¹
Desviación Estándar	0.47622	0.49032	0.492294	0.42113	0.39279	0.21998

Potencial de hidrogeno (pH)

El análisis estadístico entre el agua servida y la salida presenta diferencias significativas, y el agua de salida y el agua de fermento presentan diferencias altamente significativas durante todo el periodo de trabajo (Tabla 2). Los datos de pH de las aguas servidas muestran que existe variación pero no es la causa principal que afecte el funcionamiento del sistema de tratamiento. El pH de las aguas de fermento se encuentran en los rangos de acidez reportados por Claass (2003). Esto se debe principalmente a los ácidos orgánicos que se generan en el fermento y es uno de los factores limitante para el desarrollo bacteriano y el buen funcionamiento de la planta. El pH de la descarga general presenta rangos dentro del cual es posible la reutilización del agua o depositarlos en los cuerpos de agua (Figura 3).

Se presenta la evolución de los valores de pH de los reactores secuenciales SBR1 y SBR2, los sedimentadores (TS) y el amortiguador (TA). Los reactores SBR1 y SBR2 presentan diferencias estadísticas altamente significativas (p=0.0) durante todo el periodo de trabajo (Tabla 3). Esto se debe a la

diferencia de homogenización de los inyectores de oxígeno como consecuencia del volumen de agua a tratar y el periodo de trabajo, ya que el SBR1 trabaja durante todo el año y el SBR2 durante la época de cosecha (Figura 4). El análisis estadístico entre los sedimentadores y el amortiguador revela diferencias significativas (p=0.035), lo que es debido al ingreso del agua de fermento en las áreas de los sedimentadores, lo que afecta significativamente a la población microbiana, como se observa en los inicios de los primeros muestreos (Tabla 3), para posteriormente encontrar su punto de adaptación a las condiciones ambientales, observándose un aumento significativo de pH y los microorganismos pueden desarrollar sus principales reacciones metabólicas (Figura 4).

El tanque amortiguador (TA) presentan valores de pH por arriba de los tanques sedimentadores en todos los muestreos; este hecho es de vital importancia debido a que el caudal se homogeniza y se deriva en los reactores donde un pH óptimo ayuda en el proceso de depuración por el sistema de lodos activados (SBR).

TABLA 3. Análisis de varianza de los tanques sedimentadores (TS) y tanque amortiguador (TB).

n	POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)				Radio- F	Valor-p
	TB	TS1	TS2	TS3		
	17	17	17	17		
		Σ de X ²	Dif. medias	X ²		
ANALISIS DE VARIANZA	ENTRE GRUPOS	3.7275	3	1.2425	3.0300	0.0356
	DENTRO DE GRUPOS	26.2336	64	0.4099		

