



**Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales del prebeneficiado de café (*Coffea arabica*) implementado en la comunidad Carmen Pampa provincia Nor Yungas del Departamento de La Paz**

**Evaluation of a treatment system wastewater prebeneficiado of coffee (*Coffea arabica*) implemented in the community Carmen Pampa province of Nor Yungas of La Paz Department**

Álvarez Javier<sup>1\*</sup>, Hugh Smeltekop<sup>1</sup>, Cuba Nicanor<sup>1</sup>, Loza-Murguía Manuel<sup>1,2</sup>

**Datos del Artículo**

<sup>1</sup>Universidad Católica Boliviana San Pablo-UCB, Unidad Académica Campesina Carmen Pampa-UAC-CP, Ingeniería Agronómica, Coroico - Nor Yungas ó La Paz, Bolivia. 591 (2) 8781991.

<sup>2</sup>Departamento de Enseñanza e Investigación en Bioquímica & Microbiología-DEI&BM. Unidad Académica Campesina Carmen Pampa-UAC-CP.

\*Dirección de contacto: Campus Leahy..Unidad Académica Campesina Carmen Pampa, Coroico, La Paz Bolivia Casilla 4242 Tel.: 591 (2) 8781991. E-mail address: alvarezjavierca@hotmail.com

**Palabras clave:**

*Residuales de café  
sólidos sedimentables  
demanda bioquímica de  
oxígeno  
ley 1333.*

***J Selva Andina Res Soc. 2011; 2(1):34-42.***

**Historial del artículo.**

Recibido Mayo, 2010.  
Devolto Septiembre, 2011  
Aceptado Marzo, 2011.  
Disponible en línea, Julio 2011.

**Key words:**

Coffee waste  
settleable solids  
biochemical oxygen demand  
Act 1333.

**Resumen**

El presente trabajo de investigación se realizó en la planta prebeneficiadora de café de la UAC-CP, ubicada en la comunidad de Carmen Pampa, municipio Coroico, Nor Yungas del departamento de La Paz. El objetivo fue determinar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales del prebeneficiado de café, debido a que no se conoce su efectividad en reducir el nivel de contaminación de las aguas residuales tratadas; y en función a los resultados corregir y/o validar directamente el modelo de sistema implementado. Para su estudio se establecieron siete puntos de muestreo dentro del sistema de tratamiento y se efectuaron cuatro repeticiones en distintas fechas y con diferentes cantidades de café guindo. Se evaluaron los parámetros de temperatura, pH, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, fijos y volátiles, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y oxígeno disuelto. La temperatura de aguas residuales al ingresar al sistema ha registrado 16.5°C, incrementándose durante el proceso de tratamiento a 17.5°C y a la salida se registro 16.5°C. El pH se incremento de 4.51 a 6.04 que se produjo a nivel de las dos últimas lagunas de oxigenación y no así en el tanque de neutralización. Los sólidos sedimentables (SS) incrementaron de 0.1 mg/L a 0.15 mg/L, lo que se registró a nivel de las lagunas de oxigenación, se atribuye al arrastre de partículas finas de grava. Los sólidos suspendidos totales (SST) han sido reducidos de 1927.5 mg/L a 299 mg/L paulatinamente en todo el proceso de tratamiento. Los sólidos suspendidos fijos (SSF) se redujeron de 137.5 mg/L a 58.5 mg/L. Los sólidos suspendidos volátiles (SSV) fueron reducidos de 1790 mg/L a 240.5 mg/L. La demanda bioquímica de oxígeno (DBOs) fue reducida de 6102.5 mg O<sub>2</sub>/L a 1245 mg O<sub>2</sub>/L. La demanda química de oxígeno (DQO) se ha reducido de 9800 mg O<sub>2</sub>/L a 1658.75 mg O<sub>2</sub>/L. El oxígeno disuelto (OD) se incremento de 0 a 2.4 mg O<sub>2</sub>/L, en las dos últimas lagunas de oxigenación, debido a la reducción de sólidos y de la demanda química y bioquímica de oxígeno. De los nueve parámetros evaluados, seis cumplen con los valores máximos permisibles para la descarga en fuente receptor (arroyo) y tres de ellas están fuera del parámetro de acuerdo al reglamento de la Ley 1333.

