

<b>ÍNDICE.</b>	<b>i.</b>
<b>RELACIÓN DE TABLAS.</b>	<b>ix.</b>
<b>RELACIÓN DE FIGURAS.</b>	<b>xvii.</b>
<b>1. ANTECEDENTES.</b>	<b>3.</b>
1.1. Generalidades sobre la caficultura colombiana.	4.
1.2. Producción de café en Colombia.	4.
1.3. El proceso de beneficio húmedo del café.	5.
1.3.1. Beneficio convencional del café.	6.
1.3.2. Beneficio ecológico del café.	6.
1.3.3. Análisis del proceso de beneficio húmedo del café.	7.
1.3.4. Desventajas del beneficio convencional y ventajas del beneficio ecológico.	8.
1.4. Principales subproductos del proceso del café.	11.
1.4.1. Pulpa de café.	12.
1.4.1.1. Abono orgánico a partir de la pulpa de café.	12.
1.4.1.2. Hongos comestibles y medicinales utilizando pulpa de café.	13.
1.4.1.3. Ensilaje de pulpa de café.	15.
1.4.1.4. Pectinas a partir de la pulpa de café.	15.
1.4.1.5. Biocombustibles de pulpa de café.	15.
1.4.2. Mucílago de café.	17.
1.4.2.1. Abono de mucílago de café.	18.
1.4.2.2. Alimentación animal a partir de mucílago de café.	18.
1.4.2.3. Producción de pectinas de mucílago de café.	18.
1.4.2.4. Biocombustibles del mucílago de café.	18.
1.4.3. Mucílago fermentado de café.	19.
1.5. Características físico-químicas y microbiológicas de las aguas residuales del café.	20.
1.6. Legislación Ambiental Colombiana relacionada con las aguas residuales.	27.
1.6.1. Decreto N° 2811 de 1974.	27.
1.6.2. Decreto N° 1594 de 1984.	28.
1.6.3. Decreto N° 901 de 1997.	30.
1.6.4. Resolución N° 273 del 1997.	31.
1.6.5. Reglamento de agua potable y saneamiento (RAS).	31.
1.6.6. Decreto N° 3100 del 2003.	31.
1.6.7. Decreto N° 3440 del 2004.	31.
1.6.8. Los beneficiaderos de café y la legislación ambiental colombiana.	32.
1.6.9. Contaminación generada en el beneficio del café según el tipo de beneficiadero.	32.
1.7. Sistemas de tratamiento utilizados para las aguas residuales del café.	34.
1.7.1. Tratamiento preliminar.	34.
1.7.2. Tratamiento primario.	35.
1.7.3. Tratamiento secundario.	36.
1.7.3.1. Tratamientos físico-químicos utilizados como tratamientos secundarios.	36.
1.7.3.2. Procesos biológicos utilizados como tratamientos secundarios.	37.
1.7.3.2.1. Tratamientos biológicos aerobios.	37.
1.7.3.2.1.1. Lodos activados.	38.

1.7.3.2.1.2. Filtros percoladores.	38.
1.7.3.2.1.3. Biodiscos.	39.
1.7.3.2.1.4. Lagunas de maduración.	39.
1.7.3.2.2. Tratamientos biológicos anaerobios.	40.
1.7.3.2.2.1. Lagunas anaerobias.	41.
1.7.3.2.2.2. Reactor de Manto de lodos anaeróbicos de flujo ascendente.	41.
1.7.3.2.2.3. Filtros anaeróbicos.	43.
1.7.3.2.3. Comparación entre los tratamientos aeróbicos y anaeróbicos.	44.
1.7.3.2.4. Investigaciones adelantadas en Cenicafé.	45.
1.7.3.2.4.1. Investigaciones a escala de laboratorio.	46.
1.7.3.2.4.2. Investigaciones a escala de planta piloto.	48.
1.7.3.2.4.3. Investigaciones a escala de campo.	50.
1.7.4. Tratamiento terciario.	52.
1.8. Sistemas de tratamiento naturales de aguas residuales.	53.
1.8.1. Sistemas de aplicación al suelo.	53.
1.8.1.1. Riego.	54.
1.8.1.2. Escorrentía sobre cubierta vegetal.	55.
1.8.1.3. Infiltración – Percolación.	56.
1.8.2. Sistemas Acuáticos.	57.
1.8.2.1. Humedales.	57.
1.8.2.1.1. Potencial de los humedales en el tratamiento de aguas residuales.	57.
1.8.2.1.2. Clasificación de los humedales artificiales.	58.
1.8.2.1.3. Ventajas y desventajas de los humedales artificiales.	60.
1.8.2.1.4. Mecanismos de remoción de contaminantes en humedales.	61.
1.8.2.1.5. Diseño de humedales artificiales.	62.
1.8.2.1.5.1. Tiempo de detención hidráulica.	62.
1.8.2.1.5.2. Área Transversal.	65.
1.8.2.1.5.3. Ancho del estanque.	65.
1.8.2.1.5.4. Área necesaria.	65.
1.8.2.1.5.5. Carga hidráulica.	66.
1.8.2.1.5.6. Carga orgánica.	66.
1.8.2.1.5.7. Diseño hidráulico.	68.
1.8.2.1.5.7.1. Humedales de flujo libre.	68.
1.8.2.1.5.7.2. Humedales de flujo subsuperficial.	70.
1.8.2.1.5.8. Procedimiento para el diseño de humedales artificiales.	71.
1.8.2.1.6. Manejo de humedales artificiales.	72.
1.8.2.1.6.1. Control de mosquitos.	72.
1.8.2.1.6.2. Cosecha de la vegetación.	73.
1.8.2.1.6.3. Vida silvestre.	73.
1.8.2.1.6.4. Monitoreo y Control.	73.
1.8.2.2. Sistemas de tratamiento mediante plantas acuáticas.	73.
1.8.2.2.1. Potencial de las plantas acuáticas en el tratamiento de aguas residuales.	74.
1.8.2.2.1.1. Experiencias en el tratamiento de las aguas residuales del café.	75.
1.8.2.2.2. Clasificación de las plantas acuáticas.	77.
1.8.2.2.3. Ventajas y desventajas del uso de plantas acuáticas.	77.

1.8.2.2.4. Mecanismos de remoción de contaminantes en sistemas con plantas acuáticas.	78.
1.8.2.2.5. Diseño de sistemas de tratamiento con plantas acuáticas.	79.
1.8.2.2.6. Análisis de las constantes de la tasa de remoción de los constituyentes.	82.
1.8.2.2.6.1. Modelamiento de la remoción de la DBO.	82.
1.8.2.2.6.2. Modelamiento de la remoción de los SST.	83.
1.8.2.2.6.3. Impacto del TRH sobre las constantes de la tasa de remoción para la DBO y los SST.	83.
1.8.2.2.6.4. Impacto del decaimiento de la vegetación en sistemas acuáticos de tratamiento.	83.
1.8.2.2.7. Manejo de sistemas de tratamiento con plantas acuáticas.	84.
1.8.2.2.7.1. Control de mosquitos.	84.
1.8.2.2.7.2. Manejo de la vegetación.	84.
1.8.2.2.7.3. Manejo de lodos.	84.
1.8.2.2.8. Especies acuáticas utilizadas en la presente investigación.	85.
1.8.2.2.8.1. Jacinto acuático ( <i>Eichhornia crassipes</i> ).	85.
1.8.2.2.8.2. Lechuga de agua ( <i>Pistia stratiotes</i> ).	87.
1.8.2.2.8.3. Enea ( <i>Typha angustifolia</i> ).	89.
1.8.2.2.8.4. Oreja de agua ( <i>Salvinia auriculata</i> ).	91.
1.8.2.2.8.5. Densidades operacionales de las plantas en el tratamiento de aguas residuales.	93.
1.8.2.2.9. Utilización de la biomasa proveniente de los sistemas de tratamiento.	94.
1.9. Los Biosistemas Integrados.	95.
1.9.1. Biosistemas Integrados en Sistemas Acuáticos de Tratamiento.	97.
<b>2. OBJETIVOS.</b>	<b>101.</b>
<b>3. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS EFLUENTES DEL SMTA EN SISTEMAS ACUÁTICOS DE TRATAMIENTO (Ensayo 1).</b>	<b>105.</b>
3.1. Introducción.	105.
3.2. Objetivos.	107.
3.3. Materiales y métodos.	108.
3.3.1. Lugar donde se realizó la investigación.	108.
3.3.2. Fecha de realización.	108.
3.3.3. Materiales.	109.
3.3.3.1. Sustratos.	109.
3.3.3.2. Material biológico.	111.
3.3.3.3. Materiales de laboratorio.	112.
3.3.3.4. Materiales de construcción	112.
3.3.4. Métodos.	113.
3.3.4.1. Construcción de las lagunas de experimentación.	114.
3.3.4.2. Regulación del flujo del agua a postratar.	118.
3.3.4.3. Determinación de la Porosidad y la Conductividad Hidráulica de las lagunas.	118.
3.3.4.4. Densidad de arranque de las plantas evaluadas.	124.
3.3.4.5. Evaluación de la depuración alcanzada con las macrófitas.	126.