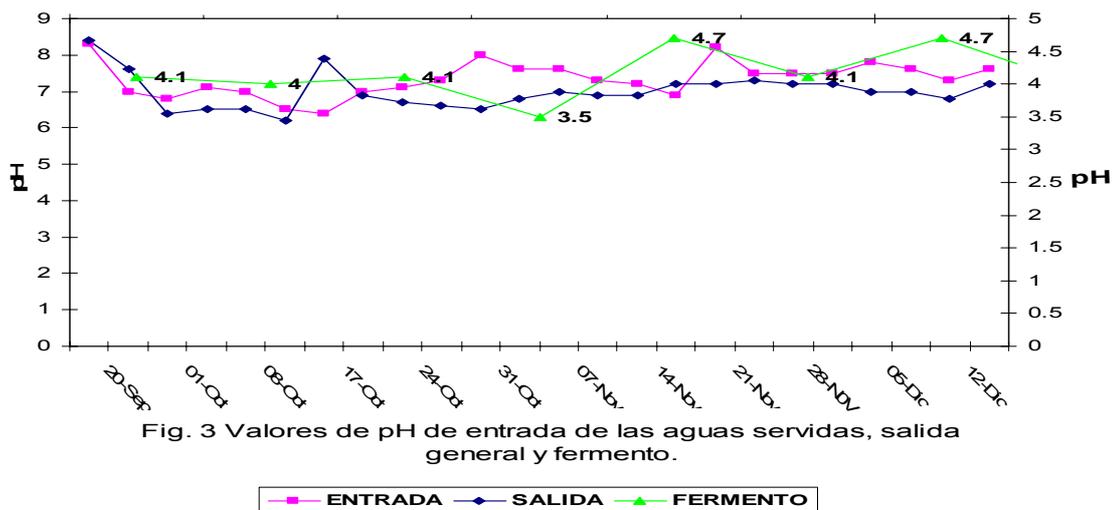
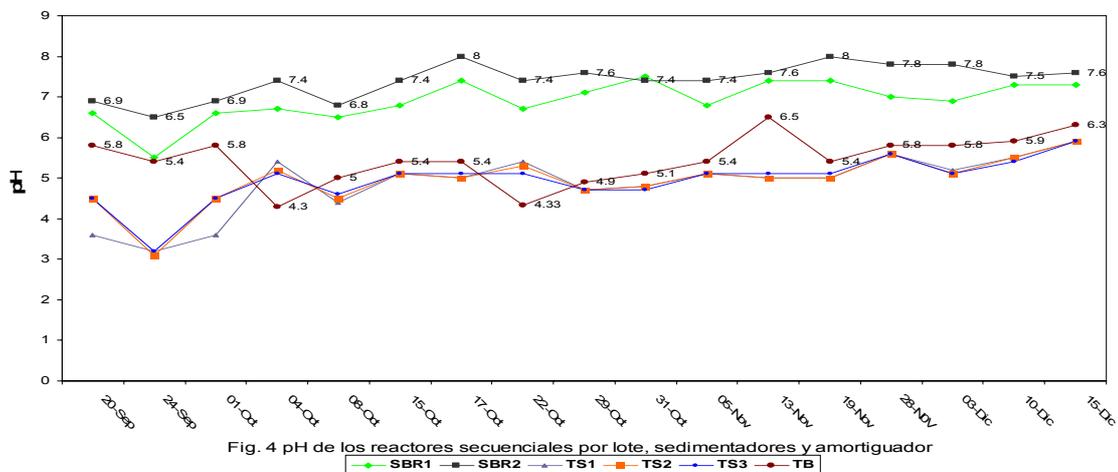


TABLA 4. Análisis de grupos pareados para especies de metales

	NIQUEL		CROMO +6		COBRE	
	AGUA SERVIDA	SALIDA	AGUA SERVIDA	SALIDA	AGUA SERVIDA	SALIDA
n	15	15	15	15	15	15
Promedio	0.0328	0.0046	0.0235	0.0206	0.7660	0.5553
Varianza	3.1×10^{-3}	4.9×10^{-5}	1.55×10^{-4}	5.09×10^{-2}	0.549397	0.401684
Valor "T"		1.94897		0.21178		0.83662
Valor "P"		0.061382		0.833808		0.409885
Desviación Estándar	0.05573	0.00700	0.01248	0.05091	0.74121	0.63378

TABLA 5. Principales características para níquel, cromo hexavalente y cobre.

FECHA	Níquel (mg/l)		Cromo hex. (mg/l)		Cobre (mg/l)	
	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA
20-Sep	0.01	0.00	0.03	0.01	0.87	0.20
24-Sep	0.03	0.01	0.03	0.20	0.37	0.26
01-Oct	0.03	0.01	0.05	0.03	0.34	0.10
04-Oct	0.04	0.01	0.03	0.03	0.34	0.15
08-Oct	0.00	0.00	0.02	0.00	0.3	0.25
15-Oct	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22-Oct	0.03	0.00	0.01	0.00	1.53	1.83
24-Oct	0.03	0.01	0.01	0.00	2.24	1.37
29-Oct	0.02	0.00	0.00	0.00	2.15	0.28
05-Nov	0.01	0.00	0.01	0.00	1.67	2.03
13-Nov	0.01	0.00	0.03	0.02	0.41	0.44
19-Nov	0.00	0.00	0.02	0.00	0.21	0.20
28-Nov	0.23	0.00	0.03	0.00	0.26	0.34
05-Dic	0.02	0.01	0.03	0.00	0.36	0.39
10-Dic	0.00	0.00	0.02	0.00	0.19	0.23
15-Dic	0.01	0.00	0.03	0.02	0.25	0.26