© 2011. Journal of the Selva Andina Research Society. Bolivia. Todos los derechos reservados.

**Abstract**

This research was conducted in prebeneficiadora coffee plant of UAC-CP, located in the community of Carmen Pampa, Coroico Municipality, Nor Yungas of La Paz department. The objective was to determine the efficiency of wastewater treatment prebeneficiado coffee because it is not known to be effective in reducing the level of contamination of treated wastewater, and according to the results to correct and / or validate directly model system in place. For their study was established seven sampling points within the system of treatment and four replications were made at different times and with different amounts of coffee cherry. We evaluated the parameters of temperature, pH, settleable solids, total suspended solids, fixed and volatile, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand and dissolved oxygen. The temperature of wastewater entering the system has recorded 16.5 ° C, increasing during the treatment process at 17.5 ° C and record the output is 16.5 ° C. The pH increased from 4.51 to 6.04 which occurred at the last two gaps oxygenation and not in the neutralization tank. Settleable solids (SS) increased from 0.1 mg / L to 0.15 mg / L, which was recorded at the lakes of oxygen, is attributed to the drag of fine gravel. Total suspended solids (TSS) have been reduced from 1927.5 mg / L to 299 mg / L gradually throughout the treatment process. Fixed suspended solids (SSF) were reduced from 137.5 mg / L to 58.5 mg / L. Volatile suspended solids (VSS) were reduced from 1790 mg / L to 240.5 mg / L. Biochemical oxygen demand (BOD) was reduced from 6102.5 mg O<sub>2</sub> / L to 1245 mg O<sub>2</sub> / L. The chemical oxygen demand (COD) was reduced from 9800 mg O<sub>2</sub> / L to 1658.75 mg O<sub>2</sub> / L. Dissolved oxygen (DO) increased from 0 to 2.4 mg O<sub>2</sub> / L, in the last two gaps in oxygenation, due to the reduction of solids and chemical oxygen demand and biochemical oxygen. Of the nine parameters measured, six meet the maximum permissible values for download in source receptor (stream) and three of them are outside the parameter according to the regulation of Law 1333.

© 2011. Journal of the Selva Andina Research Society. Bolivian. All rights reserved.

## Introducción

Los desechos de los procesos agroindustriales constituyen un elemento importante que puede alterar el equilibrio ambiental y poner en peligro la calidad de vida del ser humano, generando problemas de contaminación de agua, aire y suelo (FAO 1990). La industria cafetalera está considerada como una de las más sucias del mundo con alteraciones ambientales negativas. En Bolivia esta problemática es similar a otros países productores de café donde se utiliza como proceso de beneficio la vía húmeda, y no se cuenta con un sistema de tratamiento eficiente en todos los casos. Esta situación se agrava si tenemos en cuenta que los centros de despulpe de café se encuentran ubicados en zonas de montañas donde están los ecosistemas más frágiles, y que el proceso de beneficio se realiza en los meses de sequía, durante los cuales los ríos disminuyen el caudal aumentando la concentración de las sustancias contaminantes.

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 hidrogel, 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 & 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. Estudios realizados por Claass (2003), 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 agroindustriales 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 bacteriana 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 & Hidalgo 2000, Rodríguez 2000). Los sistemas de tratamiento utilizados actualmente resultan insuficientes, y en muchos casos inapropiados para este tipo de residual de naturaleza química compleja, por lo que se hace necesario la búsqueda de otros sistemas más integrales y eficientes que sean capaces de reducir el enorme volumen de agua que actualmente es utilizado en el beneficio, y permitan tratar la alta carga orgánica que anualmente es descargada en nuestras cuencas y que provoca un impacto negativo en el desempeño económico de esta agroindustria, originando incertidumbres en su desarrollo actual y prospectivo. Todos estos aspectos constituyen motivaciones especiales para retomar el estudio de los principales impactos sobre el medio ambiente de la agroindustria cafetalera en el territorio de la provincia Guantánamo, segunda productora del grano del país, y efectuar una propuesta de las acciones técnico-organizativas para reducir su efecto y proponer posibles soluciones tecnológicas para hacer del café un producto ecológico.