3.3.4.6. Muestréos y análisis del agua.	127.
3.3.4.7. Variables climáticas.	137.
3.3.4.8. Muestreo y caracterización de la biomasa.	138.
3.3.5. Análisis de la información.	141.
3.4. Resultados y Discusión.	143.
3.4.1. Condiciones climáticas durante el ensayo.	143.
3.4.1.1. Tasas de evaporación y evapotranspiración.	144.
3.4.2. Resultados de las variables evaluadas durante el proceso de depuración.	145.
3.4.2.1. Caudales.	146.
3.4.2.2. pH.	149.
3.4.2.3. Temperatura.	150.
3.4.2.4. Tiempo de detención hidráulica.	151.
3.4.2.5. Oxígeno disuelto.	152.
3.4.2.6. Alcalinidad y Relación de Alcalinidad.	154.
3.4.2.7. Color y Turbiedad.	155.
3.4.2.8. Constituyentes orgánicos.	156.
3.4.2.8.1. Sólidos Totales (ST).	156.
3.4.2.8.2. Sólidos Suspendidos Totales (SST).	158.
3.4.2.8.3. Demanda Química de Oxígeno (DQO).	160.
3.4.2.8.4. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).	163.
3.4.2.8.5. Carga Hidráulica (L <sub>w</sub> ) y Carga Orgánica (C <sub>L</sub> ).	165.
3.4.2.9. Nutrimientos.	166.
3.4.2.9.1. Nitrógeno Total Kjeldahl (N-NTK).	166.
3.4.2.9.2. Nitrógeno amoniacal (N-NH <sub>3</sub> ) y Nitrógeno nítrico (N-NO <sub>3</sub> ).	168.
3.4.2.9.3. Nitrógeno Orgánico y Nitrógeno Total.	171.
3.4.2.9.4. Fosfatos totales y filtrados.	173.
3.4.2.9.5. Potasio y Sulfatos.	175.
3.4.2.10. Coliformes Totales y Fecales.	176.
3.4.3. Determinación de los coeficientes de eliminación de nutrimentos.	178.
3.4.4. Análisis estadístico de las variables respuesta.	181.
3.4.4.1. Análisis de varianza.	181.
3.4.4.2. Comparación de promedios mediante Prueba Tukey.	188.
3.4.5. Efecto de las lagunas experimentales en la remoción de los parámetros de interés.	201.
3.4.6. Caracterización de la biomasa.	210.
3.4.6.1. Tasas de crecimiento.	210.
3.4.6.1.1. Tasas de crecimiento de las especies flotantes.	210.
3.4.6.1.2. Tasa de crecimiento de la especie emergente.	213.
3.4.6.1.3. Efecto de la concentración del afluente sobre la tasa de crecimiento de las especies evaluadas.	217.
3.4.6.2. Contenido de minerales.	220.
3.4.7. Obtención de ecuaciones de regresión múltiple.	228.
3.5. Conclusiones.	229.
<b>4. EFECTO DE LA CARGA ORGÁNICA DE LOS EFLUENTES DEL SMTA EN SISTEMAS ACUÁTICOS DE TRATAMIENTO (Ensayo 2).</b>	<b>235.</b>

4.1. Introducción.	235.
4.2. Objetivos.	236.
4.3. Materiales y métodos.	237.
4.3.1. Lugar donde se realizó la investigación.	237.
4.3.2. Fecha de realización.	237.
4.3.3. Materiales.	237.
4.3.4. Métodos.	239.
4.3.4.1. Densidad de arranque de las plantas evaluadas.	239.
4.3.4.2. Evaluación de la depuración alcanzada con las macrófitas.	239.
4.3.4.3. Muestras y análisis del agua.	240.
4.3.4.4. Variables climáticas.	240.
4.3.4.5. Muestreo y caracterización de la biomasa.	241.
4.3.5. Análisis de la información.	241.
4.4. Resultados y Discusión.	242.
4.4.1. Condiciones climáticas en las que se desarrolló el ensayo.	242.
4.4.2. Resultados de las variables evaluadas durante el proceso de depuración.	243.
4.4.2.1. Caudales.	244.
4.4.2.2. pH.	245.
4.4.2.3. Temperatura.	245.
4.4.2.4. Tiempo de detención hidráulica.	245.
4.4.2.5. Alcalinidad y Relación de Alcalinidad.	246.
4.4.2.6. Constituyentes orgánicos.	247.
4.4.2.6.1. Sólidos Totales (ST).	247.
4.4.2.6.2. Sólidos Suspendidos Totales (SST).	249.
4.4.2.6.3. Demanda Química de Oxígeno (DQO).	250.
4.4.2.6.4. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).	251.
4.4.2.6.5. Carga Hidráulica (L <sub>w</sub> ) y Carga Orgánica (C <sub>L</sub> ).	253.
4.4.2.7. Nutrientes.	254.
4.4.2.7.1. Nitrógeno Total Kjeldahl (N-NTK).	254.
4.4.2.7.2. Nitrógeno amoniacal (N-NH <sub>3</sub> ) y Nitrógeno nítrico (N-NO <sub>3</sub> ).	256.
4.4.2.7.3. Nitrógeno Orgánico y Nitrógeno Total.	258.
4.4.2.7.4. Fosfatos totales y filtrados.	259.
4.4.2.7.5. Potasio y Sulfatos.	261.
4.4.2.8. Coliformes Totales y Fecales.	263.
4.4.3. Análisis estadístico de las variables respuesta.	266.
4.4.3.1. Efecto de las lagunas experimentales en la remoción de los parámetros de interés.	274.
4.4.4. Caracterización de la biomasa.	281.
4.4.4.1. Tasas de crecimiento.	281.
4.4.4.2. Efecto de la carga orgánica del afluente sobre la tasa de crecimiento de las especies evaluadas.	285.
4.4.4.3. Contenido de minerales.	289.
4.4.5. Comparación de promedios obtenidos de las variables respuesta a los 3 regímenes de caudal (ensayos 1 y 2) mediante la Prueba Tukey.	296.
4.4.6. Selección de la mejor especie para el postratamiento de las aguas mieles del café.	303.