Metales

Se presentan los datos de níquel, cromo hexavalente y cobre (mg/l) en el agua servida y a la salida de la planta. En ambos casos, las concentraciones obtenidas están por debajo de los límites de la Norma Oficial Mexicana La presencia de estos metales puede deberse a trabajos propios de la finca ya que cuentan con talleres de mecánica, soldadura, carpintería, etc. (Tabla 5). Estadísticamente no hay diferencias significativas para níquel, cromo y cobre (Tabla 4).

Los parámetros plomo, cadmio y cianuro sólo se determinaron en la descarga de la salida principal, y no se presentaron durante el monitoreo.

CONCLUSIONES

Con la información obtenida de la evaluación se puede concluir que la planta piloto está dentro de los límites permisibles establecidas por la Norma Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997. Los porcentajes de reducción de la DQO y coliformes fecales obtenidos en el tratamiento de las aguas residuales en la planta son del 99%, mismo que se considera como altamente significativo, considerando tanto las aguas residuales de origen doméstico como el agua de fermento. La temperatura del agua está directamente relacionada con la temperatura ambiental y los aireadores de los reactores secuenciales.

Con los resultados obtenidos en este trabajo se hace necesario estudiar por separado los tanques sedimentadores y los humedales artificiales con el fin

de extender esta tecnología de tratamiento de aguas residuales para el beneficio húmedo de café en la Zona Cafetalera del Soconusco.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue financiado bajo el convenio de colaboración CNA-UNACH No. SGIH-FS-CHS-03-TT-068-RF-CC. "Programa de Monitoreo de Erosión Hídrica, manejo del agua y preservación del suelo en sitios representativos de la Cuenca del Río Huehuetán, Chiapas, México." Se agradece la colaboración en el análisis estadístico al MC. Miguel Ángel Rodríguez Feliciano de la FCQ-UNACH.

BIBLIOGRAFÍA

- APHA (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. American Public Health Association. Washington, USA.
- Aquaplan GMBH (2005). Ingenieros para Agua y Suelo. http://www.aquaplan-net.de/es_site/index.html
- Baumann, J., Claass, M., Galatos, H., Giessemann, B., Baumann, D. (2003) La planta piloto de tratamiento de aguas residuales del café, Finca Argovia. Segundo diplomado sobre desarrollo de zonas cafetaleras. ECOSUR, Tapachula, Chiapas, México. Pp.18
- Baumann, J., (2003). Conservación de Suelos y Agua para la costa de Chiapas Logros del Programa de Expertos Integrados CIM-CNA 1997-2003. Re-