El objetivo de esta investigación es evaluar los sistemas de tratamiento aguas residuales generadas durante el proceso post-cosecha de café en la planta beneficiadora implementada en la comunidad de Carmen Pampa, provincia Nor Yungas. Con este trabajo se establecerían las bases para la adopción de sistemas de tratamiento a fin de mejorar la calidad de las fuentes hídricas reduciendo considerablemente la contaminación orgánica y microbiológica (Baumann et al 2003, Baumann 2003, Claass 2003, Orozco et al 2004).

### **Materiales y métodos**

*Área de estudio.* El presente trabajo de investigación se realizó en los predios de la planta prebeneficiadora de café de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa (UAC-CP), ubicada en la comunidad de Carmen Pampa, perteneciente al municipio de Coroico, primera sección de la provincia Nor Yungas del departamento de La Paz. Geográficamente está situada a una altitud de 1850 m.s.n.m., 16°20'00" de latitud Sur y 67°50'00" de longitud Oeste, a 15 km de la ciudad de Coroico.

*Muestreo.* La toma de muestras se realizó de forma compuesta, obteniendo tres submuestras a un intervalo de 3 minutos cada una, de la misma manera se efectuó en los siete puntos de muestreo y con cada una de las repeticiones que se han desarrollado. Las muestras se recolectaron en botellas plásticas de 2 litros limpias, de acuerdo al parámetro a ensayar in situ se determino pH, conductividad y temperatura, Las muestras se etiquetaron y remitieron al Laboratorio del Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés (IIS-UMSA), conservándolas a 4°C en hielo el mismo día de su muestreo.

La toma de muestras fue con un intervalo de 24 horas en cada punto de muestreo y para una mejor precisión se realizó cuatro repeticiones tomándose en total 28 muestras en diferentes fechas y con diferentes cantidades de café guinda. Las muestras fueron etiquetadas y colocadas en un contenedor de de plastoform para su envío al IIS-UMSA.

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).

Las pruebas se repitieron en dos diferentes días durante 14 semanas; las muestras se tomaron de lunes a 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.

*Evaluación analítica.* Las determinaciones realizadas en el laboratorio IIS-UMSA fueron: Sólidos sedimentables, Sólidos suspendidos totales, Sólidos suspendidos fijos, Sólidos suspendidos volátiles, Oxígeno disuelto, Demanda bioquímica de oxígeno, Demanda química de oxígeno, pH, y temperatura.

*Análisis estadístico.* Los datos se analizaron con el software de estadística SAS (Minitab 2007). En la comparación de medias se utilizó la prueba Duncan (  $\alpha$  5%). En el análisis inicial de los datos de coeficiente de variación fueron muy altas (por encima de 30%) en siete parámetros, por tanto se hizo una transformación de logaritmo más diez ( $\log+10$ ), con ella se ha normalizado y reducido el coeficiente de variación en todos los parámetros de estudio.

## Resultados

## Discusión

Parte de la misión de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa (UAC-CP) es la conservación de los recursos naturales y medio ambiente reduciendo la contaminación ambiental y fortaleciendo las prácticas de la agricultura ecológica sustentable.

La calidad de agua que se emplea para el prebeneficiado de café, de acuerdo a los análisis físicos-químicos, corresponde a la clase A y B de acuerdo a la Ley 1333.

