

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE BIOLOGIA

INFORME DE TRABAJO FINAL DE GRADUACION

UTILIZACION DE CENIZAS EN EL TRATAMIENTO DE LAS
AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DEL BENEFICIO DE
CAFE DE COOPEVICTORIA R. L.

Melania Brenes Pereira

Marzo, 2006



**UTILIZACION DE CENIZAS EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS
RESIDUALES PROCEDENTES DEL BENEFICIO DE CAFE DE
COOPEVICTORIA R. L.**

Melania Brenes Pereira*

RESUMEN

La ceniza producida por el ingenio azucarero de CoopeVictoria fue utilizada para evaluar el efecto de este material como adsorbente en cuanto a remoción de ciertos parámetros de control de calidad de las aguas residuales del beneficio de café de la misma empresa. Se realizaron seis ensayos preliminares para evaluar y determinar la dosis de ceniza, el tiempo de retención, y el comportamiento de dicho material en el agua residual. Para la investigación se diseñó un sistema de lagunas de oxidación y se evaluaron cuatro ensayos en los cuales se logró una remoción de la materia orgánica de 68%, con una dosis de ceniza de 8 kg/m³ y un tiempo de retención de 14 días, esto con un rango de pH de 4-5 a 20 °C. El color y la turbiedad fueron removidos en un 84% y 92%, respectivamente. Mientras que la remoción no fue tan efectiva para grasas y sólidos totales.

Palabras claves: ceniza, carga orgánica superficial, lagunas de oxidación.

* **INFORME DE TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN, Escuela de Biología, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 2006**

**UTILIZACION DE CENIZAS EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS
RESIDUALES PROCEDENTES DEL BENEFICIO DE CAFE DE
COOPEVICTORIA R. L.**

Melania Brenes Pereira*

ABSTRACT

The ash, a waste from the sugar industry, produced by CoopeVictoria R.L. were proved to evaluate their absorb effect of several quality control parameters of wastewater from the coffee industry at the same cooperative.

Six preliminary trials were made to evaluate and specify the ash amount, the retention time and the material behavior on the sewage water. To the evaluation of the four trials a oxidation lagoons system were designed in the investigation, getting to poke a maximum of 82% of organic matter, with a 8 kg/m³ ash dose, a 14 days retention time and a 4-5 pH at 20°C. The color and muddiness change over an 84% and 92% respectively. The fat and total solids were not efficiently removed.

Words keys: ash, superficial organic load, oxidation lagoons

* **INFORME DE TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN, Escuela de Biología, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 2006**

**UTILIZACION DE CENIZAS EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS
RESIDUALES PROCEDENTES DEL BENEFICIO DE CAFE DE
COOPEVICTORIA R. L.**

Informe presentado a la Escuela de Biología del Instituto Tecnológico de Costa Rica por Melania Brenes Pereira como requisito parcial para optar al título de Bachiller en Ingeniería en Biotecnología.

Miembros del tribunal

M.Sc. Alma Deloya Martínez
Asesor Interno

Ing. Carlos Quesada Brenes
Asesor Externo

Ing. Dagoberto Rodríguez Solís
Lector

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen de los Angeles por tantas bendiciones recibidas y acompañarme en todos los momentos de mi vida

A mis padres que son lo más importante en mi vida. Este trabajo es un esfuerzo de nosotros tres, los amo.

A mis hermanos Iván y Geovanny los quiero con todo mi corazón.

Melania

AGRADECIMIENTOS

Deseo por este medio dejar constancia de mi agradecimiento a las personas que de alguna manera hicieron posible la realización de este trabajo:

A la M.Sc Alma Deloya Martínez, por ser una gran guía durante esta investigación, por su apoyo en todo momento y su amistad.

Al Ing. Dagoberto Rodríguez Solís, Gerente General de CoopeVictoria, por permitirme realizar este trabajo en tan prestigiosa empresa, por fungir como lector de este proyecto y apoyar este tipo de iniciativas ambientales que tanta falta hacen en este país.

Al Ing. Carlos Quesada Brenes, Jefe del Departamento Agrícola de CoopeVictoria, por su respaldo, amistad y por ser parte del jurado.

Al Sr. Héctor Barrantes Rodríguez, Jefe del Beneficio, por su apoyo con esta investigación y permitirme colaborar y modificar aspectos en el sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio.

Al Sr. Sigifredo Salguero por su colaboración en el laboratorio de CoopeVictoria

A Lourdes, Bernardo y Freddy por su disponibilidad y ayuda en todo momento.

Al Sr. Jorge Ulate Alvarado, a su esposa Francela Guzmán Montero y sus tres hijos Andrés, José David y Carolina, por abrirme las puertas de su hogar y permitirme ser un miembro más de su linda familia, que Dios los bendiga mucho.

Al Sr. Luis Carlos Murillo por su gran ayuda durante el montaje de los ensayos, por su disponibilidad y amistad.

A mi tío Rafa Pereira por su apoyo e interés en mi trabajo.

A mi mejor amigo, porque una verdadera amistad hace cortas las distancias, te quiero mucho, gracias por todo.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ACREDITACION.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
INDICE GENERAL.....	vii
INDICE DE CUADROS.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	x
INDICE DE ANEXOS.....	xi
CAPITULO 1. INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 2. OBJETIVOS.....	2
Objetivo General.....	2
Objetivos Específicos.....	2
CAPITULO 3. REVISION DE LITERATURA.....	3
Contaminación ambiental generada por las aguas residuales de café.....	3
Materiales de desecho producto de la industrialización de la caña de azúcar	4
Utilización de ceniza en el tratamiento de aguas residuales.....	6
Ceniza generada por el ingenio de CoopeVictoria R.L.....	9
CAPITULO 4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL BENEFICIO DE CAFÉ DE COOPEVICTORIA R.L.....	11
CAPITULO 5. MATERIALES Y METODOS.....	16
CAPITULO 6. RESULTADOS Y DISCUSION.....	18
CAPITULO 7. CONCLUSIONES.....	36
CAPITULO 8. RECOMENDACIONES.....	37
CAPITULO 9. BIBLIOGRAFIA.....	40
CAPITULO 10. ANEXOS.....	45

INDICE DE CUADROS

Num.	Título	Pág.
1	Características de las cenizas volantes utilizadas en el tratamiento de aguas residuales reportadas por varios autores.....	6
2	Remoción del color durante el tratamiento de las aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R.L. al aplicar diferentes cargas, dosis de ceniza y tiempos de retención.....	22
3	Remoción de la turbiedad durante el tratamiento de las aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R.L. al aplicar diferentes cargas, dosis de ceniza y tiempos de retención.....	23
4	Remoción de los sólidos totales y sedimentables obtenida para el efluente del tratamiento de las aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R.L. al aplicar diferentes cargas y dosis de ceniza.....	24
5	Remoción de la materia orgánica (DQO) obtenida para el efluente del tratamiento de las aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R.L. al utilizar diferentes cargas y dosis de ceniza.....	27
6	Comportamiento de la materia orgánica (DQO) con un tiempo de retención de siete días del tratamiento de las aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R.L. al aplicar diferentes cargas y dosis de ceniza.....	28
7	Remoción de la materia orgánica (DBO) obtenida para el efluente del tratamiento de las aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R.L. al aplicar diferentes cargas y dosis de ceniza.....	30
8	Remoción de las grasas y aceites obtenidas para el efluente del tratamiento de las aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R.L. al aplicar diferentes cargas y dosis de ceniza.....	31

9	Comportamiento de la temperatura durante el tratamiento de las aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R.L. al utilizar diferentes cargas orgánicas, dosis de ceniza y tiempos de retención.....	33
10	Comportamiento del pH durante el tratamiento de las aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R.L. al utilizar diferentes cargas orgánicas, dosis de ceniza y tiempos de retención.....	34
11	Cargas Orgánicas Superficiales (COS) aplicadas durante el estudio en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	35

INDICE DE FIGURAS

Num.	Título	Pág.
1	Sedimentador de ceniza del Ingenio Azucarero de CoopeVictoria R.L... ..	10
2	Diagrama de flujo del Tratamiento de las Aguas Residuales del Beneficio de CoopeVictoria R.L.....	14
3	Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de CoopeVictoria R.L.....	15
4	Determinación de algunos parámetros evaluados.....	17
5	Efluente final para el ensayo 3 y 4, con cargas orgánicas superficiales de 4400 y 4474,07 kg DQO/día.Ha, respectivamente.....	19
6	Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales de café al implementar ceniza.....	38
7	Estructura de salida con un vertedero de altura móvil usando un baffle, en la última laguna para el tratamiento con ceniza.....	39

INDICE DE ANEXOS

Num.	Título	Pág.
1	Informe del resultado del análisis químico de la ceniza utilizada en el trabajo realizado por el Laboratorio de Servicios Químicos y Microbiológicos.....	45
2	Informe del resultado del análisis químico de la ceniza utilizada en el trabajo realizado por el Laboratorio de Suelos y Foliare.....	46
3	Figura A1. Efluente del ensayo 3, con carga orgánica superficial de 4400 kg DQO/día.Ha y con 14 días de tiempo de retención.....	48
4	Figura A2. Efluente del ensayo 4, con carga orgánica superficial de 4474 kg DQO/día.Ha y con 14 días de tiempo de retención.....	49

CAPITULO 1. INTRODUCCION

El cultivo e industrialización del café en Costa Rica es una actividad muy importante como fuente de ingresos, sin embargo la dimensión del problema de contaminación ambiental que origina esta actividad ha obligado a todos los sectores involucrados a investigar a fondo sus consecuencias y a implementar métodos eficientes y económicos de control (Clevés, 1998; Instituto del Café de Costa Rica, 2000).

CoopeVictoria R.L., como empresa pionera en la industrialización del azúcar y el café, busca nuevas alternativas para el control de la contaminación del agua, acordes a nuestra realidad nacional y explora soluciones prácticas para manejar sus desechos, especialmente el bagazo, la cachaza y la ceniza.

El uso de ceniza en el tratamiento de aguas residuales ha tenido una aplicación directa para lograr la remoción de diferentes sustancias, tales como materia orgánica, compuestos orgánicos, productos químicos, sustancias tóxicas entre otras (Fair & Geyer, 2001).

Es por ello que bajo este concepto se presenta el siguiente trabajo, para evaluar un material de desecho, como lo es la ceniza generada por un ingenio azucarero, en cuanto a su capacidad como adsorbente para eliminar contaminantes de las aguas residuales de beneficiado de café.

La investigación que se presenta se llevó a cabo de octubre del 2005 a febrero del 2006, con el objetivo de evaluar la utilización de cenizas generadas por el Ingenio Azucarero de CoopeVictoria R. L. en el tratamiento de las aguas residuales del Beneficio de Café de la misma empresa. Durante el estudio se simuló un sistema de lagunas de oxidación evaluándose distintas dosis de ceniza y tiempos de retención para tratar diferentes cargas orgánicas. Se determinó que con un tiempo de retención de 14 días y con un rango de pH entre 4 y 5 se logra una remoción de materia orgánica de 68% para una dosis de ceniza de 8 kg/m³.

CAPITULO 2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Desarrollar y evaluar un sistema de tratamiento por lagunas de oxidación utilizando la ceniza generada por el Ingenio Azucarero de CoopeVictoria R.L. para evaluar el efecto en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales del Beneficio de Café de la misma empresa.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar y evaluar la dosis de ceniza y el tiempo de retención que puede emplearse para dar tratamiento a las aguas residuales de beneficiado de café.
- Establecer las eficiencias del sistema desarrollado en términos de la materia orgánica removida, para determinar la efectividad del tratamiento.
- Evaluar el comportamiento del sistema desarrollado en términos de los principales parámetros, tales como: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Grasas y Aceites (GyA), Sólidos Totales (ST), Sólidos Sedimentables (Ssed), potencial de hidrógeno (pH), Temperatura, Color y Turbiedad, para determinar la calidad del efluente del tratamiento evaluado.

Contaminación ambiental generada por las aguas residuales de café

En comparación con las aguas negras, la carga contaminante de las aguas residuales de café en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno, es de aproximadamente 20-30 veces mayor (las aguas negras tienen su poder contaminante de 200 mg por litro de DBO), en tanto que las aguas mieles del café tienen 4000-6000 mg por litro de DBO (COOCAFE R.L., 1998).

En otras palabras, la contaminación que produce el proceso húmedo de una tonelada de café es equivalente a la causada por 2000 personas durante un día, por lo que relacionarlo con una producción anual en Costa Rica de 160 000 toneladas, la contaminación sería equivalente a una población de 320 000 000 de habitantes en un día, con el agravante de estar concentrada en el reducido período de cosecha y agravada aún más al coincidir parte del período de recolección con la estación seca, cuando los ríos tienen su menor caudal, lo cual ocasiona serias molestias a la población y produce un efecto letal en las corrientes receptoras (Cléves, 1998; COOCAFE R.L., 1998).

Algunos autores indican que 1 fanega de café genera aproximadamente 10 kilogramos de Demanda Química de Oxígeno, mientras que otros demuestran 60 gramos de Demanda Química de Oxígeno por kilogramo de café en cereza. Estos valores no incluyen la pulpa de café (Cléves, 1998).

Aunque existen grandes diferencias entre los datos reportados en cuanto a las características y concentraciones de las aguas de despulpado y de lavado porque cada beneficio utiliza cantidades de agua diferente, todo coincide en que estas aguas por su alto poder contaminante necesitan de un buen tratamiento que permita ya sea su vertido o reuso (Asociación Nacional de Café, 1985; Cléves, 1998).