4.4.7. Obtención de ecuaciones de regresión múltiple.	305.
4.5. Conclusiones.	307.
<b>5. MONOCULTIVO vs COMBINACIÓN DE ESPECIES EN SISTEMAS ACUÁTICOS CON EFLUENTES DE LOS SMTA (Ensayo 3).</b>	<b>313.</b>
5.1. Introducción.	313.
5.2. Objetivos e hipótesis.	314.
5.3. Materiales y métodos.	315.
5.3.1. Lugar donde se realizó la investigación.	315.
5.3.2. Fecha de realización.	315.
5.3.3. Materiales.	315.
5.3.4. Métodos.	317.
5.3.4.1. Densidad de arranque de las plantas evaluadas.	317.
5.3.4.2. Evaluación de la depuración alcanzada con las macrófitas.	317.
5.3.4.3. Muestras y análisis del agua.	318.
5.3.4.4. Variables climáticas.	319.
5.3.4.5. Muestreo y caracterización de la biomasa.	319.
5.3.5. Análisis de la información.	319.
5.4. Resultados y Discusión.	320.
5.4.1. Condiciones climáticas en las que se desarrolló el ensayo.	320.
5.4.2. Resultados de las variables evaluadas durante el proceso de depuración.	321.
5.4.2.1. Caudales.	321.
5.4.2.2. pH.	322.
5.4.2.3. Temperatura.	323.
5.4.2.4. Tiempo de detención hidráulica.	323.
5.4.2.5. Constituyentes orgánicos.	325.
5.4.2.5.1. Sólidos Totales (ST).	325.
5.4.2.5.2. Sólidos Suspendidos Totales (SST).	326.
5.4.2.5.3. Demanda Química de Oxígeno (DQO).	327.
5.4.2.5.4. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).	333.
5.4.2.5.5. Carga Hidráulica (L <sub>w</sub> ) y Carga Orgánica (C <sub>L</sub> ).	334.
5.4.2.6. Nutrientes.	335.
5.4.2.6.1. Nitrógeno Total Kjeldahl (N-NTK).	335.
5.4.2.6.2. Nitrógeno amoniacal (N-NH <sub>3</sub> ) y Nitrógeno nítrico (N-NO <sub>3</sub> ).	337.
5.4.2.6.3. Nitrógeno Orgánico y Nitrógeno Total.	339.
5.4.2.6.4. Fosfatos totales y filtrados.	341.
5.4.2.6.5. Potasio y Sulfatos.	342.
5.4.2.7. Coliformes Totales y Fecales.	345.
5.4.3. Análisis estadístico de las variables respuesta.	347.
5.4.3.1. Comparación de promedios mediante Prueba Tukey.	351.
5.4.3.2. Efecto de las líneas en la remoción de los parámetros de interés.	352.
5.4.3.3. Ecuaciones de regresión para la mejor especie ( <i>E. crassipes</i> ).	354.
5.4.3.4. Coeficientes cinéticos de eliminación de la DQO y la DBO <sub>5</sub> para la mejor especie ( <i>E. crassipes</i> ).	357.
5.4.4. Caracterización de la biomasa.	357.
5.4.4.1. Tasas de crecimiento.	357.

5.4.4.2. Contenido de minerales.	364.
5.5. Conclusiones.	373.
<b>6. EVALUACIÓN A ESCALA DE FINCA CAFETERA.</b>	<b>377.</b>
6.1. Introducción.	377.
6.2. Objetivos.	378.
6.3. Materiales y métodos.	379.
6.3.1. Lugar donde se realizó la investigación.	379.
6.3.2. Fecha de realización.	379.
6.3.3. Materiales.	379.
6.3.3.1. Sustratos.	379.
6.3.3.2. Material biológico.	379.
6.3.3.3. Lagunas.	379.
6.3.4. Métodos.	381.
6.3.4.1. Densidad de arranque de las plantas evaluadas.	381.
6.3.4.2. Evaluación de la depuración alcanzada en el sistema de tratamiento.	381.
6.3.4.3. Variables climáticas.	381.
6.4. Resultados y Discusión.	383.
6.5. Conclusiones.	391.
<b>7. APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA GENERADA EN SISTEMAS ACUÁTICOS DE TRATAMIENTO.</b>	<b>395.</b>
7.1. Introducción.	395.
7.1.1. Cultivo de hongos comestibles y medicinales.	395.
7.1.1.1. Descripción de los géneros de hongos evaluados en la presente investigación.	396.
7.1.1.2. Cultivo de hongos comestibles y medicinales sobre subproductos agrícolas generados en la zona cafetera.	397.
7.1.1.3. Cultivo de hongos comestibles sobre biomasa de macrófitas.	398.
7.1.1.4. Cultivo de hongos comestibles en sustratos que utilicen biomasa de macrófitas y subproductos del café.	399.
7.1.2. Producción de abono orgánico.	400.
7.1.2.1. Compostaje.	400.
7.1.2.2. Lombricompostaje.	400.
7.1.2.2.1. Lombricompostaje con biomasa de macrófitas.	401.
7.2. Objetivos e hipótesis.	402.
7.3. Materiales y métodos.	403.
7.3.1. Lugar donde se realizó la investigación.	403.
7.3.2. Fecha de realización.	403.
7.3.3. Materiales.	403.
7.3.3.1. Sustratos.	403.
7.3.3.2. Material biológico.	403.
7.3.4. Métodos.	404.
7.3.4.1. Aprovechamiento de la biomasa de sistemas acuáticos en la producción de hongos comestibles y medicinales.	404.
7.3.4.1.1. Cultivo de hongos del género <i>Pleurotus</i> spp.	404.
7.3.4.1.2. Cultivo del hongo <i>Lentinula edodes</i> .	405.

7.3.4.1.3. Metodología para el cultivo de los hongos comestibles y medicinales.	405.
7.3.4.1.4. Análisis de la información.	409.
7.3.4.2. Aprovechamiento de la biomasa de sistemas acuáticos en la producción de abono orgánico mediante la lombricultura.	409.
7.3.4.2.1. Análisis de la información.	411.
7.4. Resultados y Discusión.	412.
7.4.1. Cultivo de hongos comestibles del género <i>Pleurotus</i> spp.	412.
7.4.1.1. Etapa de adecuación de sustratos e inoculación.	412.
7.4.1.2. Etapa de Incubación.	415.
7.4.1.2.1. Tiempo de incubación.	417.
7.4.1.3. Etapa de Fructificación.	417.
7.4.1.3.1. Precocidad.	419.
7.4.1.3.2. Tiempo de fructificación.	419.
7.4.1.4. Análisis de la información.	420.
7.4.1.4.1. Rendimientos.	420.
7.4.1.4.2. Análisis de varianza.	421.
7.4.2. Cultivo del hongo comestible y medicinal <i>Lentinula edodes</i> .	423.
7.4.2.1. Etapa de adecuación de sustratos e inoculación.	423.
7.4.2.2. Etapa de Incubación.	425.
7.4.3. Producción de abono orgánico mediante la lombricultura.	426.
7.4.3.1. Lombricompuestos a partir de la biomasa inicial de <i>E. crassipes</i> .	426.
7.4.3.2. Lombricompuestos a partir de biomasa seca proveniente de sistemas acuáticos de tratamiento.	428.
7.4.3.3. Lombricompuestos a partir de biomasa fresca proveniente de sistemas acuáticos de tratamiento.	431.
7.4.3.4. Comparación en los valores N, P, K obtenidos en los lombricompuestos provenientes de biomasa fresca y seca de las plantas utilizadas en los sistemas acuáticos de tratamiento.	434.
7.5. Conclusiones.	437.
<b>8. ANÁLISIS DE LAS VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS DIFERENTES COMBINACIONES DE SISTEMAS ACUÁTICOS ESTUDIADOS.</b>	<b>443.</b>
8.1. Sistema acuático de tratamiento utilizando <i>E. crassipes</i> como única especie.	443.
8.2. Sistema acuático de tratamiento utilizando una mezcla de <i>E. crassipes</i> , <i>P. stratiotes</i> y <i>S. auriculata</i> .	444.
8.3. Sistema acuático de tratamiento utilizando en serie <i>E. crassipes</i> , <i>P. stratiotes</i> , <i>T. angustifolia</i> y <i>S. auriculata</i> .	445.
<b>9. CONCLUSIONES GENERALES.</b>	<b>449.</b>
<b>10. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS.</b>	<b>455.</b>
<b>11. BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>459.</b>
<b>12. ANEXOS.</b>	<b>485.</b>
<b>13. GLOSARIO.</b>	<b>505.</b>