Las aguas residuales en proceso de tratamiento modifican considerablemente los valores de concentración de diferentes parámetros evaluados. El tratamiento preliminar que consta de un canal de tamices compuesto de diferentes milímetros de diámetro, la concentración de sólidos suspendidos totales reduce en un 21%, los sólidos sedimentables, el pH, el oxígeno disuelto y la temperatura se mantienen constantes, y la DBO<sub>5</sub> y la DQO elevan su concentración. Tratamiento que consta de un tanque de neutralización que contiene piedra caliza, asignado para la neutralización de pH, no ha tenido efecto. En el tanque de sedimentación tampoco ocurrió una sedimentación adecuada por falta de floculación de sólidos suspendidos, lo que dificulta la formación y eliminación de lodos de sólidos en esta etapa

**Tabla 1** Parámetros evaluados de un sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta prebeneficiadora de café implementada en la comunidad Carmen Pampa, Provincia Nor Yungas Departamento de La Paz, Bolivia

Parámetros	Unidad	Puntos de muestreo						
		CT	TO	LO 1	LO 2	LO 3	LO 4	FINAL
SS	mg L <sup>-1</sup>	0.1	0.1	0.1	25	65	0.2	0.3
SST	mg L <sup>-1</sup>	2760	1920	1875	3750	4562	512	1012
SSF	mg L <sup>-1</sup>	120	240	312	1000	1437	200	175
SSV	mg L <sup>-1</sup>	2640	1680	1563	2750	3125	312	837
OD	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	0	0	0	0	0	0.1	0.8
DBO5	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	6050	4980	7800	5380	5160	3380	1590
DQO	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	9750	7900	13248	9510	8320	4377	2329
pH	pH	4.46	4.76	4.86	4.72	4.25	4.64	5.8
T°	°C	16.9	16.6	17	17	17	16	16

SS. Sólidos sedimentables. SST. Sólidos suspendidos totales SSF. Sólidos suspendidos fijos, SSV. Sólidos suspendidos volátiles. OD. Oxígeno disuelto DBO. Demanda bioquímica de oxígeno DQO .Demanda química de oxígeno pH. Potencial de hidrógeno T°. Temperatura. CT. Entrada canal de tamices TO. Tanque de oxigenación. LO1 Laguna de oxigenación 1. LO2 Laguna de oxigenación 2. LO3 Laguna de oxigenación 3 LO4 Laguna de oxigenación 4 FINAL. Salida de desemboque final. El total de puntos de muestreo siete, evaluados el 04 de julio.

**Tabla 2** Parámetros evaluados de un sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta prebeneficiadora de café implementada en la comunidad Carmen Pampa, Provincia Nor Yungas Departamento de La Paz, Bolivia

Parámetros	Unidad	Puntos de muestreo						
		CT	TO	LO 1	LO 2	LO 3	LO 4	FINAL
SS	mg L <sup>-1</sup>	0.1	0.01	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
SST	mg L <sup>-1</sup>	3030	2700	2250	740	55	15	18
SSF	mg L <sup>-1</sup>	210	500	300	180	12	2	4
SSV	mg L <sup>-1</sup>	2820	2200	1950	560	43	13	14
OD	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	0	0	0	0	0	3,7	2,1
DBO5	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	7260	11080	5530	2880	2640	1950	1870
DQO	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	11950	16300	10176	3950	3050	2320	2280
pH	pH	4.09	4.19	3.97	4.94	5	5.4	5.58
T°	°C	17	17	16	16	17	17	17

SS. Sólidos sedimentables. SST. Sólidos suspendidos totales SSF. Sólidos suspendidos fijos, SSV. Sólidos suspendidos volátiles. OD. Oxígeno disuelto DBO. Demanda bioquímica de oxígeno DQO .Demanda química de oxígeno pH. Potencial de hidrógeno T°. Temperatura. CT. Entrada canal de tamices TO. Tanque de oxigenación. LO1 Laguna de oxigenación 1. LO2 Laguna de oxigenación 2. LO3 Laguna de oxigenación 3 LO4 Laguna de oxigenación 4 FINAL. Salida de desemboque final. El total de puntos de muestreo siete, evaluados el 10 de julio.