Materiales de desecho producto de la industrialización de la caña de azúcar

La disposición de residuos sólidos es uno de los mayores problemas que enfrentan las empresas industrializadoras. Cientos de miles de toneladas de residuos sólidos se generan anualmente como resultado de la manufactura de diferentes bienes y servicios los cuales como materiales de desecho contaminan el medio ambiente (Caballero, 2004; Gil *et al.*, 1998).

El bagazo de caña de azúcar es un residuo de la industria azucarera el cual es generado en gran cantidad. Por ejemplo, en Cuba se obtiene 1 tonelada por cada 3,5 toneladas de caña procesada y este valor corresponde al 28,5% del peso de la caña (Antolín & Oliva, 2003).

En términos medioambientales, el bagazo ha adquirido gran importancia ya que representa una fuente energética de gran valor, un indicador de esta importancia es su relación con el fuel-oil en lo que al valor energético se refiere, ya que 5 toneladas de bagazo, perfectamente puede sustituir a una tonelada de petróleo (Antolín & Oliva, 2003).

El bagazo de caña de azúcar está constituido por fibras lignocelulósicas que forman paredes de celda, con humedad absorbida y condensada, varios extractos y algunos componentes minerales. Estos componentes pueden variar para diferentes partes y especies de la planta, pero la composición media suele estar en torno a los siguientes valores: celulosa 25-45%, hemicelulosa 25-50% y lignina 10-30% (Antolín & Oliva, 2003).

Ahora bien, el empleo del bagazo como fuente energética ocasiona otro inconveniente ambiental, y es que como producto de la combustión de dicho material se genera gran cantidad de ceniza. En Brasil se ha determinado que se producen 6 kg de ceniza por cada 260 kg de bagazo de caña que alimenta una caldera, lo cual significaría un equivalente aproximado al 2.3% (FIESP & CIESP, 2001).

Dichas cenizas volantes pertenecen a una amplia gama de contaminantes sólidos por lo que sus propiedades varían en función del

proceso de combustión y de las características del carbón (Comisión Europea, 2003; Santaella & Salamanca, 2004).

El pequeño tamaño de partícula de las cenizas volantes contribuye a que sean arrastradas por los gases que se generan durante la combustión. Anteriormente esta ceniza era liberada al ambiente por las chimeneas de las industrias, ahora y como parte de las políticas ambientalistas de los países queda retenida en los sistemas de depuración de gases. (Caballero, 2004; Gil *et al.*, 1998; Torroja, 2003).

Estudios recientes hablan sobre las características y virtudes que presenta la ceniza volante, como adsorbentes e intercambiadores iónicos, a partir de los cuales se pueden sintetizar zeolitas, y emplearlas para la remoción de metales potencialmente tóxicos, como el cromo de aguas residuales (Gil *et al.*, 1998; Santaella & Salamanca, 2004). Todos estos usos demuestran que las cenizas volantes que anteriormente eran "basura", constituyen hoy día una materia prima con enormes ventajas en el tratamiento de aguas residuales y una excelente solución para evitar que este desecho continúe contaminando el medio ambiente (Caballero, 2004; Sawyer *et al.*, 2001).

La ceniza volante es una sustancia particulada que se caracteriza por su contenido de carbón, microelementos y por su alto contenido de óxidos metálicos como sílice, aluminio y hierro, y además contienen otros óxidos que se encuentran en proporciones menores (Lin & Chang, 2001).

El siguiente cuadro presenta los porcentajes de óxidos que contienen las cenizas volantes.

Cuadro 1. Características de las cenizas volantes utilizadas en el tratamiento de aguas residuales reportadas por varios autores.

Oxidos	Porcentaje de Oxidos (%)		
	Santaella & Salamanca (2004)	Gitari <i>et al.</i> (2005)	Sahu <i>et al.</i> (2001)
SiO ₂	61.30	53.39	62.0
Al ₂ O ₃	23.50	23.40	21.98
Fe ₂ O ₃	4.20	4.72	7.20
TiO ₂	1.20	1.34	1.10
CaO	1.00	8.43	3.20
MgO	0.73	2.70	1.10
Na ₂ O	0.53	0.35	No se reporta
K ₂ O	1.27	0.49	No se reporta
SO ₃	0.31	No se reporta	0.62
P ₂ O ₅	0.68	0.35	1.35
BaO	0.15	No se reporta	No se reporta
SrO	0.20	No se reporta	No se reporta
MnO	0.02	0.06	No se reporta

Utilización de ceniza en el tratamiento de aguas residuales

Actualmente la adsorción desempeña un papel muy importante en una variedad de procesos de tratamiento de aguas residuales. Rodríguez *et al.* (1997), definen este proceso como: “el momento en que sustancias disueltas se adhieren en la superficie de algún líquido o sólido”.

Este fenómeno se lleva a cabo debido a que las fuerzas moleculares en la superficie de un líquido se encuentran de manera tal que pueden ser atraídas por otras. De esta manera en la superficie de un sólido, las moléculas o iones atraen hacia sí, las de otras sustancias que se ponen en contacto reteniéndolas en su superficie, debido a que no tienen satisfechas todas sus fuerzas de unión con otras partículas (Fair & Geyer, 2001; Rodríguez *et al.*, 1997).

Debe aclararse que los términos absorción y adsorción se refieren a procesos distintos, y se diferencian en que la adsorción es la adhesión o concentración de átomos, moléculas o iones de un gas o de un líquido en la superficie de un sólido, mientras que la absorción es la penetración de una sustancia en la estructura interna de otra, la sustancia no se retiene en la superficie sino que, penetra atravesando ya sea el cuerpo de un sólido o un líquido (Rodríguez *et al.*, 1997).

Varios estudios han demostrado el uso de la ceniza volante en el tratamiento de aguas residuales. Jahanian *et al.* (2005), utilizaron ceniza volante y arena para remover metales pesados de aguas subterráneas. Este tipo de contaminación ha significado en los Estados Unidos un serio problema y muy costoso de remediar, sin embargo, Jahanian *et al.* (2005), argumentan que usando este tipo de materiales se ha logrado remover cerca del 80 o 90% de los contaminantes con un menor peligro y costo. Estos resultados sugieren que se puede encontrar un uso para un producto de desecho que actualmente se genera en gran cantidad, por ejemplo en los Estados Unidos se generan cerca de 110 millones de toneladas y solo menos del 30% de las cenizas volantes son rehusadas en procesos industriales o recicladas.

Además, Gupta & Ali (2001), convirtieron ceniza volante de bagazo en un efectivo adsorbente y la utilizaron para remover dos pesticidas: DDD (2,2-Bis(4-clorofenil)-1,1-dicloroetano) y DDE (2,2-Bis(4-clorofenil)-1,1-dicloroetano) de aguas residuales. Estos fueron removidos en un 93% a pH de 7.0, con una dosis de ceniza de 5 g/l y un tamaño de partícula de 200-250 micrones a 30 °C. Este sistema desarrollado es muy práctico, económico y reproducible. Asimismo estos autores en el 2004, utilizaron este tipo de ceniza para remover plomo y cromo de aguas residuales. Dichos metales fueron adsorbidos cerca de 95-96%, por lo que concluyen que funciona como un adsorbente muy existoso y proporciona un método muy útil, económico, rápido y reproducible.

Gupta *et al.* (2003), utilizaron también la ceniza volante de bagazo para remover cadmio y níquel de aguas residuales. En este caso fue posible remover alrededor del 90% de cadmio y níquel, en 60 y 80 minutos respectivamente, bajo las condiciones evaluadas. La máxima adsorción de cadmio ocurrió en una concentración de 14 mg/L a un pH de 6.0 y el níquel a

una concentración de 12 mg/L a un pH de 6.0 y 6.5, respectivamente. Una dosis de ceniza de 10 g/L fue suficiente para lograr una remoción óptima de ambos iones metálicos. Se observó que al incrementar la temperatura incrementó el proceso de adsorción. Además, Gupta & Ali (2004), lograron remover de manera similar cromo y plomo.

Por otro lado, Viraraghavan & Dronamraju (1993), comprobaron que el uso de cenizas volantes para remover cromo, níquel y zinc de aguas residuales ocurrió de manera efectiva. Así, el tiempo necesario para alcanzar buenos resultados fue de dos horas y se logró una máxima adsorción con un rango de pH de 3.0 a 3.5.

Tantemsapya *et al.* (2004), utilizaron dos clases de cenizas para lograr la remoción del color, Demanda Química de Oxígeno y lignina de aguas residuales de la industria papelera. Para ello, utilizaron dos clases de cenizas: blanca y negra; las cuales se obtienen de diferentes materiales y de diferentes temperaturas de combustión. La ceniza blanca se caracteriza por contener óxido de calcio como componente principal y la ceniza de madera negra por contener óxido de silicio. Se demostró que el efecto del pH en la remoción de los parámetros estudiados fue diferente al aplicar las dos clases de cenizas. Se determinó que la dosis óptima de ceniza blanca a utilizar fue de 10 gramos por cada 500 ml de agua residual y que las variaciones en el rango de pH de 2 a 10 no tuvieron influencia en la remoción de los parámetros. En este caso, el color fue removido en un 89-93%, la Demanda Química de Oxígeno en un 66-70% y la lignina en un 78-82%. No ocurrió lo mismo al emplear la ceniza de madera negra, ya que se obtuvieron resultados favorables al ajustar el pH inicial a 2 y utilizar 10 gramos por cada 500 ml de agua residual. La remoción del color fue de 42.2%, la Demanda Química de Oxígeno en un 29.7% y la lignina fue removida en un 31.1%. Además, se encontró que la dosis óptima de ceniza de madera blanca para lograr la más alta eficiencia de remoción fue de 20 g/l, esta cantidad de ceniza logró remover un 95% el color, un 80% lignina, y un 69% la Demanda Química de Oxígeno. Para la obtención de estos resultados fueron determinantes la velocidad y el tiempo de agitación, para la ceniza blanca se utilizó una velocidad de 150 rpm por 2 minutos y luego 30 rpm por otros 10 minutos y para la ceniza negra se utilizó 150 rpm por 2 minutos y

luego una disminución a 30 rpm por 30 minutos más. Por último, concluyeron que la razón de la alta remoción presentada por la ceniza de madera blanca ocurrió por la precipitación de la lignina que promovió el óxido de calcio el cual es el mayor componente de estas cenizas.

Lin & Yang (2002), mostraron que las cenizas volantes de carbón tienen una buena capacidad para adsorber cromo y reducir la Demanda Química de Oxígeno. La capacidad de adsorción de cada gramo de ceniza fue de 0.48 mg de cromo con pH 4 y una temperatura de 25 °C y 7.5 mg de Demanda Química de Oxígeno con pH 5 y una temperatura de 25 °C.

Sahu *et al.*, (2001) utilizaron cenizas volantes y carbón activado comercial para determinar la remoción de Demanda Química de Oxígeno de aguas residuales domésticas. En este estudio se utilizó una concentración inicial de Demanda Química de Oxígeno de 1080 ppm y se evaluaron velocidades de agitación de 100 a 700 rpm con diferentes tiempos (de 30 a 300 minutos). Además se utilizaron dosis de ceniza de 2 a 7 gramos por cada 100 mililitros de agua residual. En este caso, las cenizas volantes mostraron una efectiva capacidad de reducción de la carga orgánica, cerca del 87.89%, sin embargo, esta capacidad fue más baja que la presentada por el carbón activado comercial, pero presentó la ventaja de ser un método más económico.

Ceniza generada por el Ingenio Azucarero de CoopeVictoria R.L.

CoopeVictoria R.L. recibe y procesa en su Ingenio Azucarero más de 200.000 toneladas de caña por período de zafra y tiene capacidad para procesar aproximadamente 2500 toneladas por día, de las cuales el 15% corresponden a bagazo y del 3 al 5% a torta de filtro o cachaza. La totalidad del bagazo, es utilizado en la fábrica, como material combustible para las calderas, resultando del 2 al 3% de ceniza como residuo final. Aproximadamente se genera por período de zafra un total de 600 a 900 toneladas de ceniza (CoopeVictoria, 2004).

En el Ingenio Azucarero de CoopeVictoria se utiliza la totalidad del bagazo como combustible natural para la alimentación de los hornos de las calderas. La emisión de gases de las calderas contiene partículas de ceniza, las cuales son atrapadas en un “Scrubber” o Ciclón tipo Torre Húmeda, cuya función es humedecer las partículas suspendidas de los humos o gases con el objeto de removerlas o separarlas por precipitación de la corriente gaseosa. El agua residual es tratada en un sistema de sedimentación de cuatro cámaras, con purga directa a lechos de secado, donde el agua se filtra por medio de un canal central y la ceniza y demás sólidos permanecen. Es importante mencionar que a partir de la segunda cámara el agua es recirculada al “Scrubber” con el objetivo de llevar a cabo el mismo proceso y evitar el gasto excesivo de agua.

La siguiente figura representa el sedimentador de ceniza del Ingenio Azucarero de CoopeVictoria R.L.

Figura 1. Fotografía de: A. Sedimentador de ceniza del Ingenio de CoopeVictoria R.L. B. Lecho de secado para el sedimentador de ceniza, puede observarse el canal central para filtrar el agua residual.



La caracterización de la ceniza utilizada en esta investigación se muestra en los anexos 1 y 2. Se observa que las caracterizaciones presentadas por otros autores que han utilizado la ceniza como adsorbente en el tratamiento de aguas residuales (cuadro 1), coincide en algunos componentes con la caracterización de la ceniza utilizada en este trabajo.

CAPÍTULO 4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO EXISTENTE DE AGUAS RESIDUALES DEL BENEFICIO DE CAFÉ DE COOPEVICTORIA R.L.

El sistema de tratamiento de aguas residuales de CoopeVictoria R.L. consta de una aplicación de cal inicial, luego un tamizado, clarificación y sedimentación de las aguas, para disponerlas finalmente en una laguna donde son utilizadas para el riego de fincas cultivadas de caña de azúcar propias de la empresa.