- sumen ejecutivo. Comisión Nacional del Agua y Centro para migración y Desarrollo Internacional, México, D.F.-Frankfurt, Alemania. Pp.16.
- Bello, R., Calvo, L.A., Sánchez J.E., Lau, G. y Cuevas, R., (1993) diagnóstico de la contaminación en las aguas residuales de los beneficios húmedos de café en el soconusco, Chiapas, México. XVI Congr. Lat. Cafeticultura. 27-29 octubre CONCAFE-PROMECAFE-IICA, Managua, Nicaragua. Pp.123
- Braham, J.E. y Bressani, R. (1978). Pulpa de Café: Composición Tecnología y Utilización. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Colombia. Pp. 9-31.
- Brezan, F., Estrada y Jarquin R. (1972). Pulpa de café, Composición Química y Contenido de Aminoácidos de la proteína de la pulpa. Turrialba (costa Rica) 22:299-304.
- César, V.E. y Vázquez, G.A.B. (2003). Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de las aguas residuales Fundación I.C.A ISBN968-7508 05-4. Pp. 389.
- Cervantes S.M., (1998) citado por Rodolfo Valadez, "Nuevas tendencias de producción en beneficios cafetaleros"; en *El café de México, una producción de altura*; Confederación Mexicana de Productores de Café. Pp. 13.
- Class, M., (2003) Realización de una planta piloto de tratamiento descentralizada. Documentación e investigación de una pequeña planta técnica-biológica para aguas residuales de la producción del café, desde la planeación hasta la optimización, Tesis. Facultad de Técnicas Ambientales y de Biotécnica. Fachhochschule Huyesen Friedberg, Alemania.
- Elías, G.L., (1972). Composición química de la pulpa y otros productos: Pulpa de café, composición, Tecnología y Utilización. Bogotá, Colombia. Editorial CIDD. Pp. 24.
- Hernández, J; Hidalgo, G. (2000). Evaluación de 3 metodologías para reducir los niveles de Contaminantes en efluentes de tratamiento primario de las aguas residuales del procesamiento de café en costa rica. Trabajo de Graduación. Universidad EARTH. Guácimo, Costa Rica. Pp. 85.
- Lara, J., Salgot, M. (1999). Tesis: Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales.
- Instituto Catalán de Tecnología, Universidad Politécnica de Cataluña. Master en Ingeniería y Gestión ambiental. Barcelona, España. Pp. 113.
- Manual de AQUAMAX XL-1 ATB (2003). Umwelttechnologien GmbH D-32457 Porta Westfalica, Germany. <http://www.aquamax.net>
- Metcalf-Eddy (1985). Ingeniería sanitaria tratamiento evacuación y reutilización de las aguas residuales. Editorial Labor; Barcelona, España,
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al publico. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de septiembre de 1998. México. Pp. 12.
- Orozco, C., Barrientos, H., Giesseman, B. y Arellano, J. (2004). Evaluación de la planta piloto de tratamiento de aguas residuales provenientes del beneficio húmedo de café en la finca Argovia, Chiapas. Informe Técnico 2003 para la Subdirección General de Infraestructura Hidragrícola. Gerencia Regional Frontera Sur. Comisión Nacional Del Agua. Tapachula, Chiapas. México. Pp. 74.
- Perkins, J. y Hunter, C. (2000). Removal of enteric bacteria in a surface flow constructed wetland in Yorkshire England. *Wat. Res.*, 34:1941-1947.
- Pohlan, J. (2002). México y la cafeticultura Chiapaneca-reflexiones y alternativas para los cafecultores, 65-74. Verlag Shaker, Aachen, Alemania. Pp. 383.
- Pujol, R., Zamora, L., Sanarrusia, M. y Bonilla, F. (1998) Estudio de Impacto Ambiental del Cultivo y Procesamiento del Café. Programa de desarrollo urbano sostenible. Sistema Nacional para el Desarrollo sostenible. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Pp. 20.
- Rodríguez, A. (2000) Programa de tratamiento para las aguas residuales del beneficiado de café en Costa Rica. Editorial CICAPE. Heredia, Costa Rica. Pp. 7.
- Sachon, G., Wiart, J. y Martel, J.L. (1997). Le plan d'épandage agricole des boues d'épuration: une spécificité Française. *Techniques Sciences Méthodes* 2: 3-51
- U.S.E.P.A. (1993). Subsurface flow Constructed Wetlands for wastewater treatment – A Technology Assessment. EPA 832/R93/008. Office Of Wastewater Enforcement and Compliance, Office of Water. Cincinnati, Washintong DC. 20460. Pp. 66.
- U.S.E.P.A. (2003). Environmental Regulations and Technology "control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. EPA/625-R-92/013. National Risk Management Research Laboratory. Cincinnati, Ohio. 45268. Pp.177.