**Tabla 3 Parámetros evaluados de un sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta prebeneficiadora de café implementada en la comunidad Carmen Pampa, Provincia Nor Yungas Departamento de La Paz, Bolivia**

Parámetros	Unidad	Puntos de muestreo						
		CT	TO	LO 1	LO 2	LO 3	LO 4	FINAL
SS	mg L <sup>-1</sup>	0.1	0.1	0.1	35	0.1	0.2	0.1
SST	mg L <sup>-1</sup>	840	920	820	1080	84	63	61
SSF	mg L <sup>-1</sup>	140	40	200	460	13	18	18
SSV	mg L <sup>-1</sup>	700	880	620	620	71	45	43
OD	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	0	0	0	0	0	0.4	4.7
DBO5	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	7720	9860	4520	2680	890	590	430
DQO	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	11300	14700	8350	3950	1700	930	510
pH	pH	4.85	4.8	4.3	4.98	5.3	5.86	6.66
T°	°C	18	19	18	19	19	17	16

SS. Sólidos sedimentables. SST. Sólidos suspendidos totales SSF. Sólidos suspendidos fijos, SSV. Sólidos suspendidos volátiles. OD. Oxígeno disuelto DBO. Demanda bioquímica de oxígeno DQO .Demanda química de oxígeno pH. Potencial de hidrógeno T°. Temperatura. CT. Entrada canal de tamicos TO. Tanque de oxigenación. LO1 Laguna de oxigenación 1. LO2 Laguna de oxigenación 2. LO3 Laguna de oxigenación 3 LO4 Laguna de oxigenación 4 FINAL. Salida de desembocadura final. El total de puntos de muestreo siete, evaluados el 20 de julio.

**Tabla 4 Parámetros evaluados de un sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta prebeneficiadora de café implementada en la comunidad Carmen Pampa, Provincia Nor Yungas Departamento de La Paz, Bolivia**

Parámetros	Unidad	Puntos de muestreo						
		CT	TO	LO 1	LO 2	LO 3	LO 4	FINAL
SS	mg L <sup>-1</sup>	0.1	0.1	0.1	3.5	0.1	0.1	0.1
SST	mg L <sup>-1</sup>	1080	540	520	230	217	82	105
SSF	mg L <sup>-1</sup>	80	60	80	35	15	20	37
SSV	mg L <sup>-1</sup>	1000	480	440	195	202	62	68
OD	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	0	0	0	0	0	0.2	2
DBO5	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	3380	3260	3260	2570	3580	1540	1090
DQO	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	6200	5900	5900	3450	5000	1980	1516
pH	pH	4.64	4.61	4.42	4.4	4.72	5.82	6.1
T°	°C	14	14	15	16	17	17	14

SS. Sólidos sedimentables. SST. Sólidos suspendidos totales SSF. Sólidos suspendidos fijos, SSV. Sólidos suspendidos volátiles. OD. Oxígeno disuelto DBO. Demanda bioquímica de oxígeno DQO .Demanda química de oxígeno pH. Potencial de hidrógeno T°. Temperatura. CT. Entrada canal de tamicos TO. Tanque de oxigenación. LO1 Laguna de oxigenación 1. LO2 Laguna de oxigenación 2. LO3 Laguna de oxigenación 3 LO4 Laguna de oxigenación 4 FINAL. Salida de desembocadura final. El total de puntos de muestreo siete, evaluados el 27 de julio.