A continuación se presenta una descripción de dicho sistema:

Aplicación de una leche de cal: Para preparar dicha lechada se implementa un tanque mezclador-dosificador cuya capacidad ronda los 1.46 metros cúbicos. La lechada contribuye en la disminución de la acidez del agua residual y su aplicación es constante mientras el beneficio esté descargando aguas residuales. La proporción recomendada para la preparación de la mezcla va del 15 al 20%, esto significa que no deben prepararse más de 60 kilogramos de cal por cada tanque de agua con un volumen de 1462 litros, puesto que la solubilidad del hidróxido de calcio es limitada en el agua y un exceso provocaría la precipitación y el desperdicio.

La aplicación de cal posee ciertas ventajas ante otros productos neutralizantes tales como: su bajo costo, su fácil accesibilidad, su capacidad para estabilizar el pH de las aguas en valores fijos, entre otros (Instituto del Café de Costa Rica, 1991).

Tamizado de las aguas: Para tal fin se utilizan tamices fijos de 0.75 mm, con el objetivo de eliminar las partículas sólidas insolubles. Estas máquinas logran una colación fina de residuos orgánicos, difíciles de lograr cuando ya están fermentados. El material obtenido del tamizaje es llevado por una banda helicoidal hasta una carreta y destinado en su totalidad para composteo, mientras que el agua residual es dirigida al clarificador.

Clarificación: El volumen del clarificador es de 210 m³. Consiste en un tanque cilíndrico de fondo cónico en el cual las aguas entran por la parte central. En este punto se realiza una mezcla entre un floculante comercial de bajo peso molecular y el agua residual.

El floculante es preparado en un tanque que cuenta con una tubería que inyecta burbujas de aire y se dosifica de manera tal que en el caudal de agua residual existan 5 p.p.m. de éste. Así también, la concentración de la disolución del floculante no debe exceder el 0.15%, ya que este reactivo se torna espeso y pierde eficiencia.

En el clarificador se crea un sistema más o menos homogéneo en donde por medio de agitación lenta se provoca una alteración de la trayectoria que lleva el agua en una forma mecánicamente ordenada y tiene el propósito de efectuar una redistribución mecánica de las partículas por efecto de la turbulencia producida. El clarificador desarrolla la agitación mediante dos paletas, situadas una en la parte inferior del clarificador y la otra en la parte superior, ambas giran en el mismo sentido con una velocidad aproximada de 0.25 r.p.m. Estas paletas giran a velocidades bajas con el fin de formar partículas floculadas que se unen entre sí, las cuales ascienden adheridas a la superficie de burbujas de aire inyectadas al caudal de agua mediante un motor eléctrico. Al clarificador, se le deben eliminar los sólidos en intervalos de seis horas debido a que la acumulación de lodos conlleva a la formación de olores desagradables, gases, flóculos y producción de incrustaciones en las paredes. Además pueden atascar la salida y restar eficiencia al equipo.

El clarificador tiene una zona de salida de lodos situada en el borde superior del tanque que permite un desplazamiento parcial hacia los lados, este aspecto constituye un amortiguador entre el interior del tanque y la salida. Así, el flujo de agua que entra es forzada a subir con algún grado de uniformidad por el ensanchamiento del tanque hacia afuera. De esta manera, las partículas sólidas disueltas en el agua ascienden hacia la superficie arrastradas por microburbujas de aire y mediante un sistema de barrido de las paletas superiores son separadas, mientras que otras partículas precipitan, y ambas son enviadas hacia la laguna de lodos.

Sedimentación: El sedimentador con 7.50 metros de ancho, 7.95 metros de largo y 2.80 de profundidad cuenta con un volumen aproximado a 167 metros cúbicos y con un tiempo de retención menor a una hora. En este punto se desprenden y separan muchas partículas sólidas que aún no han sido eliminadas. Diariamente se realizan dos purgas; en la parte superior se lleva a cabo con ayuda de paletas que empujan los sólidos acumulados hacia una caña recolector y en la inferior del sedimentador, simplemente se acciona un juego de llaves que abren una compuerta para destinar la purga hacia la laguna de lodos.

Laguna de lodos: Esta laguna tiene 43 metros de largo, 9,50 metros de ancho en la parte superior y 7.8 metros de ancho en la parte inferior, 3 metros de profundidad, para un volumen aproximado a los 1200 metros cúbicos. Los lodos que recibe esta laguna permanecen en la misma todo el período de la cosecha de café y periódicamente se realiza evacuación de agua de esta laguna a la última de manera tal que no se alcance el volumen máximo de capacidad.

Laguna: La laguna anaerobia, cuenta con un volumen total de 1680 metros cúbicos y una superficie de 323 metros cuadrados. Este tipo de lagunas se diseñan para el tratamiento de aguas con alto contenido de materia orgánica que además contengan una alta concentración de sólidos; en estos sistemas se consigue una conversión anaerobia de los residuos orgánicos en CO₂, CH₄, ácidos orgánicos y tejido celular (Instituto del Café de Costa Rica, 2000). Esta laguna recibe dos aguas afluentes: la descarga líquida de la laguna de lodos y la salida del sedimentador.

Salida del agua para riego: Una vez que se determinan la temperatura, los sólidos sedimentables y el pH (este último debe ser superior a 5,5 para evitar el deterioro de los cultivos y cambios importantes en la composición química del suelo por acidez), el sistema de bombeo traslada el agua residual a los cañales propias de CoopeVictoria R.L.

La siguiente figura representa el diagrama de flujo del Tratamiento de las Aguas Residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R.L.

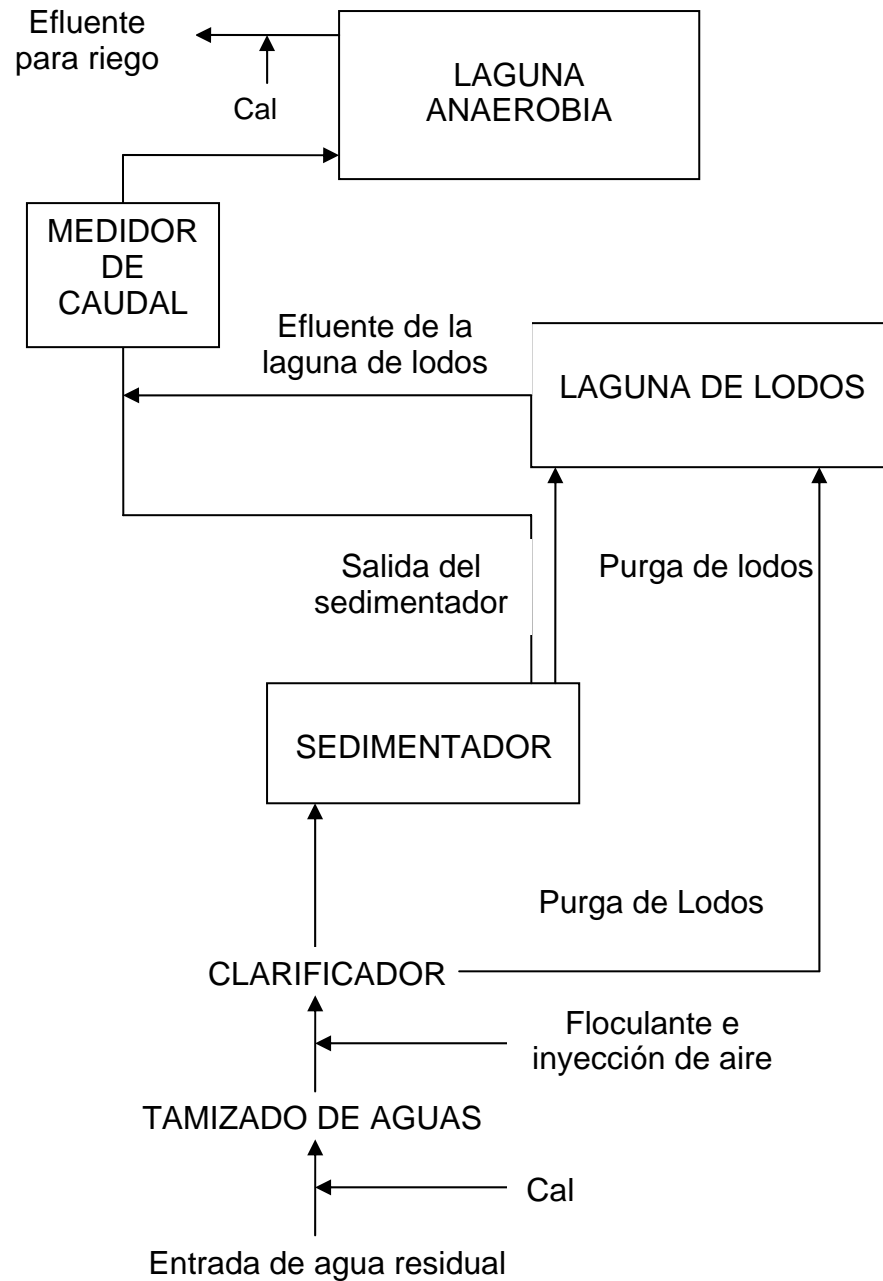


Figura 2. Diagrama de flujo del Tratamiento de las Aguas Residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R.L.

La figura 3 muestra el sistema de tratamiento de aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R.L.



Figura 3. Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de CoopeVictoria. A, Tanque mezclador-dosificador de cal. B, Tamiz. C y D, Clarificador. E, Sedimentador. F, Laguna de lodos. G, Medidor de caudal. H, Laguna anaerobia (salida del agua para riego).

CAPITULO 5. MATERIALES Y METODOS

La presente investigación se llevó a cabo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R. L. durante los meses de octubre del 2005 a febrero del 2006, con el interés de evaluar el comportamiento de algunos parámetros de control al emplear la ceniza generada por el Ingenio de la misma empresa para el tratamiento de dichas aguas.

A continuación se describe la metodología empleada.

Durante el estudio se realizaron seis ensayos preliminares para evaluar y determinar los tiempos de retención y las dosis de ceniza a utilizar por metro cúbico de agua residual a tratar. Para los ensayos preliminares se utilizaron volúmenes de 15 y 50 litros de agua residual, con tiempos de retención de 1, 2 y 10 días y con dosis de ceniza de 4 a 10 gramos por litro de agua residual.

Se evaluaron el pH, la temperatura, los sólidos sedimentables, el color y la turbiedad, tanto al inicio como al final de los ensayos, también se determinaron estos parámetros en días intermedios al tiempo de retención total.

Con base en los ensayos preliminares se montaron cuatro ensayos con tiempos de retención de 12 y 14 días y con dosis de ceniza de 8, 12 y 18 gramos por litro (kilogramo por metro cúbico) de agua residual. Utilizando volúmenes de 50 litros de agua residual. Todos los tratamientos fueron realizados por duplicado.

El influente y efluente en cada uno de los ensayos fueron evaluados en términos de los siguientes parámetros: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Grasas y Aceites (GyA), Sólidos Totales (ST) y Sólidos Sedimentables (Ssed).

La Temperatura y el Potencial Hidrógeno (pH) fueron determinados dos veces por día durante el período del ensayo. Para la medición de pH se utilizó

un pH-metro marca ATAGO modelo DPH-1, y la temperatura se midió utilizando un termómetro simple de mercurio.

El color y la turbiedad fueron determinados tanto del influente y efluente, como en períodos intermedios del tiempo de retención total. Ambos parámetros fueron medidos utilizando un colorímetro marca LaMotte.

Para la Demanda Química de Oxígeno se usó un espectrofotómetro HACH modelo DRL2000. El oxígeno disuelto se midió con un medidor de oxígeno YSI modelo 57 con electrodo de membrana marca Yellow Spring Company.

Todos los análisis, excepto la Demanda Química de Oxígeno fueron realizados de acuerdo con las técnicas para aguas residuales del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998).

La siguiente figura muestra la determinación de algunos parámetros evaluados durante la investigación.

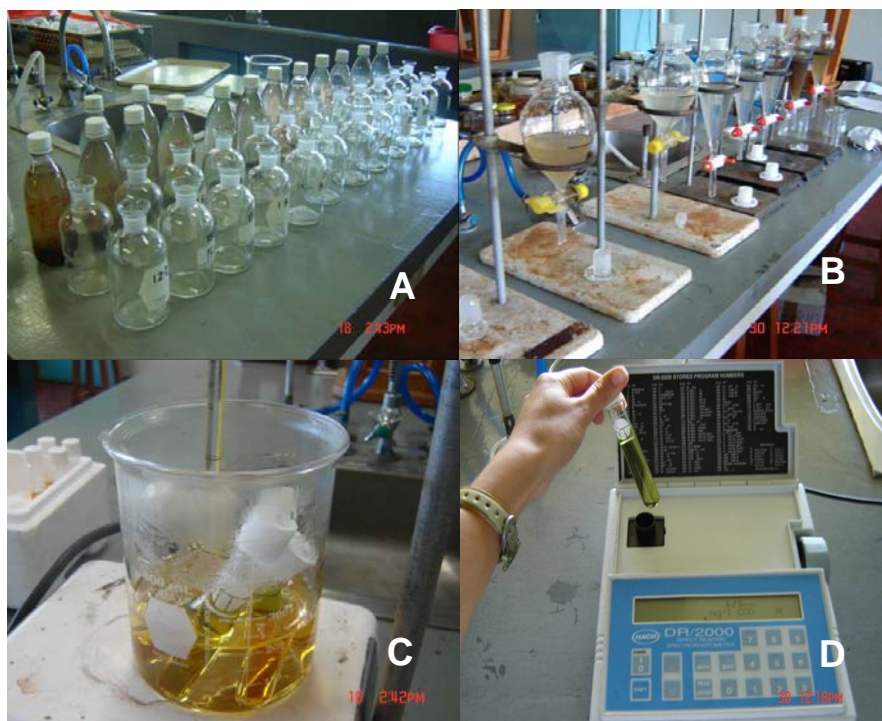


Figura 4. Determinación de algunos parámetros evaluados. A. Montaje de la DBO. B, Montaje de G y A. C, Digestión para obtener la DQO. D, Espectrofotómetro HACH DRL 2000.