## RELACIÓN DE TABLAS.

<b>Tabla 1.1.</b> Producción de café en Colombia en los últimos 7 años.	5.
<b>Tabla 1.2.</b> Residuos obtenidos en el proceso de beneficio e industrialización de 1 kilogramo de café cereza en Colombia.	11.
<b>Tabla 1.3.</b> Caracterización de aguas residuales del beneficio del café.	21.
<b>Tabla 1.4.</b> Caracterización, en el tiempo, de las aguas de despulpado de café.	22.
<b>Tabla 1.5.</b> Caracterización, en el tiempo, de las aguas de lavado de café.	23.
<b>Tabla 1.6.</b> Recuento microbiano en aguas de despulpado con 48 horas de generadas.	23.
<b>Tabla 1.7.</b> Comparación de las características físico-químicas de las aguas residuales del beneficio del café con las aguas residuales domésticas.	24.
<b>Tabla 1.8.</b> Características de las aguas residuales del café obtenidas utilizando 1 litro de agua/kg de fruto.	25.
<b>Tabla 1.9.</b> Caracterización de los residuos líquidos del proceso de beneficio del café.	26.
<b>Tabla 1.10.</b> Características de las aguas residuales del café generadas en El Salvador	26.
<b>Tabla 1.11.</b> Algunas características de las aguas de lavado de café.	27.
<b>Tabla 1.12.</b> Criterios de calidad del agua, según su uso. Decreto 1595/84.	29.
<b>Tabla 1.13.</b> Normas de vertimiento a un cuerpo de agua.	30.
<b>Tabla 1.14.</b> Contaminación generada en diferentes tipos de beneficiaderos húmedos de café, en Colombia.	32.
<b>Tabla 1.15.</b> Comparación entre los tratamientos aerobios y anaerobios.	44.
<b>Tabla 1.16.</b> Algunos tratamientos terciarios y su efecto buscado.	52.
<b>Tabla 1.17.</b> Características y calidad esperada del efluente en sistemas de aplicación al suelo.	56.
<b>Tabla 1.18.</b> Principales mecanismos de remoción y transformación de los contaminantes en los humedales artificiales.	62.
<b>Tabla 1.19.</b> Valores indicativos para el diseño de humedales.	67.
<b>Tabla 1.20.</b> Criterios típicos para el diseño de humedales y calidad de los efluentes esperados.	67.
<b>Tabla 1.21.</b> Características típicas del medio en humedales de flujo subsuperficial.	68.
<b>Tabla 1.22.</b> Criterios de diseño típicos y calidad del efluente esperada en sistemas de tratamiento con plantas acuáticas flotantes.	81.
<b>Tabla 3.1.</b> Descripción de los tratamientos evaluados en el ensayo.	113.
<b>Tabla 3.2.</b> Características del Agrobblack Esp. 6.	115.
<b>Tabla 3.3.</b> Condiciones climáticas en las que se desarrolló el ensayo.	144.
<b>Tabla 3.4.</b> Tasas de evaporación y evapotranspiración en el estado estable del ensayo.	144.
<b>Tabla 3.5.</b> Valores promedio de Caudal, pH y Temperatura, en el estado estable.	148.
<b>Tabla 3.6.</b> Valores promedio del volumen efectivo de las lagunas y del Tiempo de detención hidráulica durante todo el ensayo y en el estado estable.	152.
<b>Tabla 3.7.</b> Valores promedio de O <sub>2</sub> disuelto, Alcalinidad y Relación de Alcalinidad, en el estado estable.	153.
<b>Tabla 3.8.</b> Valores promedio de Color Verdadero y Turbiedad en el estado estable.	156.
<b>Tabla 3.9.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de los Sólidos Totales y Sólidos Suspendidos Totales en el estado estable.	157.

<b>Tabla 3.10.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de la DQO total y DQO filtrada en el estado estable.	161.
<b>Tabla 3.11.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción DBO <sub>5</sub> , y valores promedio de Carga Hidráulica y Carga Orgánica aplicadas en el estado estable.	163.
<b>Tabla 3.12.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de Nitrógeno Kjeldahl, Total y filtrado, en el estado estable.	167.
<b>Tabla 3.13.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de Nitrógeno Amoniacal y Nitrógeno Nítrico, en el estado estable.	169.
<b>Tabla 3.14.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de Nitrógeno Orgánico y Nitrógeno Total, en el estado estable.	172.
<b>Tabla 3.15.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de Fosfatos totales y filtrados en el estado estable.	174.
<b>Tabla 3.16.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de Potasio y Sulfatos en el estado estable.	176.
<b>Tabla 3.17.</b> Valores promedio de Coliformes totales y fecales en el estado estable.	177.
<b>Tabla 3.18.</b> Valores promedio de Remoción de Coliformes totales y fecales en el estado estable.	178.
<b>Tabla 3.19.</b> Valores del coeficiente cinético de eliminación en lagunas operando con afluentes sin diluir, en el estado estable.	179.
<b>Tabla 3.20.</b> Valores del coeficiente cinético de eliminación en lagunas operando con afluentes diluidos al 40%, en el estado estable.	180.
<b>Tabla 3.21.</b> Valores del coeficiente cinético de eliminación en lagunas operando con afluentes diluidos al 10%, en el estado estable.	180.
<b>Tabla 3.22.</b> Promedio, Desviación estándar, valores mínimos y máximos de las variables evaluadas en cada concentración para el Control Flotantes.	182.
<b>Tabla 3.23.</b> Promedio, Desviación estándar, valores mínimos y máximos de las variables evaluadas en cada concentración para <i>T. angustifolia</i> .	183.
<b>Tabla 3.24.</b> Promedio, Desviación estándar, valores mínimos y máximos de las variables evaluadas en cada concentración para el Control Emergente.	184.
<b>Tabla 3.25.</b> Promedio, Desviación estándar, valores mínimos y máximos de las variables evaluadas en cada concentración para <i>S. auriculata</i> .	185.
<b>Tabla 3.26.</b> Promedio, Desviación estándar, valores mínimos y máximos de las variables evaluadas en cada concentración para <i>P. stratiotes</i> .	186.
<b>Tabla 3.27.</b> Promedio, Desviación estándar, valores mínimos y máximos de las variables evaluadas en cada concentración para <i>E. crassipes</i> .	187.
<b>Tabla 3.28.</b> Comparación de promedios en las variables porcentaje de remoción.	188.
<b>Tabla 3.29.</b> Comparación de promedios en las variables Coeficiente de eliminación.	189.
<b>Tabla 3.30.</b> Remoción promedio de contaminantes de cada laguna experimental (efecto del empaque, columna de agua, sedimentos y plantas).	202.
<b>Tabla 3.31.</b> Remoción promedio de contaminantes de cada laguna experimental (efecto solamente de las plantas).	203.
<b>Tabla 3.32.</b> Tasa de crecimiento de las macrófitas, en g/m <sup>2</sup> -día, en el estado estable.	212.
<b>Tabla 3.33.</b> Tasa de crecimiento de <i>T. angustifolia</i> , en g/m <sup>2</sup> -día, en el estado estable.	214.