**Tabla 5 Comparación de los parámetros evaluados de un sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta prebeneficiadora de café implementada en la comunidad Carmen Pampa, en relación a las aguas puras y residuales. Provincia Nor Yungas Departamento de La Paz, Bolivia**

Comparación de Aguas				
Parámetros	Unidad	Agua Pura	Agua Residual	Agua Tratada
		SS	mg L <sup>-1</sup>	0.10
SST	mg L <sup>-1</sup>	0.00	1927.50	299.00
SSF	mg L <sup>-1</sup>	0.00	137.50	58.50
SSV	mg L <sup>-1</sup>	0.00	1790.00	240.50
OD	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	8.50	0.00	2.40
DBO5	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	3.00	6102.50	1245.00
DQO	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	8.00	9800.00	1658.75
pH	pH	6.59	4.51	6.04
T°	°C	13.00	16.50	16.50

SS. Sólidos sedimentables. SST. Sólidos suspendidos totales SSF. Sólidos suspendidos fijos, SSV. Sólidos suspendidos volátiles. OD. Oxígeno disuelto DBO. Demanda bioquímica de oxígeno DQO .Demanda química de oxígeno pH. Potencial de hidrógeno T°. Temperatura. CT. Entrada canal de tamices TO. Tanque de oxigenación. LO1 Laguna de oxigenación 1. LO2 Laguna de oxigenación 2. LO3 Laguna de oxigenación 3 LO4 Laguna de oxigenación 4 FINAL. Salida de desemboque final.

**Tabla 6 Comparación de parámetros evaluados de un sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta prebeneficiadora de café (STARPC) implementada en la comunidad Carmen Pampa, Provincia Nor Yungas Departamento de La Paz, Bolivia, en relación a la ley 1333.**

Parámetros	Unidad	STARPC			Ley 1333			
		Max.	Min.	Media	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D
SS	mg L <sup>-1</sup>	0.3	0.1	0.15	< 10	< 30	< 50	< 100
SST	mg L <sup>-1</sup>	1012	18	299	1000	1000	15000	15000
SSF	mg L <sup>-1</sup>	175	4	58.5				
SSV	mg L <sup>-1</sup>	837	14	240.5				
OD	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	<b>4.7</b>	<b>0.8</b>	<b>2.4</b>	<b>&gt;80% sat.</b>	<b>&gt;70% sat.</b>	<b>&gt;60% sat.</b>	<b>&gt;50% sat.</b>
DBO5	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	<b>1870</b>	<b>430</b>	<b>1245</b>	<b>&lt; 2</b>	<b>&lt; 5</b>	<b>&lt; 20</b>	<b>&lt; 30</b>
DQO	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	<b>2329</b>	<b>510</b>	<b>1658.75</b>	<b>&lt; 5</b>	<b>&lt; 10</b>	<b>&lt; 40</b>	<b>&lt; 60</b>
pH	pH	6.66	5.58	6.04	6.0-8.5	6.0-9.0	6.0-9.0	6.0-9.0
T°	°C	17	16	16.50	+/-3 c.r.	+/-3 c.r.	+/-3 c.r.	+/-3 c.r.

SS. Sólidos sedimentables. SST. Sólidos suspendidos totales SSF. Sólidos suspendidos fijos, SSV. Sólidos suspendidos volátiles. OD. Oxígeno disuelto DBO. Demanda bioquímica de oxígeno DQO .Demanda química de oxígeno pH. Potencial de hidrógeno T°. Temperatura.

Las lagunas de oxigenación (tratamiento secundario) que consta de cuatro pozas contenidas de grava, asignada para la filtración de aguas residuales, se tiene éxito debido a que existe un incremento en pH de 4.39 a 6.04, en oxígeno disuelto de 0 a 2.4 mg O<sub>2</sub>/l y un incremento mínimo en sólidos sedimentables de 0.1 a 0.15 mg/l por efecto de la grava; al mismo tiempo reduce la concentración de sólidos suspendidos totales en un 78 %, la DBO<sub>5</sub> en un 95 % y la DQO en un 82 %.

La comparación de los valores de las aguas residuales tratadas que fluyen del sistema de tratamiento de aguas residuales de café (STARC) y los valores máximos admisibles en fuentes de descarga de acuerdo a la Ley 1333, la concentración de valores de los parámetros que son los sólidos sedimentables (SS), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos fijos (SSF), sólidos suspendidos volátiles (SSV), pH y la temperatura (T°), están dentro del rango permisible y la concentración de los valores de los parámetros de oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>); y la demanda química de oxígeno (DQO), están fuera del rango permisible de la Ley 1333.