CAPITULO 6. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan y discuten los resultados del estudio realizado en CoopeVictoria R. L. al utilizar la ceniza como adsorbente en el tratamiento de aguas residuales del beneficio de café. Se presenta el comportamiento de los parámetros físicos y químicos de control evaluados durante los bioensayos: pH, temperatura, color, turbiedad, sólidos totales, sólidos sedimentables, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno y grasas y aceites, así como sus remociones.

El cuadro 2 resume **la remoción y comportamiento del color** durante los cuatro ensayos al utilizar dosis de ceniza de 8, 12 y 18 kg/m³ ajustando para algunos tratamientos el pH inicial con cal, con un tiempo de retención de 12 y 14 días. La remoción de color fue prácticamente la misma en el efluente final de todas las dosis de ceniza utilizadas, incluso para los casos en donde se ajustó o no el pH inicial, presentándose un aumento en la remoción del color conforme transcurrió el tiempo de contacto, inclusive en los ensayos de control, los cuales fueron evaluados en todos los casos sin la adición de ceniza. Se encontró que para todos los tratamientos con ceniza la remoción del color ocurrió en porcentajes mayores que en los ensayos de control. Para el sétimo día en los ensayos de control se presentó una remoción promedio de 69%, mientras que para los tratamientos con ceniza con dosis de 8 kg/m³ y 12 kg/m³, sin ajuste de pH inicial la remoción promedio fue de 74 y 77%, respectivamente y para los tratamientos con dosis de ceniza de 8 kg/m³ y 12 kg/m³, con ajuste de pH inicial, la remoción promedio del color fue de 90 y 94%, correspondientemente.

Para el efluente del tratamiento, los ensayos de control presentaron una remoción promedio del color de 78%. Los tratamientos con una dosis de 8 kg/m³ de ceniza a los cuales no se les ajustó el pH inicial con cal, la remoción promedio del color fue de 91% y para los tratamientos con esta misma dosis pero que se les ajustó el pH inicial con cal fue de 89%. En los tratamientos con una dosis de 12 kg/m³ de ceniza la remoción promedio del color fue de 93%, tanto para los que se les ajustó el pH inicial como para los que no. Para los

tratamientos con dosis de 18 kg/m^3 de ceniza, con y sin ajuste de pH inicial, la remoción del color fue de 91 y 90% respectivamente.

Tantemsapya *et al.* (2004), reportan que al utilizar dos clases de ceniza obtenidas de diferentes materiales y a diferentes temperaturas de combustión, se obtiene una remoción del color de 89 a 93% para la ceniza blanca y 42,2% para la ceniza negra, utilizando 20 gramos por cada litro de agua residual y diferentes tiempos de contacto.

Las siguientes fotografías muestran el efluente a un tiempo de retención de 14 días para el ensayo 3 y 4, con cargas orgánicas superficiales de 4400 y 4474 kg DQO/día.Ha, respectivamente.



Figura 5. Efluente de los ensayos 3 y 4, con cargas orgánicas superficiales de 4400 y 4474 kg DQO/día.Ha, respectivamente y con tiempo de retención de 14 días. La fotografía A muestra el efluente final para el ensayo 3 y la B para el ensayo 4. En ambas se presentan de izquierda a derecha: Ensayo de control 1, ensayo de control 2, y luego los tratamientos con ceniza con dosis de 8 kg/m^3 , con dosis de 8 kg/m^3 con pH inicial ajustado con cal, con dosis de 12 kg/m^3 y por último el tratamiento con 12 kg/m^3 con pH inicial ajustado con cal.

La **turbiedad** se presenta en el cuadro 3. Se observa que para el efluente este parámetro no presentó diferencias para las dosis de ceniza empleadas, incluso para los casos en donde se ajustó o no el pH inicial, ya que la eficiencia de remoción de la turbiedad aumentó al aumentar los días de contacto, presentándose para el sétimo día un promedio de remoción de la turbiedad para los ensayos de control de 74% y para los tratamientos con dosis de 8 kg/m³ y 12 kg/m³ de ceniza, sin ajuste de pH inicial la remoción promedio de la turbiedad fue de 77 y 78%, respectivamente mientras que para los tratamientos con dosis de ceniza de 8 kg/m³ y 12 kg/m³, con ajuste de pH inicial, la remoción promedio de la turbiedad fue de 91 y 92%, correspondientemente.

En el efluente del tratamiento, los ensayos de control presentaron una remoción promedio de la turbiedad de 80%. Los tratamientos con una dosis de 8 y 12 kg/m³ de ceniza a los cuales no se les ajustó el pH inicial con cal, la remoción promedio de la turbiedad fue de 93% y para los tratamientos con estas mismas dosis pero que se les ajustó el pH inicial con cal fue de 91% de remoción. Para los tratamientos con dosis de 18 kg/m³ de ceniza, con y sin ajuste de pH inicial, la remoción de la turbiedad fue de 91 y 90% respectivamente.

Las altas eficiencias logradas tanto para el color como para la turbiedad indican una buena remoción de materia coloidal en suspensión, principalmente orgánica.

Los resultados de los **sólidos totales y sedimentables** se indican en el cuadro 4, puede observarse que para los **sólidos sedimentables** se obtienen porcentajes de eficiencia promedio de 97% para el tratamiento con ceniza, incluyendo a los ensayos de control.

Para los ensayos (2, 3 y 4) con cargas orgánicas superficiales de 4444; 4400 y 4474 kg DQO/día.Ha, la mayor remoción de **sólidos totales** se presentó para los tratamientos con ceniza y para los ensayos de control en donde no se ajustó el pH inicial del agua, sino que por el contrario se mantuvo cierto grado de acidez, alcanzándose para los tratamientos con ceniza sin

ajustar el pH inicial una remoción promedio de sólidos totales de 60% y para los ensayos de control en los cuales no se ajustó el pH del agua 64%. Para el ensayo (1) aplicando una carga orgánica superficial de 3807 kg DQO/día.Ha, los tratamientos con dosis de 12 y 18 kg/m³ de ceniza en los cuales se agregó 0,1 g/L de cal, presentaron la mayor remoción de sólidos totales, 53% en promedio, mientras que los tratamientos con ceniza a los cuales no se les adicionó cal la remoción promedio de sólidos totales fue de 43%. Para el ensayo de control la remoción promedio de sólidos totales fue de 52%.

Para los sólidos sedimentables y totales no se encontraron diferencias de remoción entre los ensayos de control y el tratamiento con ceniza debido a que al adicionar la ceniza, la cual es sólida, contribuye a aumentar los sólidos en los tratamientos.

Cuadro 2. Remoción del color durante el tratamiento de las aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R.L. al aplicar diferentes cargas, dosis de ceniza y tiempos de retención.

Ensayo	Carga Orgánica Superficial (kgDQO/día.Ha)	Tratamiento	Color (UPt/Co)								
			Entrada	Día 5	Eficiencia (%)	Día 7	Eficiencia (%)	Día 12	Eficiencia (%)	Salida	Eficiencia (%)
1	3807	Control 1	5369	2195	59	1775	67	2065	62	1775	67
	3807	Control 2	5537	2060	63	1890	66	2090	62	895	84
	3807	12 kg/m ³	5495	1795	67	1395	75	865	84	530	90
	3807	12 kg/m ^{3**}	5397	1895	65	500	91	295	95	375	93
	3807	18 kg/m ³	4879	1590	67	790	84	370	92	510	90
	3807	18 kg/m ^{3**}	5103	1940	62	785	85	390	92	465	91
	2	4444	Control 1	8920	-	-	2980	67	-	-	2440
4444		Control 2	9980	-	-	4010	60	-	-	3205	68
4444		8 kg/m ³	8240	-	-	2695	67	-	-	1050	87
4444		8 kg/m ^{3*}	9410	-	-	1350	86	-	-	935	90
4444		12 kg/m ³	11760	-	-	3125	73	-	-	1090	91
4444		12 kg/m ^{3*}	10776	-	-	675	94	-	-	1105	90
3		4400	Control 1	10608	2580	76	2225	79	-	-	1245
	4400	Control 2	8736	2190	75	2095	76	-	-	2190	75
	4400	8 kg/m ³	8724	2205	75	2435	72	-	-	750	91
	4400	8 kg/m ^{3*}	13384	650	95	530	96	-	-	460	97
	4400	12 kg/m ³	9120	2755	70	2325	75	-	-	625	93
	4400	12 kg/m ^{3*}	11662	575	95	580	95	-	-	815	93
	4	4474	Control 1*	4464	315	93	1035	78	350	92	585
4474		Control 2	5080	1860	63	1925	62	1865	63	1015	80
4474		8 kg/m ³	5096	1905	63	845	83	470	91	285	94
4474		8 kg/m ^{3*}	5280	800	85	640	88	350	93	1055	80
4474		12 kg/m ³	5912	2055	65	830	86	435	93	40	99
4474		12 kg/m ^{3*}	5464	1175	79	695	87	460	92	250	95

* tratamientos con pH ajustado con cal

**tratamientos con 0,1 g/L de cal

Fuente: datos de campo

Cuadro 3. Remoción de la turbiedad durante el tratamiento de las aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R.L. al aplicar diferentes cargas, dosis de ceniza y tiempos de retención.

Ensayo	Carga Orgánica Superficial (kgDQO/día.Ha)	Tratamiento	Turbiedad (NTU)								
			Entrada	Día 5	Eficiencia (%)	Día 7	Eficiencia (%)	Día 12	Eficiencia (%)	Salida	Eficiencia (%)
1	3807	Control 1	735	295	60	220	70	235	68	200	73
	3807	Control 2	735	250	66	230	69	280	62	125	83
	3807	12 kg/m ³	791	250	68	195	75	90	89	65	92
	3807	12 kg/m ^{3**}	700	250	64	65	91	30	96	30	96
	3807	18 kg/m ³	672	200	70	85	87	55	92	70	90
	3807	18 kg/m ^{3**}	714	245	66	95	87	55	92	65	91
	2	4444	Control 1	1230	-	-	405	67	-	-	340
4444		Control 2	1570	-	-	545	65	-	-	400	75
4444		8 kg/m ³	1130	-	-	385	66	-	-	140	88
4444		8 kg/m ^{3*}	1300	-	-	180	86	-	-	110	92
4444		12 kg/m ³	1680	-	-	410	76	-	-	145	91
4444		12 kg/m ^{3*}	1428	-	-	95	93	-	-	130	91
3		4400	Control 1	1464	335	77	285	81	-	-	180
	4400	Control 2	1128	310	73	280	75	-	-	280	75
	4400	8 kg/m ³	1164	280	76	285	76	-	-	90	92
	4400	8 kg/m ^{3*}	1750	95	95	55	97	-	-	60	97
	4400	12 kg/m ³	1236	365	70	300	76	-	-	75	94
	4400	12 kg/m ^{3*}	1624	80	95	60	96	-	-	105	94
	4	4474	Control 1*	656	50	92	70	89	40	94	65
4474		Control 2	720	245	66	200	72	245	66	120	83
4474		8 kg/m ³	696	260	63	85	88	60	91	30	96
4474		8 kg/m ^{3*}	736	95	87	75	90	65	91	125	83
4474		12 kg/m ³	768	245	68	110	86	70	91	40	95
4474		12 kg/m ^{3*}	672	145	78	90	87	70	90	250	63

* tratamientos con pH ajustado con cal

**tratamientos con 0,1 g/L de cal

Fuente: datos de campo

Cuadro 4. Remoción de los sólidos totales y sedimentables obtenida para el efluente del tratamiento de las aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R.L. al aplicar diferentes cargas y dosis de ceniza.

Ensayo	Carga Orgánica Superficial (kgDQO/día.Ha)	Tratamiento	Sólidos Totales (mg/L)			Sólidos Sedimentables (ml/L)		
			Entrada	Salida	Eficiencia (%)	Entrada	Salida	Eficiencia (%)
1	3807	Control		1500	52			
	3807	12 kg/m ³		1733	44			
	3807	12 kg/m ^{3**}	3100	1533	51	60	menor a 1	mayor a 98
	3807	18 kg/m ³		1800	42			
	3807	18 kg/m ^{3**}		1400	53			
2	4444	Control		2000	62			
	4444	8 kg/m ³		1867	63			
	4444	8 kg/m ^{3*}	5300	3733	30	50	menor a 1	mayor a 98
	4444	12 kg/m ³		2267	57			
	4444	12 kg/m ^{3*}		3200	40			
3	4400	Control		1667	68			
	4400	8 kg/m ³		1400	73			
	4400	8 kg/m ^{3*}	5200	4000	23	20	menor a 1	mayor a 95
	4400	12 kg/m ³		1733	67			
	4400	12 kg/m ^{3*}		3400	35			
4	4474	Control 1*		2400	14			
	4474	Control 2		1100	61			
	4474	8 kg/m ³	2800	1500	46	125	menor a 1	mayor a 99
	4474	8 kg/m ^{3*}		1800	36			
	4474	12 kg/m ³		1400	50			
	4474	12 kg/m ^{3*}		2800	0			
Promedio			4100	2106		64		

* tratamientos con pH ajustado con cal

**tratamientos con 0,1 g/L de cal

Fuente: datos de campo

La **remoción de la materia orgánica** en términos de la **Demanda Química de Oxígeno** se presenta en el cuadro 5. Los valores de entrada van de los 2050 a los 2416 mg/L, con un promedio de 2312 mg/L.