<b>Tabla 3.34.</b> Tasas de crecimiento de <i>T. angustifolia</i> , en cm/d.	215.
<b>Tabla 3.35.</b> Valores promedio del contenido de minerales de <i>E. crassipes</i> .	220.
<b>Tabla 3.36.</b> N, P, K, tomados por <i>E. crassipes</i> durante el estado estable.	222.
<b>Tabla 3.37.</b> Valores promedio del contenido de minerales de <i>P. stratiotes</i> .	223.
<b>Tabla 3.38.</b> N, P, K, tomados por <i>P. stratiotes</i> durante el estado estable.	225.
<b>Tabla 3.39.</b> Valores promedio del contenido de minerales de <i>S. auriculata</i> .	226.
<b>Tabla 3.40.</b> N, P, K, tomados por <i>S. auriculata</i> durante el estado estable.	226.
<b>Tabla 3.41.</b> Valores promedio del contenido de minerales de <i>T. angustifolia</i> .	227.
<b>Tabla 3.42.</b> N, P, K, tomados por <i>T. angustifolia</i> durante el estado estable.	228.
<b>Tabla 4.1.</b> Descripción de los tratamientos evaluados en el ensayo.	240.
<b>Tabla 4.2.</b> Condiciones climáticas en las que se desarrolló el ensayo.	242.
<b>Tabla 4.3.</b> Valores promedio de Caudal, pH y Temperatura.	244.
<b>Tabla 4.4.</b> Valores promedio de TRH, Alcalinidad y Relación de Alcalinidad.	246.
<b>Tabla 4.5.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de los Sólidos Totales y Sólidos Suspendidos Totales.	248.
<b>Tabla 4.6.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de la DQO total y DQO filtrada.	250.
<b>Tabla 4.7.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción DBO <sub>5</sub> , y valores promedio de Carga Hidráulica y Carga Orgánica aplicadas.	252.
<b>Tabla 4.8.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de Nitrógeno Kjeldahl, Total y filtrado.	255.
<b>Tabla 4.9.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de Nitrógeno Amoniacal y Nitrógeno Nítrico.	256.
<b>Tabla 4.10.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de Nitrógeno Orgánico y Nitrógeno Total.	258.
<b>Tabla 4.11.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de Fosfatos totales y filtrados.	260.
<b>Tabla 4.12.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de Potasio y Sulfatos.	262.
<b>Tabla 4.13.</b> Valores promedio de Coliformes totales y fecales.	264.
<b>Tabla 4.14.</b> Valores promedio de Remoción de Coliformes totales y fecales.	265.
<b>Tabla 4.15.</b> Promedio, Desviación estándar, valores mínimos y máximos de las variables evaluadas en cada concentración para <i>E. crassipes</i> . 1,5Q <sub>1</sub> .	266.
<b>Tabla 4.16.</b> Promedio, Desviación estándar, valores mínimos y máximos de las variables evaluadas en cada concentración para <i>E. crassipes</i> . 2Q <sub>1</sub> .	267.
<b>Tabla 4.17.</b> Promedio, Desviación estándar, valores mínimos y máximos de las variables evaluadas en cada concentración para <i>P. stratiotes</i> . 1,5Q <sub>1</sub> .	268.
<b>Tabla 4.18.</b> Promedio, Desviación estándar, valores mínimos y máximos de las variables evaluadas en cada concentración para <i>P. stratiotes</i> . 2Q <sub>1</sub> .	269.
<b>Tabla 4.19.</b> Promedio, Desviación estándar, valores mínimos y máximos de las variables evaluadas en cada concentración para <i>S. auriculata</i> . 1,5Q <sub>1</sub> .	270.
<b>Tabla 4.20.</b> Promedio, Desviación estándar, valores mínimos y máximos de las variables evaluadas en cada concentración para <i>S. auriculata</i> . 2Q <sub>1</sub> .	271.
<b>Tabla 4.21.</b> Promedio, Desviación estándar, valores mínimos y máximos de las variables evaluadas en cada concentración para <i>T. angustifolia</i> . 1,5Q <sub>1</sub> .	272.

<b>Tabla 4.22.</b> Promedio, Desviación estándar, valores mínimos y máximos de las variables evaluadas en cada concentración para <i>T. angustifolia</i> . 2Q <sub>1</sub> .	273.
<b>Tabla 4.23.</b> Remoción promedio de contaminantes de cada laguna experimental.	274.
<b>Tabla 4.24.</b> Tasa de crecimiento de las macrófitas, en g/m <sup>2</sup> -día.	281.
<b>Tabla 4.25.</b> Tasa de crecimiento de <i>T. angustifolia</i> , en g/m <sup>2</sup> -día, en el estado estable.	284.
<b>Tabla 4.26.</b> Tasa de crecimiento de <i>T. angustifolia</i> , en cm/d, para 1,5Q <sub>1</sub> .	285.
<b>Tabla 4.27A.</b> Valores promedio del contenido de minerales de <i>E. crassipes</i> al inicio y al final del ensayo.	290.
<b>Tabla 4.27B.</b> Valores promedio del contenido de minerales de <i>E. crassipes</i> al inicio y al final del ensayo.	291.
<b>Tabla 4.28A.</b> Valores promedio del contenido de minerales de <i>P. stratiotes</i> al inicio y al final del ensayo.	292.
<b>Tabla 4.28B.</b> Valores promedio del contenido de minerales de <i>P. stratiotes</i> al inicio y al final del ensayo.	293.
<b>Tabla 4.29A.</b> Valores promedio del contenido de minerales de <i>S. auriculata</i> al inicio y al final del ensayo.	294.
<b>Tabla 4.29B.</b> Valores promedio del contenido de minerales de <i>S. auriculata</i> al inicio y al final del ensayo.	294.
<b>Tabla 4.30A.</b> Valores promedio del contenido de minerales de <i>T. angustifolia</i> al inicio y al final del ensayo.	296.
<b>Tabla 4.30B.</b> Valores promedio del contenido de minerales de <i>T. angustifolia</i> al inicio y al final del ensayo.	296.
<b>Tabla 4.31.</b> Comparación de promedios en las variables porcentaje de remoción.	297.
<b>Tabla 4.32.</b> Comparación de promedios en las variables coeficiente de eliminación.	297.
<b>Tabla 4.33.</b> Puntaje global de las 4 especies acuáticas evaluadas a 3 regímenes de caudal y afluentes sin diluir.	304.
<b>Tabla 5.1.</b> Condiciones Climáticas bajo las que se desarrolló el Ensayo.	320.
<b>Tabla 5.2.</b> Valores promedio de Caudal, pH y Temperatura.	322.
<b>Tabla 5.3.</b> Valores promedio del tiempo de detención hidráulica.	324.
<b>Tabla 5.4.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de los Sólidos Totales y Sólidos Suspendidos Totales.	326.
<b>Tabla 5.5.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de la DQO total y DQO filtrada.	328.
<b>Tabla 5.6.</b> Coeficientes de eliminación de DQO en afluentes diluidos (d) y sin diluir (sd).	330.
<b>Tabla 5.7.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción DBO <sub>5</sub> , y valores promedio de Carga Hidráulica y Carga Orgánica aplicadas.	333.
<b>Tabla 5.8.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de Nitrógeno Kjeldahl, Total y filtrado.	336.
<b>Tabla 5.9.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de Nitrógeno Amoniacal y Nitrógeno Nítrico.	338.
<b>Tabla 5.10.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de Nitrógeno Orgánico y Nitrógeno Total.	340.
<b>Tabla 5.11.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de Fosfatos totales y filtrados.	341.