### Conflictos de interés

Esta investigación no presenta conflictos de interés.

### Agradecimientos

Los autores agradecen al personal del Laboratorio de Fitopatología de la Carrera de Agronomía. A la Cooperación Técnica Belga (CTB) por el financiamiento, a USAID/Bolivia por el

financiamiento de los materiales de escritorio. Al Ing. José Maldonado A. e Ing. Tito Calle, por la revisión crítica.

### Literatura citada

- Baumann J. Conservación de Suelos y Agua para la costa de Chiapas Logros del Programa de Expertos Integrados CIM-CNA 1997-2003. Resumen ejecutivo. Comisión Nacional del Agua y Centro para migración y Desarrollo Internacional, México, D.F.-Frankfurt, Alemania. 2003; p.16.
- Baumann J, Claass M, Galatos H, Giessemann B, Baumann D. La planta piloto de tratamiento de aguas residuales del café, Finca Argovia. Segundo diplomado sobre desarrollo de zonas cafetaleras. ECOSUR, Tapachula, Chiapas, México. 2003;p.18
- Bello R, Calvo LA, Sánchez JE, Lau G, Cuevas R. Diagnostico de la contaminación en las aguas residuales de los beneficios húmedos de café en el soconusco, Chiapas, México. XVI Congreso Latinoamericano Cafeticultura. 27-29 octubre CONCAFE-PROMECAFE-IICA, Managua, Nicaragua. 1993; p.123
- Braham JE, Bressani R. Pulpa de Café: Composición Tecnología y Utilización. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Colombia. 1978; p.9-31.
- Brezan F, Estrada-Jarquín R. Pulpa de café, Composición Química y Contenido de Aminoácidos de la proteína de la pulpa. Turrialba (costa Rica) 1972;22:299-304.
- Cervantes SM. Citado por Rodolfo Valadez, ñNuevas tendencias de producción en beneficios cafetaleros; en El café de México,



- una producción de altura; Confederación Mexicana de Productores de Café. 1998;p. 13.
- Claass M. Realización de una planta piloto de tratamiento descentralizada. Documentación e investigación de una pequeña planta técnicabiológica para aguas residuales de la producción del café, desde la planeación hasta la optimización, tesis doctoral. Facultad de Técnicas Ambientales y de Biotécnica. Fachhochschule Huyesen Friedberg, Alemania. 2003.
- Elías GL. Composición química de la pulpa y otros productos: Pulpa de café, composición, Tecnología y Utilización. Bogotá, Colombia. Editorial CIDD. 1972; p.24.
- FAO. Naciones Unidas, Estudios e informes de la CEPAL, 1990.
- FECAFEB. Manual de calidad de café para las familias de FECAFEB. La Paz, Bolivia. 2006;p196.
- Hernández J, Hidalgo G. 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. Tesis licenciatura. Universidad EARTH. Guácimo, Costa Rica. 200; p. 85.
- Metcalf E. Ingeniería sanitaria tratamiento evacuación y reutilización de las aguas residuales. Editorial Labor; Barcelona, España. 1985.
- Orozco C, Barrientos H, Giesseman B, Arellano J. 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 Hidagrícola. Gerencia Regional Frontera Sur. Comisión Nacional Del Agua. Tapachula, Chiapas. México. 2004; p.74.
- Pujol R, Zamora L, Sanarrusia M, Bonilla F. 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. 1998; p.20.
- QHANATATIWA. Solidaridad con dignidad. Edición Centro de educación popular qhana. La Paz, Bolivia. 2005; p.40.
- Rodríguez A. Programa de tratamiento para las aguas residuales del beneficiado de café en Costa Rica. Editorial CICAFFE. Heredia, Costa Rica. 200; p.7.
-