En el ensayo (1) con carga orgánica superficial de 3807 kg DQO/día.Ha, los tratamientos evaluados con una dosis de ceniza de 12 kg/m³ presentaron una remoción mayor de materia orgánica que los tratamientos con dosis de 18 kg/m³ de ceniza. Para los tratamientos con 12 kg/m³ de ceniza la remoción de materia orgánica promedio en términos de DQO fue de 67%, mientras que para los tratamientos con 18 kg/m³ de ceniza resultó de 62%.

Del cuadro 5 puede desprenderse que para los ensayos (2, 3 y 4) con cargas orgánicas superficiales de 4444, 4400 y 4474 kg DQO/día.Ha, la mayor remoción de materia orgánica en términos de DQO ocurrió para los tratamientos con una dosis de 8 kg/m³ de ceniza que se mantuvieron en un rango de pH ácido (4-5), para estos tratamientos la remoción de materia orgánica promedio fue de 68%. Mientras que para los tratamientos con la misma dosis de ceniza (8 kg/m³) a los cuales se les ajustó el pH inicial con cal la remoción de materia orgánica promedio en términos de DQO fue de 41%.

En los tratamientos con una dosis de 12 kg/m³ de ceniza sin ajustar el pH inicial, se obtuvo una remoción de materia orgánica promedio en términos de DQO de 65%. Los tratamientos con la misma dosis a los cuales se les ajustó el pH inicial con cal la remoción de materia orgánica promedio fue de 48%.

Sahu et al. (2001), reportan una eficiencia final de remoción de materia orgánica en términos de DQO de 87,89%. La diferencia se presenta en cuanto a la concentración inicial de Demanda Química de Oxígeno y el diseño del sistema de tratamiento evaluado; ya que en este trabajo se emplearon valores iniciales mucho más elevados, pero *Sahu et al. (2001)*, reportan menores tiempos de contacto con dosis de ceniza y velocidades de agitación muy altas.

Además, *Tantemsapya et al. (2004)*, reportan que al utilizar dos clases de ceniza obtenidas de diferentes materiales y a diferentes temperaturas de combustión, se obtiene una remoción de materia orgánica en términos de DQO de 66 a 70% para la ceniza blanca y de un 30% para la ceniza negra, utilizando 20 gramos por cada litro de agua residual a diferentes tiempos de contacto.

El cuadro 6 muestra el comportamiento de la **Demanda Química de Oxígeno** para los ensayos (2, 3 y 4) con cargas orgánicas superficiales de 4444; 4400 y 4474 kg DQO/día.Ha, con un tiempo de retención de siete días. Se observa que la mayor remoción de materia orgánica la presentaron los tratamientos con 12 kg/m³ de ceniza sin ajuste inicial de pH, los cuales lograron 51% de remoción promedio de materia orgánica y un máximo de 60%. Para esta misma dosis de ceniza (12 kg/m³) pero ajustando el pH inicial del agua

residual con cal se logra una remoción de materia orgánica promedio de 37% y máxima de 64%. Para los tratamientos con dosis de ceniza de 8 kg/m^3 sin ajustar el pH inicial, la máxima remoción de materia orgánica fue de 55% y en promedio fue de 33%. Los tratamientos con esta misma dosis y ajuste de pH inicial lograron una remoción de materia orgánica promedio de 27%.

Para un tiempo de retención de siete días las mayores remociones de materia orgánica se presentan en los tratamientos con dosis de 12 kg/m^3 de ceniza, mientras que en el efluente de los ensayos son los tratamientos con dosis de 8 kg/m^3 los que presentan las eficiencias mayores. Cabe recordar que el tratamiento de aguas residuales por sistemas de lagunas de oxidación conlleva toda una serie de pasos en los cuales la materia orgánica se va degradando y formando otra clase de materia de menor tamaño hasta obtener finalmente agua, metano y dióxido de carbono, por lo que debe considerarse al menos 8 días o más de tratamiento para obtener un efluente de mayor calidad en cuanto a remoción de materia orgánica se refiere.

Cuadro 5. Remoción de la materia orgánica (DQO) obtenida para el efluente del tratamiento de las aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R.L. al aplicar diferentes cargas y dosis de ceniza.

Ensayo	Carga Orgánica Superficial (kgDQO/día.Ha)	Tratamiento	DQO (mg/L)			
			Entrada	Salida	Eficiencia (%)	
1	3807	Control	2055	905	56	
	3807	12 kg/m ³		720	65	
	3807	12 kg/m ^{3**}		650	68	
	3807	18 kg/m ³		717	65	
	3807	18 kg/m ^{3**}		855	58	
	4444	Control		1945	19	
2	4444	8 kg/m ³	2400	1085	55	
	4444	8 kg/m ^{3*}		1665	31	
	4444	12 kg/m ³		1485	38	
	4444	12 kg/m ^{3*}		1020	58	
	4400	Control		1616	32	
	4400	8 kg/m ³		190	92	
3	4400	8 kg/m ^{3*}	2376	1360	43	
	4400	12 kg/m ³		216	91	
	4400	12 kg/m ^{3*}		1600	33	
	4474	Control 1*		844	65	
	4474	Control 2		1164	52	
	4474	8 kg/m ³		1044	57	
4	4474	8 kg/m ^{3*}	2416	1240	49	
	4474	12 kg/m ³		848	65	
	4474	12 kg/m ^{3*}		1148	52	
	Promedio			2312		

*tratamientos con pH ajustado con cal

**tratamientos con 0,1 g/L de cal

Fuente: datos de campo

Cuadro 6. Comportamiento de la materia orgánica (DQO) con un tiempo de retención de siete días del tratamiento de las aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R.L. al aplicar diferentes cargas y dosis de ceniza.

Ensayo	Carga Orgánica Superficial (kgDQO/día.Ha)	Tratamiento	DQO (mg/L) al día 7	Eficiencia (%)
2	4444	Control	4900	0
	4444	8 kg/m ³	3440	0
	4444	8 kg/m ^{3*}	2120	12
	4444	12 kg/m ³	1530	36
	4444	12 kg/m ^{3*}	2808	0
	3	4400	Control	2124
4400		8 kg/m ³	1060	55
4400		8 kg/m ^{3*}	1524	36
4400		12 kg/m ³	956	60
4400		12 kg/m ^{3*}	1260	47
4		4474	Control 1*	1797
	4474	Control 2	632	74
	4474	8 kg/m ³	1326	45
	4474	8 kg/m ^{3*}	1587	34
	4474	12 kg/m ³	1056	56
	4474	12 kg/m ^{3*}	880	64

*tratamientos con pH ajustado con cal

Fuente: datos de campo

En el cuadro 7 se indican los resultados obtenidos para la **Demanda Bioquímica de Oxígeno**, se observa que dicho parámetro sigue un comportamiento similar a la Demanda Química de Oxígeno. Para el ensayo (1) con carga orgánica superficial de 3807 kg DQO/día.Ha, los tratamientos con ceniza presentaron una remoción mayor de materia orgánica en términos de DBO que los ensayos de control, resultando una remoción promedio de 61% para los tratamientos con ceniza y de 39% para los ensayos de control.

Para los ensayos (2, 3 y 4) con cargas orgánicas superficiales de 4444, 4400 y 4474 kg DQO/día.Ha, la mayor remoción de materia orgánica en términos de DBO la presentaron los tratamientos con dosis de 8 y 12 kg/m³ de ceniza manteniéndose en un rango de pH de 4-5, para estos tratamientos la remoción de materia orgánica promedio fue de 62 y 68%, respectivamente. Mientras que para los tratamientos a los que se les ajustó el pH inicial con cal,

la remoción de materia orgánica en términos de DBO fue del 60% para la dosis de 8 kg/m³ y de 59% para la dosis de 12 kg/m³ de ceniza.

Para los tratamientos con dosis de 8 y 12 kg/m³, las remociones de materia orgánica en términos de DQO y DBO fueron mayores para los tratamientos donde el pH inicial no se ajustó con cal, lo que indica que la mayor capacidad de adsorción de la ceniza para lograr la disminución de estos parámetros contaminantes se encuentra en rangos de pH ácidos que van de 4 a 5 (Cuadro 10).

La ceniza volante actúa como un adsorbente de la materia orgánica debido a que las sales y óxidos metálicos en presencia de alcalinidad natural se hidrolizan y forman hidróxidos metálicos. Los cuales se caracterizan por ser buenos adsorbentes. Estos hidróxidos forman en la superficie capas monomoleculares que hacen que la materia orgánica suspendida se una y logre ser removida por conglomerarlas y por último precipitarlas (Sahu *et al.*, 2001).

Un factor determinante para que la ceniza actúe como adsorbente lo constituye el tamaño de partícula que posea, ha sido observado en otras investigaciones que el grado de adsorción disminuye al incrementar el tamaño de partícula. Por lo tanto, partículas pequeñas aumentan el área superficial de contacto del adsorbente y esto por ende aumenta su capacidad de adsorción (Gupta *et al.*, 2003; Sahu *et al.*, 2001).

Un aspecto a considerar, para que la ceniza actúe como buen adsorbente lo constituye la distribución de las partículas de materia orgánica en el agua residual, ya que una distribución homogénea de ellas contribuiría a agilizar el proceso de adsorción (Sahu *et al.*, 2001).

Cuadro 7. Remoción de la materia orgánica (DBO) obtenida para el efluente del tratamiento de las aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R.L. al aplicar diferentes cargas y dosis de ceniza.

Ensayo	Carga Orgánica Superficial (kgDQO/día.Ha)	Tratamiento	DBO (mg/L)		
			Entrada	Salida	Eficiencia (%)
1	3807	Control	1208	742	39
	3807	12 kg/m ³		462	62
	3807	12 kg/m ^{3**}		436	64
	3807	18 kg/m ³		498	59
	3807	18 kg/m ^{3**}		522	57
	4444	Control		1178	21
2	4444	8 kg/m ³	1500	571	62
	4444	8 kg/m ^{3*}		Eliminado	-
	4444	12 kg/m ³		741	51
	4444	12 kg/m ^{3*}		530	65
	4400	Control		1050	28
3	4400	8 kg/m ³	1467	Eliminado	-
	4400	8 kg/m ^{3*}		680	54
	4400	12 kg/m ³		190	87
	4400	12 kg/m ^{3*}		727	50
	4474	Control 1*		762	50
4	4474	Control 2	1510	760	50
	4474	8 kg/m ³		574	62
	4474	8 kg/m ^{3*}		526	65
	4474	12 kg/m ³		520	66
	4474	12 kg/m ^{3*}		589	61
	Promedio			1421	

* tratamientos con pH ajustado con cal

**tratamientos con 0,1 g/L de cal

Fuente: datos de campo

En el cuadro 8, se observan los resultados obtenidos de la prueba de **grasas y aceites**, es apreciable que no se logró una efectiva remoción de grasas, obteniéndose porcentajes de remociones obtenidos fueron o muy bajos (0%) o muy altos (100%).

Cuadro 8. Remoción de las grasas y aceites obtenidas para el efluente final del tratamiento de las aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria al utilizar diferentes cargas orgánicas y dosis de ceniza.

Ensayo	Carga Orgánica Superficial (kgDQO/día.Ha)	Tratamiento	Grasas y Aceites (mg/L)		
			Entrada	Salida	Eficiencia (%)
1	3807	Control		80	0
	3807	12 kg/m ³		80	0
	3807	12 kg/m ^{3**}	80	0	100
	3807	18 kg/m ³		0	100
	3807	18 kg/m ^{3**}		0	100
2	4444	Control		0	100
	4444	8 kg/m ³		0	100
	4444	8 kg/m ^{3*}	80	0	100
	4444	12 kg/m ³		80	0
	4444	12 kg/m ^{3*}		80	0
3	4400	Control		0	100
	4400	8 kg/m ³		80	0
	4400	8 kg/m ^{3*}	80	80	0
	4400	12 kg/m ³		80	0
	4400	12 kg/m ^{3*}		80	0
4	4474	Control 1*		80	0
	4474	Control 2		0	100
	4474	8 kg/m ³	80	80	0
	4474	8 kg/m ^{3*}		80	0
	4474	12 kg/m ³		80	0
	4474	12 kg/m ^{3*}		80	0
Promedio			80		

* tratamientos con pH ajustado con cal

**tratamientos con 0,1 g/L de cal

Fuente: datos de campo

El comportamiento de la **temperatura** durante el tratamiento de las aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R.L. se presenta en el cuadro 9.

La temperatura constituye un factor muy importante en el tratamiento de aguas residuales porque afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción que ocurren en el agua residual, así como el desarrollo óptimo de la actividad bacteriana (Crites & Tchobanoglous, 2000). En el tratamiento con ceniza la temperatura promedio fue 20 °C, no alcanzándose temperaturas extremas (superiores a los 40 °C o menores de 15

°C) que pudieran perjudicar el proceso de adsorción sino que por el contrario, las temperaturas conseguidas coinciden con las reportadas por Lin & Yang (2002), quienes a 25 °C, lograron remover 7.5 mg de DQO.

El cuadro 10 muestra el comportamiento del **pH** durante los tratamientos con diferentes dosis de ceniza y ajustando el pH inicial con cal en algunos tratamientos. Como se indicó anteriormente las mayores remociones de materia orgánica en términos tanto de Demanda Química como de Bioquímica de Oxígeno fueron obtenidas al mantener rangos de pH de 4 a 5.

Estos resultados coinciden con los reportados por otros autores quienes confirman que en rangos de pH ácido la capacidad de adsorción de la ceniza se ve mejorada (Lin & Yang, 2002; Tantemsapya *et al.*, 2004; Viraraghavan & Dronamraju, 1993).