<b>Tabla 5.12.</b> Valores promedio y porcentajes de remoción de Potasio y Sulfatos.	343.
<b>Tabla 5.13.</b> Valores promedio de Coliformes totales y fecales.	345.
<b>Tabla 5.14.</b> Valores promedio de Remoción de Coliformes totales y fecales.	346.
<b>Tabla 5.15.</b> Promedio, Desviación estándar, valores mínimos y máximos de las variables evaluadas en cada concentración para la línea 1. (Mezcla plantas flotantes).	348.
<b>Tabla 5.16.</b> Promedio, Desviación estándar, valores mínimos y máximos de las variables evaluadas en cada concentración para la línea 2. (4 especies en serie).	349.
<b>Tabla 5.17.</b> Promedio, Desviación estándar, valores mínimos y máximos de las variables evaluadas en cada concentración para la línea 3. ( <i>E. crassipes</i> ).	350.
<b>Tabla 5.18.</b> Comparación de promedios en las variables porcentaje de remoción.	351.
<b>Tabla 5.19.</b> Comparación de promedios en las variables coeficiente de eliminación.	351.
<b>Tabla 5.20.</b> Remoción promedio de contaminantes de cada laguna experimental.	352.
<b>Tabla 5.21.</b> Puntaje global de las 3 líneas experimentales en el postratamiento de las aguas mieles del café.	353.
<b>Tabla 5.22.</b> Coeficientes cinéticos medios de eliminación de la DQO y DBO <sub>5</sub> utilizando <i>E. crassipes</i> . (Incluyendo los datos de los 3 ensayos).	358.
<b>Tabla 5.23.</b> Tasa de crecimiento de las macrófitas, en g/m <sup>2</sup> -día.	359.
<b>Tabla 5.24.</b> Valores promedio del contenido de minerales de <i>E. crassipes</i> en la línea 3 al inicio y al final del ensayo.	366.
<b>Tabla 5.25.</b> Valores promedio del contenido de minerales de las 4 especies en la línea 2 al inicio y al final del ensayo.	368.
<b>Tabla 5.26A.</b> Valores promedio del contenido de minerales de <i>E. crassipes</i> y <i>P. stratiotes</i> en la línea 1 al inicio y al final del ensayo.	370.
<b>Tabla 5.26B.</b> Valores promedio del contenido de minerales de <i>E. crassipes</i> y <i>P. stratiotes</i> en la línea 1 al inicio y al final del ensayo.	371.
<b>Tabla 6.1.</b> Valores medios de precipitación durante la cosecha principal en la zona de estudio.	383.
<b>Tabla 6.2.</b> Variables relacionadas con el funcionamiento del sistema integral de tratamiento de las aguas mieles en la finca San Bernardo.	383.
<b>Tabla 6.3.</b> Caracterización de afluentes y efluentes de los diferentes componentes del sistema integral de tratamiento de aguas mieles instalado en la finca San Bernardo.	384.
<b>Tabla 6.4.</b> Tiempo de detención hidráulica, carga hidráulica, carga orgánica y porcentajes de remoción de la DQO, DBO <sub>5</sub> , ST y SST en el sistema acuático de tratamiento.	386.
<b>Tabla 6.5.</b> Valores del Promedio, Desviación Estándar, Valor Mínimo y Valor Máximo de las variables utilizadas para la caracterización de los efluentes del sistema acuático de tratamiento, durante el estado estable.	387.
<b>Tabla 6.6.</b> Valores del Promedio, Desviación Estándar, Valor Mínimo y Valor Máximo del TRH, Carga Hidráulica, Carga orgánica y de los porcentajes de remoción de la materia orgánica en el sistema acuático de tratamiento durante el estado estable.	387.

<b>Tabla 6.7.</b> Porcentajes de remoción de la DQO, DBO <sub>5</sub> , ST y SST en el SMTA, sistema acuático de tratamiento y sistema integral de tratamiento instalado en la finca San Bernardo.	389.
<b>Tabla 6.8.</b> Promedio, Desviación Estándar, Valor Mínimo y Máximo de las variables utilizadas para la evaluar la remoción de la contaminación orgánica, en cada uno de los componentes del sistema integral de tratamiento durante el estado estable.	390.
<b>Tabla 7.1.</b> Características del sustrato utilizado para el cultivo de <i>Pleurotus</i> spp. (Tratamientos 1 a 4).	412.
<b>Tabla 7.2.</b> Condiciones de adecuación de los sustratos para el cultivo de <i>Pleurotus</i> spp. (Tratamientos 1 a 4).	412.
<b>Tabla 7.3.</b> Características del sustrato utilizado para el cultivo de <i>Pleurotus</i> spp. (Tratamientos 5 y 6).	413.
<b>Tabla 7.4.</b> Condiciones de adecuación de los sustratos para el cultivo de <i>Pleurotus</i> spp. (Tratamientos 5 y 6).	414.
<b>Tabla 7.5.</b> Características del sustrato utilizado para el cultivo de <i>Pleurotus</i> spp. (Testigos).	414.
<b>Tabla 7.6.</b> Condiciones de adecuación de los sustratos para el cultivo de <i>Pleurotus</i> spp. (Tratamientos Testigo).	415.
<b>Tabla 7.7.</b> Condiciones de Incubación de los tratamientos con <i>Pleurotus</i> spp.	416.
<b>Tabla 7.8.</b> Condiciones de Fructificación de los tratamientos con <i>Pleurotus</i> spp.	418.
<b>Tabla 7.9.</b> Valor de la precocidad y duración de la cosecha en los tratamientos con <i>Pleurotus</i> spp.	419.
<b>Tabla 7.10.</b> Promedio, Desviación Estándar, Valores Mínimos y Máximos e Intervalos de Confianza para la variable Rendimiento.	420.
<b>Tabla 7.11.</b> Comparación de promedios en la variable rendimiento.	421.
<b>Tabla 7.12.</b> Promedio, Desviación Estándar, Valores Mínimos y Máximos para la variable Rendimiento en los testigos.	422.
<b>Tabla 7.13.</b> Características del sustrato utilizado para el cultivo de <i>L. edodes</i> .	423.
<b>Tabla 7.14.</b> Condiciones de Incubación de los tratamientos con <i>L. edodes</i> .	425.
<b>Tabla 7.15.</b> Condiciones climáticas del proceso de producción de abono orgánico.	426.
<b>Tabla 7.16.</b> Lombricompuestos obtenidos de biomasa de <i>E. crassipes</i> antes de ser utilizada en los sistemas acuáticos de tratamiento.	427.
<b>Tabla 7.17.</b> Contenido de minerales en tejidos frescos de <i>E. crassipes</i> , en su lombricompuesto y en un lombricompuesto de pulpa de café.	427.
<b>Tabla 7.18.</b> Lombricompuestos obtenidos de biomasa seca de diferentes plantas acuáticas y sus mezclas.	428.
<b>Tabla 7.19.</b> Contenido de minerales en lombricompuestos obtenidos de biomasa seca de diferentes plantas acuáticas.	429.
<b>Tabla 7.20.</b> Contenido de minerales en lombricompuestos obtenidos de biomasa seca de mezclas de diferentes plantas acuáticas.	430.
<b>Tabla 7.21.</b> Lombricompuestos obtenidos de biomasa fresca de diferentes plantas acuáticas y sus mezclas.	431.
<b>Tabla 7.22.</b> Contenido de minerales en lombricompuestos obtenidos de biomasa fresca de diferentes plantas acuáticas.	433.