Asimismo, Sahu *et al.* (2001), reportan que con rangos altos de pH la capacidad de adsorción se reduce, debido posiblemente a la abundancia de iones hidroxilo (OH⁻) presentes, los cuales dificultan la difusión de iones orgánicos hacia la superficie del adsorbente. Mientras que a pH bajos hay un número mayor de iones hidronio (H⁺), los cuales neutralizan la carga negativa de la superficie del adsorbente, reduciendo el impedimento para que los iones orgánicos puedan difundirse hacia dicho lugar.

Cuadro 9. Comportamiento de la temperatura durante el tratamiento de las aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria al utilizar diferentes cargas orgánicas, dosis de ceniza y tiempos de retención.

Ensayo	Tratamiento	Temperatura (°C)																									
		Entrada	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14												
1	Control 1	19	20	22	18	23	20	23	21	-	21	23	20	23	18	-	18	24	16	24	-	-	17	23	17	22	20
	Control 2	19	20	25	20	24	20	23	21	-	21	25	21	24	19	-	18	26	16	26	-	-	18	26	18	23	23
	12 kg/m ³	19	20	22	18	23	20	23	21	-	21	23	20	23	18	-	18	24	16	24	-	-	17	23	17	22	20
	12 kg/m ^{3**}	19	20	27	20	24	20	23	21	-	21	25	21	24	19	-	18	26	16	26	-	-	18	26	18	23	21
	18 kg/m ³	19	20	22	18	23	20	23	21	-	21	23	20	23	18	-	18	24	16	24	-	-	17	23	17	22	20
	18 kg/m ^{3**}	19	20	27	20	24	20	23	21	-	21	24	21	24	19	-	18	26	16	26	-	-	18	26	18	23	21
2	Control 1	17	18	25	18	25	19	-	23	-	21	-	20	21	18	-	18	22	-	-	-	-	18	-	-	-	-
	Control 2	17	16	25	18	22	19	-	25	-	22	-	20	23	20	-	19	25	-	-	-	-	19	-	-	-	-
	8 kg/m ³	17	18	25	18	25	19	-	23	-	21	-	20	21	18	-	18	22	-	-	-	-	18	-	-	-	-
	8 kg/m ^{3*}	17	16	25	18	22	19	-	25	-	22	-	20	23	20	-	19	25	-	-	-	-	19	-	-	-	-
	12 kg/m ³	17	18	25	18	25	19	-	23	-	21	-	20	22	18	-	18	22	-	-	-	-	18	-	-	-	-
	12 kg/m ^{3*}	17	16	25	18	22	19	-	25	-	22	-	20	22	20	-	19	25	-	-	-	-	19	-	-	-	-
3	Control 1	18,5	18	22	-	-	-	-	18	21	17	21	17	22	19	-	-	-	-	-	-	-	19	23	18	24	18
	Control 2	18,5	18	21	-	-	-	-	18	21	17	20	17	21	19	-	-	-	-	-	-	-	19	23	18	22	18
	8 kg/m ³	18,5	18	21	-	-	-	-	18	20	17	20	17	20	18	-	-	-	-	-	-	-	19	23	18	22	18
	8 kg/m ^{3*}	20	19	25	-	-	-	-	19	23	18	22	19	23	20	-	-	-	-	-	-	-	19	23	20	25	19
	12 kg/m ³	18,5	18	21	-	-	-	-	18	21	17	21	17	21	19	-	-	-	-	-	-	-	19	23	18	22	17
	12 kg/m ^{3*}	20	19	25	-	-	-	-	19	25	18	23	19	23	20	-	-	-	-	-	-	-	19	23	18	25	20
4	Control 1*	18	19	23	19	24	17	-	-	-	18	20	17	22	18	24	17	24	18	23	18	-	-	-	18	23	18
	Control 2	18	20	24	20	27	20	-	-	-	19	21	18	23	19	26	17	26	20	26	20	-	-	-	20	25	20
	8 kg/m ³	18	19	24	20	27	20	-	-	-	19	21	18	23	19	26	17	26	20	26	20	-	-	-	20	25	20
	8 kg/m ^{3*}	18	18	23	19	24	17	-	-	-	18	20	17	22	18	24	17	24	18	23	18	-	-	-	18	23	18
	12 kg/m ³	18	19	24	20	27	20	-	-	-	18	21	18	22	19	26	17	26	20	26	20	-	-	-	20	25	20
	12 kg/m ^{3*}	18	18	22	18	24	18	-	-	-	18	20	17	23	18	24	17	24	18	23	18	-	-	-	18	23	18

* tratamientos con pH ajustado con cal; **tratamientos con 0,1 g/L de cal

Fuente: datos de campo

Para cada día se realizaron dos lecturas, una en la mañana (columna de la derecha) y la otra en la tarde (columna de la izquierda)

Cuadro 10. Comportamiento del pH durante el tratamiento de las aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria al utilizar diferentes cargas orgánicas, dosis de ceniza y tiempos de retención.

Ensayo	Tratamiento	pH (unidades de pH)													
		Entrada	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14
1	Control 1	3,5	3,2	3,8	3,3	3,1	3,2	3,3	3,5	4,1	4,2	-	4,2	4,1	4,1
	Control 2	3,5	3,4	3,2	3,6	3,2	3,3	3,5	3,9	4,6	4,4	-	4,5	4,5	4,6
	12 kg/m ³	3,5	3,7	4	4,5	3,7	3,9	4,1	4,4	4,6	4,6	-	4,6	4,6	4,6
	12 kg/m ^{3**}	3,5	3,5	4	4	4,1	4,4	4,8	4,8	4,8	4,8	-	4,9	4,8	4,8
	18 kg/m ³	3,5	3,7	4,5	3,6	4,1	4	4,4	4,6	4,7	4,8	-	5	4,9	5
	18 kg/m ^{3**}	3,7	4	3,7	3,5	4,3	4,6	4,9	4,9	4,7	4,8	-	5	4,9	5
2	Control 1	3,7	4,1	4,1	4,1	4,1	3,6	3,9	3,9	4,1	-	-	4,6	-	-
	Control 2	3,7	3,6	3,6	4	3,8	3,9	4	4,1	4,6	-	-	4,6	-	-
	8 kg/m ³	3,7	4	4,1	4,1	4,1	4,1	4,4	4,5	4,8	-	-	5	-	-
	8 kg/m ^{3*}	7	6,2	5,5	5,9	5,6	5,5	5	5,6	5,6	-	-	6,4	-	-
	12 kg/m ³	3,7	4	4,1	4,1	4,3	4,2	5,6	4,6	4,9	-	-	5,2	-	-
	12 kg/m ^{3*}	7	6,4	5,7	5,8	6	6,1	6,7	6,5	6,5	-	-	7,1	-	-
3	Control 1	4,1	4	-	-	4,2	4,5	4,5	4,5	-	-	-	4,8	4,7	4,7
	Control 2	3,7	3,6	-	-	3,7	3,8	3,9	3,9	-	-	-	4,4	4,4	4,4
	8 kg/m ³	3,7	3,9	-	-	4,1	4,2	4,4	4,5	-	-	-	4,7	4,8	4,8
	8 kg/m ^{3*}	7	6,4	-	-	6,2	6,7	6,4	6	-	-	-	6,5	6,3	6,5
	12 kg/m ³	3,8	3,9	-	-	4,2	4,6	4,8	5	-	-	-	5,2	5,3	5,3
	12 kg/m ^{3*}	7	6,3	-	-	6,2	6,6	6,6	6,1	-	-	-	6,4	6,2	6,2
4	Control 1*	4,2	3,8	10,1	9,2	-	6,6	7,1	6,2	6,9	6,9	7,1	-	7,4	7,2
	Control 2	4,4	3,7	3,5	3,6	-	3,9	3,7	3,3	3,8	4,4	4,4	-	4,5	4,6
	8 kg/m ³	4,3	4	4	4,3	-	4,8	4,7	3,9	4,5	4,8	4,8	-	4,7	4,7
	8 kg/m ^{3*}	8,3	4,9	4,6	4,8	-	5,8	5,5	5,3	6	6	6,2	-	6,7	7,1
	12 kg/m ³	4,2	4	4	4,3	-	5	4,9	4,1	5	5	5	-	5,1	5,1
	12 kg/m ^{3*}	10,8	9,7	6,2	4,9	-	6	6	6,4	6,8	7,1	7,2	-	7,5	7,5

Los datos reportados por día corresponden a un promedio entre la lectura realizada en la mañana y la lectura de la tarde. Fuente: datos de campo
 * tratamientos con pH ajustado con cal; **tratamientos con 0,1 g/L de cal

Las cargas orgánicas superficiales utilizadas en este trabajo se muestran en el cuadro 11. La mayor carga orgánica superficial utilizada fue de 4474 kg DQO/día.Ha y la menor de 3807 kg DQO/día.Ha, para un promedio de 4281 kg DQO/día.Ha. Estos datos representan cargas orgánicas superficiales bastante altas para lagunas de oxidación.

Cuadro 11. Cargas Orgánicas Superficiales (COS) aplicadas durante el estudio en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Ensayo	Tratamiento	Carga Orgánica Superficial (kg DQO/día.Ha)
1	Control	3807
	12 kg/m ³	3807
	12 kg/m ^{3**}	3807
	18 kg/m ³	3807
	18 kg/m ^{3**}	3807
2	Control	4444
	8 kg/m ³	4444
	8 kg/m ^{3*}	4444
	12 kg/m ³	4444
	12 kg/m ^{3*}	4444
3	Control	4400
	8 kg/m ³	4400
	8 kg/m ^{3*}	4400
	12 kg/m ³	4400
	12 kg/m ^{3*}	4400
4	Control 1	4474
	Control 2*	4474
	8 kg/m ³	4474
	8 kg/m ^{3*}	4474
	12 kg/m ³	4474
	12 kg/m ^{3*}	4474
Promedio		4281

*tratamientos con pH ajustado con cal

**tratamientos con 0,1 g/L de cal

Fuente: datos de campo

CAPITULO 7. CONCLUSIONES

- La ceniza volante representa una opción para facilitar el tratamiento de aguas residuales de café aplicando una dosis de 8 kg de ceniza por metro cúbico de agua residual a tratar.
- El sistema implementado demostró ser eficiente aplicando cargas orgánicas superficiales altas que varían de 3807 a 4474 kg DQO/día.Ha.
- La eficiencia del sistema de tratamiento con cenizas disminuye al aumentar la carga orgánica superficial y al agregar cal.
- La ventaja de usar ceniza en lugar de cal es que la ceniza actúa como generador de alcalinidad amortiguando los cambios de pH y funciona como adsorbente de contaminantes.
- Durante el tratamiento aplicado se obtuvo remociones de materia orgánica del 68% con un tiempo de retención de 14 días.
- El sistema de tratamiento evaluado removió de manera efectiva y en porcentajes de 91% el color y 93% la turbiedad con una dosis de ceniza de 8 kg/m³.
- Las altas remociones de turbiedad, aunadas a las remociones de materia orgánica indican que durante el tratamiento con cenizas hay una alta remoción de sólidos suspendidos.
- El tratamiento con ceniza constituye una alternativa más económica para tratar las aguas residuales del Beneficio de Café de CoopeVictoria R.L., ya que por su naturaleza es un material más abundante y de fácil disponibilidad que la aplicación de un tratamiento químico.

CAPITULO 8. RECOMENDACIONES

- Para implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales con ceniza, se necesita una dosis de 8 kg/m^3 de ceniza, con un tiempo de retención mínimo de 8 días y máximo de 14 días. Para tal efecto se recomienda disponer del sistema de lagunas de oxidación existente en serie y de manera continua, tal y como muestra la figura 6.
- La limpieza de la ceniza debe realizarse, de ser necesaria a la mitad de la cosecha previo a una determinación de perfil de lodos. La limpieza debe realizarse de forma intermitente y alternando las lagunas en uso.
- Por seguridad para evitar un vertimiento de sólidos en el efluente se recomienda colocar un vertedero de altura variable usando un bafle, de tal manera que el agua efluente salga a una altura predeterminada de por lo menos 10 cm del nivel superficial del agua (Figura 7).
- Para aumentar el área de contacto de la ceniza, se recomienda agitar con salto hidráulico, dosificando la ceniza en el punto de entrada del agua residual a la laguna para ahorrar el gasto de energía eléctrica (el cual ronda los 400 000 colones por 15 minutos)
- Para complementar el tratamiento con cenizas y para controlar los malos olores, es recomendable utilizar Microorganismos Eficientes (EM), realizando el cultivo con EM, agua residual de café y miel de caña bajo condiciones anaeróbicas, realizando una dosis de choque con posteriores dosificaciones diarias. Otra alternativa para el control de olores es aplicar Biolagun en dosis de 500g por día, durante tres días y posterior al tercer día continuar con una dosis diaria de 250mg. Biolagun por ser un producto biológico es una alternativa para el control de olores amigable con el ambiente.

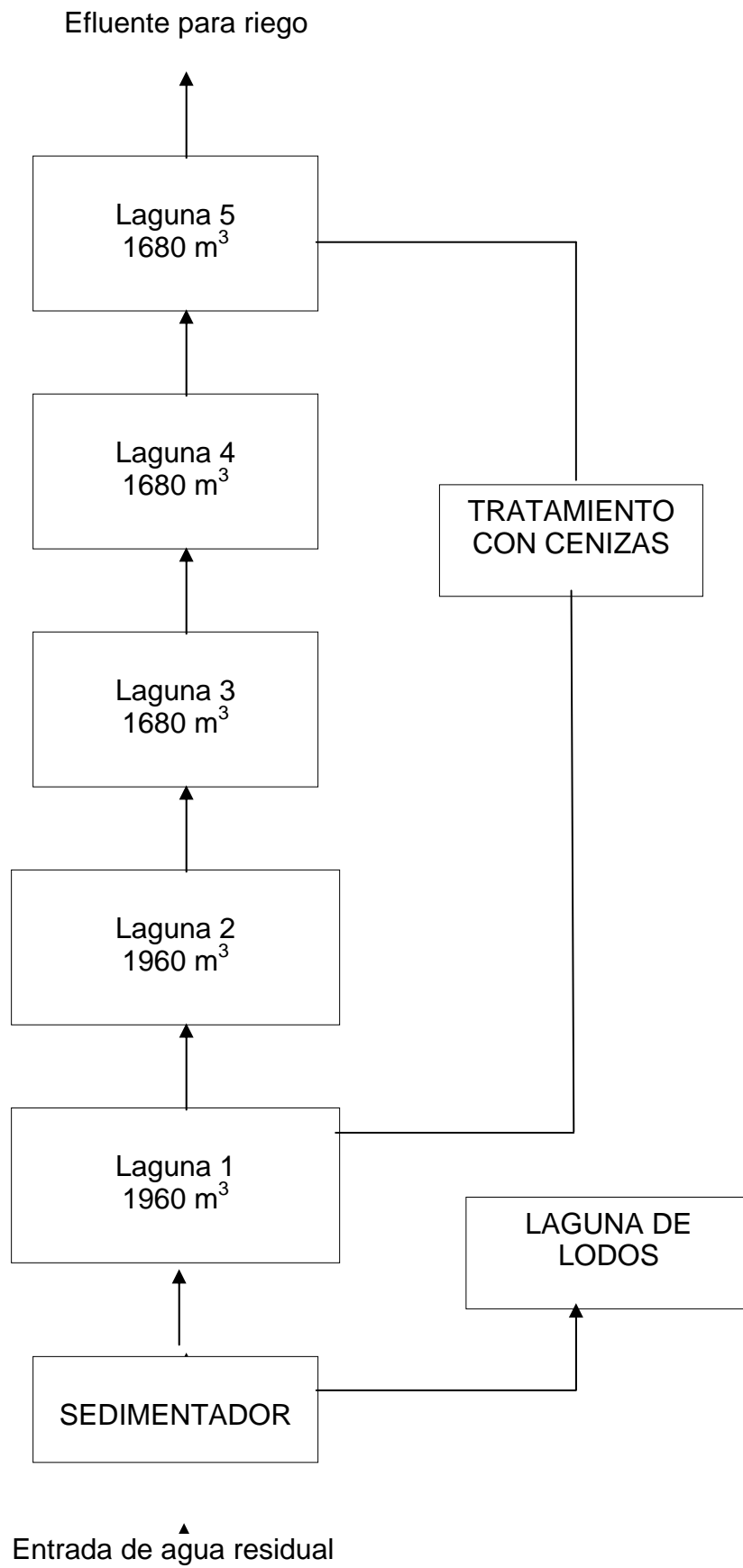


Figura 6. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales de café al implementar ceniza.

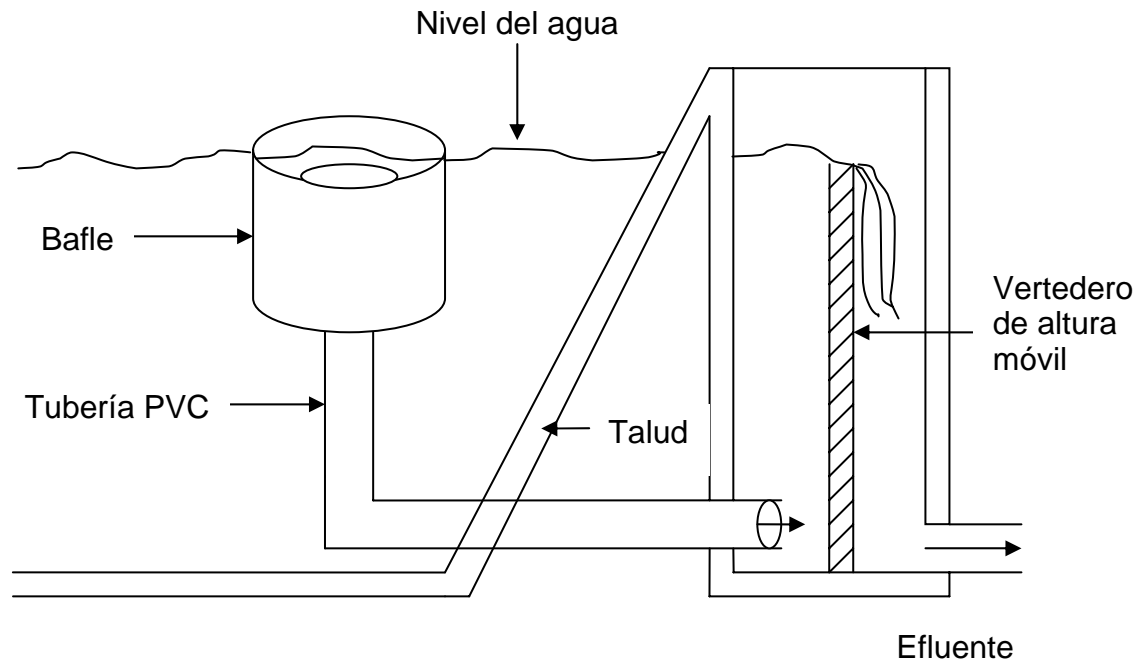


Figura 7. Estructura de salida con un vertedero de altura móvil usando un baffle, en la última laguna para el tratamiento con ceniza.

CAPITULO 9. BIBLIOGRAFIA

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA) Y WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF). 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. APHA. Washington, US. 1268pp.

ANTOLÍN, G., OLIVA, D. 2003. Caracterización del Bagazo de Caña de Azúcar Mediante Análisis Térmico. Información Tecnológica, Vol, 14 N° 4.

ASOCIACION NACIONAL DE CAFE. 1985. Manual de Beneficiado del Café. Guatemala. 119, p.p.

CABALLERO, C. 2004. Resurgiendo de las Cenizas. <<http://aupec.univalle.edu.co/informes/junio97/boletin40/cenizas.html>> (15 Abril, 2005).

CLÉVES, R. 1998. Tecnología en Beneficiado de Café. Tecnicafé Internacional S.A. 2da edición. San José, Costa Rica. p 222.

COMISIÓN EUROPEA. 2003. Desarrollo de productos resistentes al fuego a partir de cenizas volantes de centrales térmicas de carbón y de otros residuos industriales. <http://www.aicia.es/1997/proy_int.htm> (15 Abril, 2005).

COOCAFE R. L. Consorcio de cooperativas de Caficultores de Guanacaste y Montes de Oro R.L.1998. Utilización de Aguas en el Proceso del Beneficiado. Revista de ganadería, Agricultura e Industrias por una Agricultura Organizada, Marca Registrada N° 3022. Año 55 N° 4-6- 1998. San José, Costa Rica.

COOPEVICTORIA. 2004. El café. <<http://www.coopevictoria.com/victoria/central.htm>>. (15 Abril, 2005).

- CRITES, R., TCHOBANOGLIOUS, G., 2000. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. Traducido por: Millar Camargo y Libia Patricia Pardo. Editorial Mc Graw Hill. p 776.
- FAIR, G. Y GEYER, J. 2001. Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales. Volumen 2. Editorial LIMUSA. México. 764, p.p.
- FIESP & CIESP, 2001. Ampliação da oferta de energia através da biomassa. São Paulo, Brasil.
- GIL, E., SALDARRIAGA, C., OCAMPO, A. 1998. Uso de Cenizas Volantes en la Eliminación de Cr(III) de Aguas Residuales. Departamento de Ingeniería Química Universidad de Antioquia. Revista Colombiana de Química. Volumen 27, No. 1 de 1998.
- GITARI, W., SOMERSET, V., PETRIK, L., KEY, D., IWUOHA E., & OKUJENI, C. 2005. Treatment of acid mine drainage with fly ash: Removal of major, minor elements, SO₄ and utilization of the solid residues for wastewater treatment. University of Western Cape, South Africa. April 11-15, 2005. Lexington, Kentucky, USA <<http://www.worldofcoalash.org/2005/ashpdf/40git.pdf>>. (25 Agosto, 2005).
- GUPTA, V. & ALI, I. 2001. Removal of DDD and DDE from wastewater using bagasse fly ash, a sugar industry waste. Department of Chemistry, University of Roorkee, Roorkee, 247667, India. Water Res. 2001 Jan;35(1):33-40. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list_uids=11257890&dopt>. (25 Agosto, 2005).
- GUPTA, V. & ALI, I. 2004. Removal of lead and chromium from wastewater using bagasse fly ash--a sugar industry waste. Department of Chemistry, Indian Institute of Technology Roorkee, Roorkee 247667, India. J Colloid Interface Sci. 2004 Mar 15;271(2):321-8. <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=pubm>

ed&dopt=Abstract&list_uids=14972608&query_hl=2&itool=pubmed_Doc Sum>. (25 Agosto, 2005).

GUPTA, V., JAIN, C., ALI, I., SHARMA, M., SAINI, V.. 2003. Removal of cadmium and nickel from wastewater using bagasse fly ash--a sugar industry waste. Department of Chemistry, Indian Institute of Technology, Roorkee, Roorkee 247 667, India. Water Res. 2003 Sep;37(16):4038-44. <<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/abstract/2534/ABSTRACT?CRETRY=1&SRETRY=0>>

INSTITUTO DEL CAFE DE COSTA RICA. 1991. Memorias del Seminario Práctico Sobre Temas en el Tratamiento de las Aguas Residuales del Café. San José. 89, p.p.

INSTITUTO DEL CAFE DE COSTA RICA, CENTRO DE INVESTIGACIONES EN CAFÉ, UNIDAD DE INDUSTRIALIZACIÓN. 2000. Programa de Capacitación en industrialización. San José, Costa Rica.

JAHANIAN et al. 2005. Fly ash treats wastewater. <www.watertechonline.com>. (25 Agosto, 2005).

LIN, C., CHANG, J. 2001. Effect of fly ash characteristics on the removal of Cu(II) from aqueous solution. Department of Environmental Engineering, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan, ROC. Chemosphere. 2001 Aug;44(5):1185-92. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list_uids=11513407&dopt>. (14 Setiembre, 2005).

LIN, C. & YANG D. 2002. Removal of pollutants from wastewater by coal bottom ash. Graduate Institute of Civil and Hydraulic Engineering, Feng Chia University, Taichung, Taiwan. J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng. 2002 Sep;37(8):1509-22. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list_uids=12369642&dopt>. (14 Setiembre, 2005).

- RODRIGUEZ, J., PRIETO, J., VILLEGAS, P., MOLINAS, S., HERNANDEZ, N., VILLANUEVAS, G. 1997. Estudio de la adsorción de ácido acético en un producto de la combustión de materiales fibrosos de la industria azucarera . Centro de Estudio de Termoenergética Azucarera, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Cuba. <<http://www.monografias.com/trabajos15/adsorcion-acido/adsorcion-acido.shtml>>. (25 Agosto, 2005).
- SAHU, V. DAHIYA, R., GAGGIL, D. 2001. Fly ash based low cost method for COD removal from domestic waste water. Center for Energy Studies Indian Institute of Technology, New Delhi. <<http://www.gisdevelopment.net/application/nrm/water/quality/watq0004.htm>>. (25 Agosto, 2005).
- SANTAELLA, L. Y SALAMANCA, R. 2004. Comportamiento del concreto con bajos porcentajes de ceniza volante y agua constante. . Información Tecnológica, Vol, 16 N° 9.
- SAWYER, C., MCCARTHY, P., PARKIN, G. 2001. Química para Ingeniería Ambiental. Cuarta Edición. Traducción Lucía Arteaga de García. Editorial McGraw Hill Internacional.
- TANTEMSAPYA, N., WIROJANAGUD, M., SAKOLCHAI, S. 2004. Removal of color, COD and lignin of pulp and paper wastewater using wood ash. Songklanakarin J. Sci. Technol., 2004, 26(Suppl. 1) : 1-12. <<http://www2.psu.ac.th/PresidentOffice/EduService/journal/envi/01-wastewater-paper.pdf>>. (25 Agosto, 2005).
- TORROJA, E. 2003. Tratamiento hidrotermal de cenizas, no volantes, de incineración de residuos sólidos urbanos sin adiciones, con producción de hidrógeno, para la obtención de zeolita cristalina. Instituto Ciencias de la Construcción. Madrid España. <http://www.geoscopio.com/est/gmms/afre2/producto_2748.htm> (15 Abril, 2005).

VIRARAGHAVAN, T., y DRONAMRAJU, M. 1993. Use of Fly Ash in the Removal of Copper, Nickel and Zinc from Wastewater. Faculty of Engineering, University of Regina, Regina, Saskatchewan S4S 0A2 Water Pollution Research Journal of Canada, 28(2): 369-384 (1993). <<http://www.cciw.ca/wqrjc/28-2/28-2-369.htm>>. (25 Agosto, 2005).

CAPITULO 10. ANEXOS

Anexo 1

Informe del resultado del análisis químico de la ceniza utilizada en el trabajo realizado por el Laboratorio de Servicios Químicos y Microbiológicos.