<b>Tabla 7.23.</b> Contenido de minerales en lombricompuestos obtenidos de biomasa fresca de mezclas de diferentes plantas acuáticas.	434.
<b>Tabla 7.24.</b> Comparación entre los contenidos N, P, K de los lombricompuestos obtenidos de biomasa fresca y seca de las plantas utilizadas en los sistemas acuáticos de tratamiento y su valor fertilizante.	435.
<b>Tabla 12.1.</b> Valores promedio de Caudal, pH, Temperatura, Alcalinidad, Relación de Alcalinidad y Sólidos Totales (Ensayo 1).	485.
<b>Tabla 12.2.</b> Valores promedio de SST, DQO total y filtrada, DBO <sub>5</sub> , Carga Hidráulica y Carga Orgánica (Ensayo 1).	486.
<b>Tabla 12.3.</b> Valores promedio de Remoción de DQO, DBO <sub>5</sub> , DQO filtrada y Sólidos Totales y Sólidos Suspendidos Totales (Ensayo 1).	487.
<b>Tabla 12.4.</b> Componentes del análisis de varianza en las variables respuesta para Control Flotantes. Ensayo 1.	487.
<b>Tabla 12.5.</b> Componentes del análisis de varianza en las variables respuesta para <i>T. angustifolia</i> . Ensayo 1.	488.
<b>Tabla 12.6.</b> Componentes del análisis de varianza en las variables respuesta para Control Emergente. Ensayo 1.	488.
<b>Tabla 12.7.</b> Componentes del análisis de varianza en las variables respuesta para <i>S. auriculata</i> . Ensayo 1.	488.
<b>Tabla 12.8.</b> Componentes del análisis de varianza en las variables respuesta para <i>P. stratiotes</i> . Ensayo 1.	489.
<b>Tabla 12.9.</b> Componentes del análisis de varianza en las variables respuesta para <i>E. crassipes</i> . Ensayo 1.	489.
<b>Tabla 12.10.</b> Tasa de crecimiento de las macrófitas flotantes, en g/m <sup>2</sup> -día (Ensayo 1).	489.
<b>Tabla 12.11.</b> Tasa de crecimiento de <i>T. angustifolia</i> , en g/m <sup>2</sup> -día (Ensayo 1).	490.
<b>Tabla 12.12.</b> Ecuaciones de regresión de los afluentes a las lagunas experimentales.	490.
<b>Tabla 12.13.</b> Componentes del análisis de varianza en las variables respuesta para <i>E. crassipes</i> . Ensayo 2.	491.
<b>Tabla 12.14.</b> Componentes del análisis de varianza en las variables respuesta para <i>P. stratiotes</i> . Ensayo 2.	492.
<b>Tabla 12.15.</b> Componentes del análisis de varianza en las variables respuesta para <i>S. auriculata</i> . Ensayo 2.	493.
<b>Tabla 12.16.</b> Componentes del análisis de varianza en las variables respuesta para <i>T. angustifolia</i> . Ensayo 2.	494.
<b>Tabla 12.17.</b> Ecuaciones de regresión para <i>E. crassipes</i> .	495.
<b>Tabla 12.18.</b> Ecuaciones de regresión para <i>P. stratiotes</i> .	496.
<b>Tabla 12.19.</b> Ecuaciones de regresión para <i>S. auriculata</i> .	497.
<b>Tabla 12.20.</b> Componentes del análisis de varianza en las variables respuesta para la línea 1. (Mezcla plantas flotantes). Ensayo 3.	498.
<b>Tabla 12.21.</b> Componentes del análisis de varianza en las variables respuesta para la línea 2. (4 especies en serie). Ensayo 3.	498.
<b>Tabla 12.22.</b> Componentes del análisis de varianza en las variables respuesta para la línea 3. ( <i>E. crassipes</i> ). Ensayo 3.	498.

<b>Tabla 12.23.</b> Ecuaciones de regresión para <i>E. crassipes</i> considerando los 3 ensayos.	499.
<b>Tabla 12.24.</b> Parámetros estadísticos de la ecuación de regresión lineal de la tasa de crecimiento de <i>E. crassipes</i> en función de la carga orgánica (Datos 3 ensayos).	500.
<b>Tabla 12.25.</b> Parámetros estadísticos de la ecuación de regresión lineal de la tasa de crecimiento de <i>E. crassipes</i> en función de la DQO afluyente (Datos 3 ensayos).	500.
<b>Tabla 12.26.</b> Parámetros estadísticos de la ecuación de regresión lineal de la tasa de crecimiento de <i>E. crassipes</i> en función de la DBO <sub>5</sub> afluyente (Datos 3 ensayos).	501.



## RELACIÓN DE FIGURAS.

<b>Figura 1.1.</b> Partes del fruto de café.	6.
<b>Figura 1.2.</b> Diagrama de flujo del beneficio convencional y del beneficio ecológico del café (Becolsub).	7.
<b>Figura 1.3.</b> Módulo Becolsub.	9.
<b>Figura 1.4.</b> Tanque Tina para fermentar el mucílago y lavar el café.	10.
<b>Figura 1.5.</b> Subproductos en el proceso del café.	12.
<b>Figura 1.6.</b> Despulpadora y pulpa obtenida del beneficio del fruto.	13.
<b>Figura 1.7.</b> Lombricultura con pulpa de café.	13.
<b>Figura 1.8.</b> <i>Pleurotus pulmonarius</i> sobre pulpa de café.	14.
<b>Figura 1.9.</b> Cultivo de hongos medicinales en subproductos del café.	15.
<b>Figura 1.10.</b> Pulpa de café ensilada en silos – fosa.	16.
<b>Figura 1.11.</b> Precipitación de pectinas del fruto de café.	16.
<b>Figura 1.12.</b> Producción de etanol de pulpa y mucílago de café.	17.
<b>Figura 1.13.</b> Desmucilagador y mucílago obtenido del beneficio del fruto.	17.
<b>Figura 1.14.</b> Reactores Anaerobios Tipo Botella.	46.
<b>Figura 1.15.</b> Borra de café semidescompuesta.	47.
<b>Figura 1.16.</b> Reactores Anaerobios Tipo Columna.	48.
<b>Figura 1.17.</b> Planta Piloto Biodigestión Anaerobia.	49.
<b>Figura 1.18.</b> Reactores hidrolíticos.	51.
<b>Figura 1.19.</b> Reactores metanogénicos.	51.
<b>Figura 1.20.</b> Esquema de un humedal de flujo libre superficial.	58.
<b>Figura 1.21.</b> Esquema de un humedal de flujo subsuperficial.	59.
<b>Figura 1.22.</b> Postratamiento a escala de laboratorio.	76.
<b>Figura 1.23.</b> Inflorescencia de <i>Eichhornia crassipes</i> .	85.
<b>Figura 1.24.</b> <i>Pistia stratiotes</i> .	87.
<b>Figura 1.25.</b> Inflorescencia de <i>Typha angustifolia</i> .	89.
<b>Figura 1.26.</b> <i>Salvinia auriculata</i> .	91.
<b>Figura 3.1.</b> Lugar de realización de la investigación.	108.
<b>Figura 3.2.</b> Reactores metanogénicos del SMTA.	109.
<b>Figura 3.3.</b> Aguas residuales provenientes del beneficio del café.	111.
<b>Figura 3.4.</b> Plantas acuáticas evaluadas.	112.
<b>Figura 3.5.</b> Diagrama de planta de la distribución de los tratamientos del ensayo.	114.
<b>Figura 3.6.</b> Construcción lagunas de experimentación.	116.
<b>Figura 3.7.</b> Dimensiones de las lagunas de experimentación.	117.
<b>Figura 3.8.</b> Protección de las lagunas de las aguas lluvias.	117.
<b>Figura 3.9.</b> Acondicionamiento de la alimentación a las lagunas de experimentación.	119.
<b>Figura 3.10.</b> Regulación del caudal de alimentación a las lagunas de experimentación.	120.
<b>Figura 3.11.</b> Caracterización de la grava.	121.
<b>Figura 3.12.</b> Esquema del permeámetro de carga constante.	122.
<b>Figura 3.13.</b> Densidad operacional de las macrófitas flotantes.	124.
<b>Figura 3.14.</b> Distribución y distancias de siembra de la planta emergente <i>T. angustifolia</i> en las lagunas de experimentación.	125.