FUNDACIÓN TECNOLÓGICA DE COSTA RICA (FUNDATEC)
(Fundación del Instituto Tecnológico de Costa Rica)

LABORATORIO DE SERVICIOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)
☎ (506) 591-5149 ó 550-2368, Fax: (506) 591-5147, Apartado 159-7050 Email:
ceqiatec@itcr.ac.cr

INFORME DE RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

TIPO DE MUESTRA:	CENIZAS	FECHA DE RECIBO:	18-01-06
ESTADO DE LA MUESTRA:	SOLIDA	FECHA INICIO ANALISIS:	18-01-06
PROCEDENCIA:	COOPEVICTORIA R.L.	FECHA DE INFORME:	09-02-06
		Nº DE INFORME:	070106
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input type="checkbox"/> CONTROL <input checked="" type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS	RESULTADOS		
	01	±	
Hierro Fe ₂ O ₃ (mg/g)	0,357	0,009	
Manganeso MgO (mg/g)	0,80	0,08	
Calcio CaO (mg/g)	1,2	0,2	
Sodio Na ₂ O (mg/g)	1,60	0,02	
Potasio K ₂ O (mg/g)	10,0	0,3	
ULTIMA LINEA			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th ed. 1998 APHA-AWWA-WEF.

TIPO DE MUESTREO: Realizado por el Cliente.

OBSERVACIONES:

Muestra 01: Cenizas

(±) La incertidumbre que se reporta, es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente el 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el momento y el día arriba indicado.

SOLICITADO POR: ING. CARLOS QUESADA BRENES

REALIZADO POR: B.O. JOSE SANDOVAL MORA
REGENTE QUIMICO



Anexo 2

Informe del resultado del análisis químico de la ceniza utilizada en el trabajo realizado por el Laboratorio de Suelos y Foliare.



LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES
REPORTE DE ENSAYO
CIA-SC12-01-I01-R01(v3)



Nº DE REPORTE: **18397**

USUARIO: COOP. AGR. INDUSTRIAL VICTORIA R.L.

RESPONSABLE: MELANIA BRENES

TELÉFONO: 494-1868

FAX: 444-6346

PROVINCIA: ALAJUELA

CANTÓN: GRECIA

FECHA DE RECEPCIÓN: 28/11/2005

EMISIÓN DE REPORTE: 05/12/2005

Nº DE MUESTRAS TOTAL: 1

PÁGINA: 1/1

CULTIVO: **SUSTRATO**

ANÁLISIS QUÍMICO DE ABONOS ORGÁNICOS												
ID USUARIO	ID LAB	% ¹						mg/kg				
		N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
SUSTRATO	AO-05-217	0,47	0,28	0,87	0,42	1,44	0,13	15533	71	105	770	40

Ing. Agr. Floria Bertsch

COORDINADORA, LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES

NOTAS:

1. Las unidades están expresadas en m/m (por ejemplo, g/100g).
2. Procedimiento: N por combustión seca en analizador de N de acuerdo al CIA-SC09-01-01-P06.
3. El muestreo es responsabilidad del usuario.
4. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
5. El tiempo de custodia de las muestras es de 30 días después de entregar el reporte de ensayo.
6. A solicitud del usuario se puede reportar la incertidumbre de la medición de los ensayos declarados en el Sistema de calidad del Laboratorio.
7. Cuando el usuario

Teléfonos: (506) 207-3005, 207-3011, 207-3093 • Fax: (506) 234-1627
Recepción de muestras: 207-3091 • Laboratorio de Suelos: 207-3112
Laboratorio de Poscosecha: (506) 207-3213

Continuación...



LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES
REPORTE DE ENSAYO
CIA-SC12-01-I01-R01(v3)



N° DE REPORTE: **18397**

USUARIO: COOP. AGR. INDUSTRIAL VICTORIA R.L

RESPONSABLE: MELANIA BRENES

TELÉFONO: 494-1868

FAX: 444-6346

PROVINCIA: ALAJUELA

CANTÓN: GRECIA

FECHA DE RECEPCIÓN: 28/11/2005

EMISIÓN DE REPORTE: 05/12/2005

N° DE MUESTRAS TOTAL: 1

PÁGINA: 1/1

CULTIVO: SUSTRATO

ANÁLISIS QUÍMICO DE ABONOS ORGÁNICOS		
ID USUARIO	ID LAB	% HUM
SUSTRATO	AO-05-217	71,70

Ing. Agr. Floria Bertsch

COORDINADORA, LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES

NOTAS:

1. Las unidades están expresadas en m/m (por ejemplo, g/100g).
2. Procedimiento: N por combustión seca en analizador de N de acuerdo al CIA-SC09-01-01-P06; P, Ca, Mg, K, S, Na, Fe, Cu, Zn, Mn, B y Al por digestión húmeda en EA plasma de acuerdo al CIA-SC-09-01-01-P10.
3. El muestreo es responsabilidad del usuario.
4. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
5. El tiempo de custodia de las muestras es de 30 días después de entregar el reporte de ensayo.
6. A solicitud del usuario se puede reportar la incertidumbre de la medición de los ensayos declarados en el Sistema de calidad del Laboratorio.
7. Cuando el usuario solicita el envío del reporte por fax o por correo electrónico el Laboratorio no se hace responsable de su confidencialidad.

Teléfonos: (506) 207-3005, 207-3011, 207-3093 • Fax: (506) 234-1627
Recepción de muestras: 207-3091 • Laboratorio de Suelos: 207-3112
Laboratorio de Poscosecha: (506) 207-3213

Anexo 3

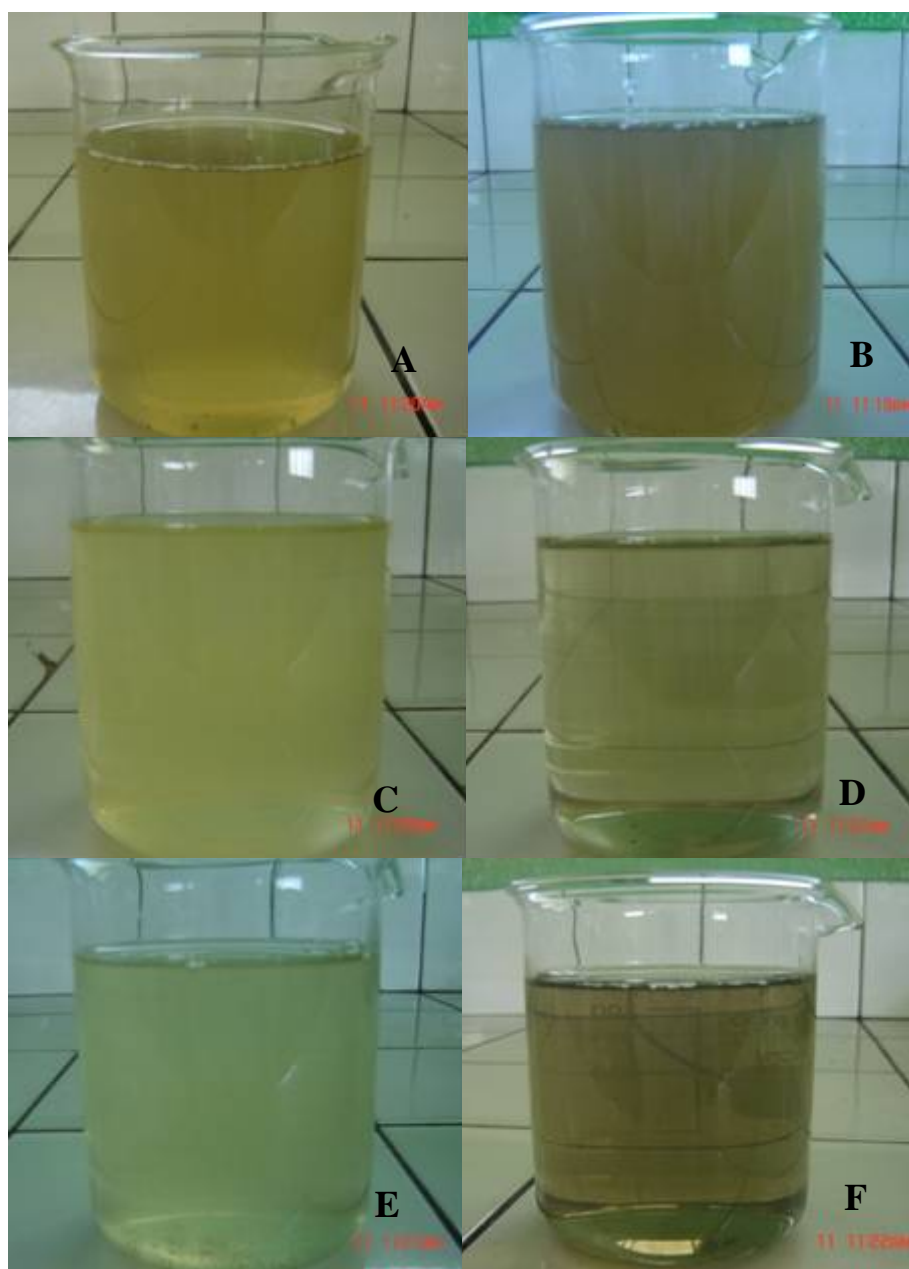


Figura A1. Efluente del ensayo 3, con carga orgánica superficial de 4400 kg DQO/día.Ha y con 14 días de tiempo de retención. Las fotografías A y B muestran los ensayos de control. C, tratamiento con ceniza con dosis de 8 kg/m³. D, tratamiento con dosis de 8 kg/m³ de ceniza con pH inicial ajustado a 7. E, tratamiento con dosis de 12 kg/m³ de ceniza. F, tratamiento con 12 kg/m³ de ceniza con pH inicial ajustado a 7.

Anexo 4

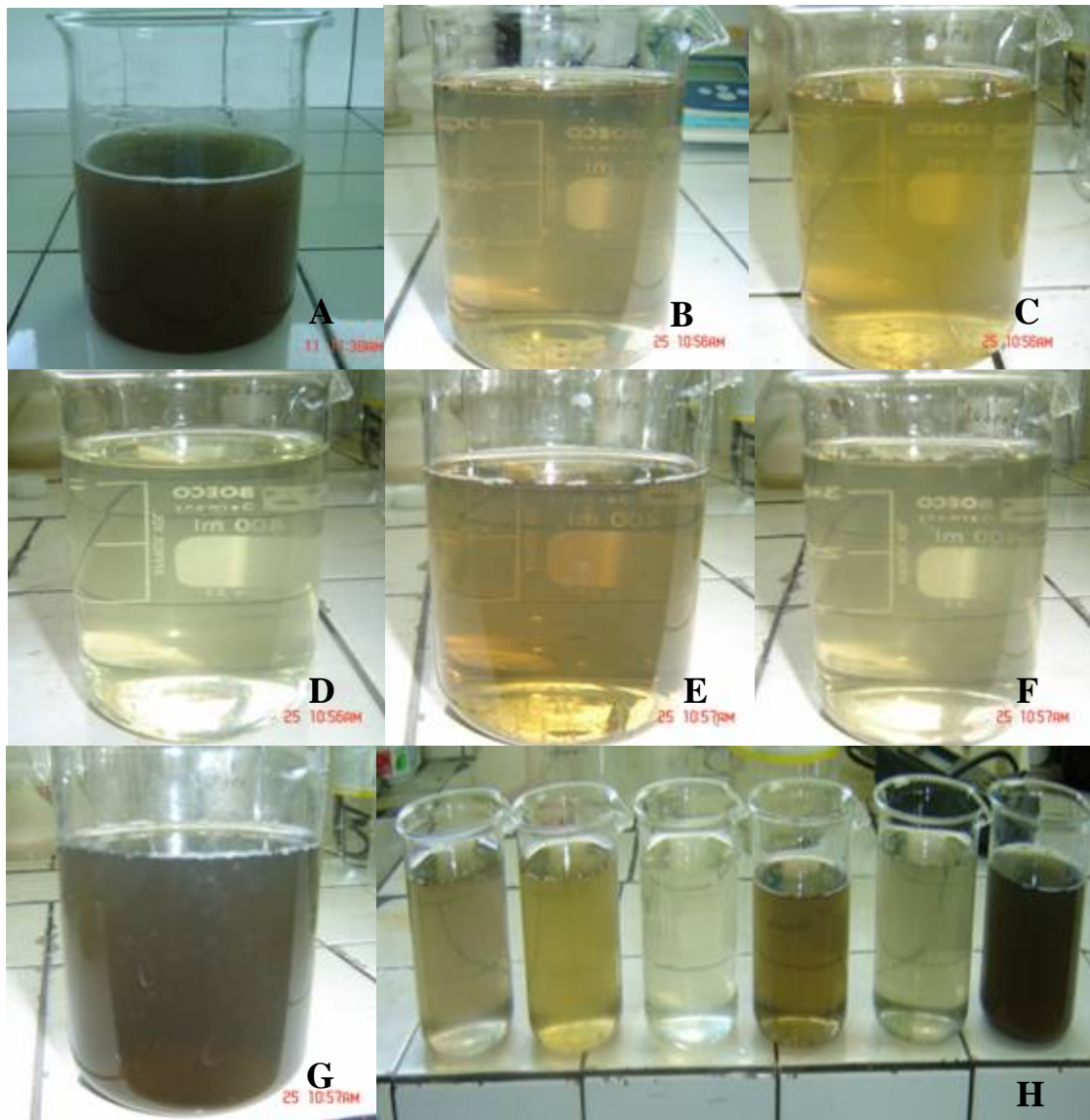


Figura A2. Efluente del ensayo 4, con carga orgánica superficial de 4474 kg DQO/día.Ha y con 14 días de tiempo de retención. A, muestra el agua residual influente. B y C muestran los ensayos de control. D, tratamiento con dosis de 8 kg/m³ de ceniza. E, tratamiento con dosis de 8 kg/m³ de ceniza con pH inicial ajustado a 8,3. F, tratamiento con dosis de 12 kg/m³ de ceniza. G, tratamiento con 12 kg/m³ de ceniza con pH inicial ajustado a 10,8.