<b>Figura 3.15.</b> Siembra de la macrófita emergente.	126.
<b>Figura 3.16.</b> Lagunas testigo.	126.
<b>Figura 3.17.</b> Elementos de muestreo y medición <i>In Situ</i> de las aguas residuales.	128.
<b>Figura 3.18.</b> Caracterización físico-química de las aguas residuales. I.	131.
<b>Figura 3.19.</b> Caracterización físico-química de las aguas residuales. II.	134.
<b>Figura 3.20.</b> Caracterización físico-química de las aguas residuales. III.	136.
<b>Figura 3.21.</b> Determinación de las tasas de evaporación y evapotranspiración.	138.
<b>Figura 3.22.</b> Cosecha de las plantas flotantes.	139.
<b>Figura 3.23.</b> Selección y marcaje de los tallos y hojas de la planta emergente.	140.
<b>Figura 3.24.</b> Biomasa de <i>T. angustifolia</i> .	140.
<b>Figura 3.25.</b> Adecuación de las plantas para su aprovechamiento.	141.
<b>Figura 3.26.</b> Diferencias en los porcentajes de remoción de la DBO <sub>5</sub> durante los muestreos realizados en el ensayo.	147.
<b>Figura 3.27.</b> Intervalos de confianza para las variables porcentaje de remoción y coeficiente de eliminación de la DBO <sub>5</sub> .	190.
<b>Figura 3.28.</b> Intervalos de confianza para las variables porcentaje de remoción y coeficiente de eliminación de los sólidos suspendidos totales.	192.
<b>Figura 3.29.</b> Intervalos de confianza para las variables porcentaje de remoción y coeficiente de eliminación del nitrógeno total.	195.
<b>Figura 3.30.</b> Intervalos de confianza para las variables porcentaje de remoción y coeficiente de eliminación del fósforo total.	197.
<b>Figura 3.31.</b> Intervalos de confianza para las variables porcentaje de remoción y coeficiente de eliminación del potasio.	200.
<b>Figura 3.32.</b> Relación entre la carga aplicada y la tasa de remoción de la DBO <sub>5</sub> en los tratamientos evaluados.	205.
<b>Figura 3.33.</b> Relación entre la carga aplicada y la tasa de remoción de los SST en los tratamientos evaluados.	206.
<b>Figura 3.34.</b> Relación entre la carga aplicada y la tasa de remoción del N <sub>T</sub> en los tratamientos evaluados.	207.
<b>Figura 3.35.</b> Relación entre la carga aplicada y la tasa de remoción del P <sub>T</sub> en los tratamientos evaluados.	208.
<b>Figura 3.36.</b> Relación entre la carga aplicada y la tasa de remoción de K en los tratamientos evaluados.	209.
<b>Figura 3.37.</b> Tasa de crecimiento, en g/m <sup>2</sup> -d, de las especies acuáticas flotantes.	211.
<b>Figura 3.38.</b> Tasa de crecimiento en cm/d para <i>T. angustifolia</i> .	216.
<b>Figura 3.39.</b> Efecto de la concentración de DQO en el afluente sobre la tasa de crecimiento de las especies acuáticas ensayadas.	217.
<b>Figura 3.40.</b> I. Aspecto de las lagunas al final del ensayo.	218.
<b>Figura 3.41.</b> II. Aspecto de las lagunas al final del ensayo.	219.
<b>Figura 4.1.</b> Liqueen presente en los reactores hidrolíticos – acidogénicos.	238.
<b>Figura 4.2.</b> Diagrama de planta de la distribución de los tratamientos del ensayo.	241.
<b>Figura 4.3.</b> Diferencias en los porcentajes de remoción de la DBO <sub>5</sub> durante los muestreos realizados en el ensayo.	243.

<b>Figura 4.4.</b> Relación entre la carga aplicada y la tasa de remoción de la DBO <sub>5</sub> para las diferentes especies evaluadas a los regímenes de caudal de 1,5Q <sub>1</sub> y 2Q <sub>1</sub> .	276.
<b>Figura 4.5.</b> Relación entre la carga aplicada y la tasa de remoción de los SST para las diferentes especies evaluadas a los regímenes de caudal de 1,5Q <sub>1</sub> y 2Q <sub>1</sub> .	277.
<b>Figura 4.6.</b> Relación entre la carga aplicada y la tasa de remoción del N <sub>T</sub> para las diferentes especies evaluadas a los regímenes de caudal de 1,5Q <sub>1</sub> y 2Q <sub>1</sub> .	278.
<b>Figura 4.7.</b> Relación entre la carga aplicada y la tasa de remoción del P <sub>T</sub> para las diferentes especies evaluadas a los regímenes de caudal de 1,5Q <sub>1</sub> y 2Q <sub>1</sub> .	279.
<b>Figura 4.8.</b> Relación entre la carga aplicada y la tasa de remoción del K para las diferentes especies evaluadas a los regímenes de caudal de 1,5Q <sub>1</sub> y 2Q <sub>1</sub> .	280.
<b>Figura 4.9.</b> Tasa de crecimiento, en g/m <sup>2</sup> -d, de las especies acuáticas flotantes evaluadas durante todo el tiempo de duración del ensayo.	282.
<b>Figura 4.10.</b> Efecto de la carga orgánica aplicada sobre las tasas de crecimiento de las especies evaluadas.	286.
<b>Figura 4.11.</b> I. Aspecto de las lagunas al final del ensayo.	287.
<b>Figura 4.12.</b> II Aspecto de las lagunas al final del ensayo.	288.
<b>Figura 4.13.</b> III. Aspecto de las lagunas al final del ensayo.	289.
<b>Figura 4.14.</b> Relación entre la carga aplicada y la tasa de remoción de la DBO <sub>5</sub> para las diferentes especies evaluadas a los regímenes de caudal de Q <sub>1</sub> , 1,5Q <sub>1</sub> y 2Q <sub>1</sub> .	299.
<b>Figura 4.15.</b> Relación entre la carga aplicada y la tasa de remoción de los SST para las diferentes especies evaluadas a los regímenes de caudal de Q <sub>1</sub> , 1,5Q <sub>1</sub> y 2Q <sub>1</sub> .	300.
<b>Figura 4.16.</b> Relación entre la carga aplicada y la tasa de remoción del N <sub>T</sub> para las diferentes especies evaluadas a los regímenes de caudal de Q <sub>1</sub> , 1,5Q <sub>1</sub> y 2Q <sub>1</sub> .	301.
<b>Figura 4.17.</b> Relación entre la carga aplicada y la tasa de remoción del P <sub>T</sub> para las diferentes especies evaluadas a los regímenes de caudal de Q <sub>1</sub> , 1,5Q <sub>1</sub> y 2Q <sub>1</sub> .	302.
<b>Figura 4.18.</b> Relación entre la carga aplicada y la tasa de remoción del K para las diferentes especies evaluadas a los regímenes de caudal de Q <sub>1</sub> , 1,5Q <sub>1</sub> y 2Q <sub>1</sub> .	303.
<b>Figura 5.1.</b> Diagrama de planta de la distribución de los tratamientos del ensayo.	318.
<b>Figura 5.2.</b> Relación entre la DQO afluente y la razón entre los coeficientes de eliminación de la DQO diluida y sin diluir ( $K_{DQOd}/K_{DQOsd}$ ).	332.
<b>Figura 5.3.</b> Relación entre la carga aplicada y la tasa de remoción, para las variables DBO <sub>5</sub> , SST y N <sub>T</sub> , para la especie flotante <i>E. crassipes</i> considerando los 3 ensayos evaluados.	355.
<b>Figura 5.4.</b> Relación entre la carga aplicada y la tasa de remoción, para las variables P <sub>T</sub> y K, para la especie flotante <i>E. crassipes</i> considerando los 3 ensayos evaluados.	356.

---

<b>Figura 5.5.</b> Efecto de la carga orgánica aplicada sobre las tasas de crecimiento de las especies flotantes.	361.
<b>Figura 5.6.</b> Efecto de la carga orgánica aplicada, DQO y DBO <sub>5</sub> del afluente sobre las tasas de crecimiento de la especie flotante <i>E. crassipes</i> (Todos los ensayos).	362.
<b>Figura 5.7.</b> Insectos encontrados asociados a las macrófitas.	364.
<b>Figura 5.8.</b> Aspecto final de las 3 líneas experimentales durante la fase I.	365.
<b>Figura 6.1.</b> Evaluación del postratamiento a escala de Finca Cafetera.	380.
<b>Figura 6.2.</b> Esquema del sistema acuático de tratamiento acoplado al SMTA en la finca San Bernardo y localización de los puntos de muestreo.	382.
<b>Figura 7.1.</b> Metodología para el cultivo de macromicetos.	397.
<b>Figura 7.2.</b> Producción de semilla de hongos comestibles y medicinales.	406.
<b>Figura 7.3.</b> Adecuación de los sustratos para el cultivo de los hongos.	407.
<b>Figura 7.4.</b> Condiciones del cultivo de los hongos.	408.
<b>Figura 7.5.</b> Lombricompostaje utilizando biomasa de sistemas acuáticos de tratamiento.	410.
<b>Figura 7.6.</b> Producción de hongos comestibles.	424.
<b>Figura 7.7.</b> Producción de abono orgánico.	436.

