

**Fitodepuración de aguas residuales domesticas con tres especies de Poaceas:  
*Brachiaria mutica* (pasto Pará), *Pennisetum purpureum* (pasto elefante) y *Panicum  
maximun* (pasto guinea), en el asentamiento Brisas de San Isidro,  
municipio de Popayán Cauca.**

**GIOVANI HERNÁN PALTA PRADO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
POPAYÁN  
2009**

**Fitodepuración de aguas residuales domesticas con tres especies de Poaceas:  
*Brachiaria mutica* (pasto Pará), *Pennisetum purpureum* (pasto elefante) y *Panicum  
maximun* (pasto guinea), en el asentamiento Brisas de San Isidro, municipio de  
Popayán Cauca.**

**GIOVANI HERNÁN PALTA PRADO**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Biólogo**

**Director:**

**M.Sc. SANDRA MORALES VELASCO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
POPAYÁN  
2009**

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVOS	3
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. ANTECEDENTES	5
4. MARCO TEÓRICO	7
4.1 AGUAS RESIDUALES	8
4.2 FITODEPURACIÓN	9
4.3 HUMEDALES ARTIFICIALES	10
4.4 VEGETACIÓN	12
4.5 FAMILIA POACEAE	13
4.5.1 <i>Brachiaria mutica</i> (Forssk.) Stapf (Pasto Pará).	14
4.5.2 <i>Pennisetum purpureum</i> Schumach (Pasto elefante).	15

4.5.3 <i>Panicum maximum</i> Jacq	17
4.6 CRECIMIENTO Y DESARROLLO VEGETAL	19
4.7 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA	20
4.7.1 Turbiedad.	20
4.7.2 Temperatura.	21
4.7.3 Oxígeno disuelto.	21
4.7.4 Gas carbónico.	21
4.7.5 pH.	22
4.7.6 Alcalinidad.	22
4.7.7 Dureza.	22
4.7.8 Conductividad.	23
4.7.9 DBO <sub>5</sub> .	23
4.7.10 Nitrógeno.	24
4.8 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA	24
5. METODOLOGÍA	26

5.1 CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN	26
5.2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	26
5.3 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO	28
5.4 DISEÑO EXPERIMENTAL	28
5.5 DISEÑO DEL HUMEDAL	29
5.6 SIEMBRA Y ETAPA DE ADAPTACIÓN DE LOS PASTOS	30
5.7 ESTABLECIMIENTO DE COLONIAS DE MICROORGANISMOS	31
5.8 CARACTERÍSTICIZACION DEL AGUA	31
5.9 CAUDAL DEL FLUJO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA	32
5.10 VARIABLES AMBIENTALES	32
6. DISCUSIÓN Y RESULTADOS	33
6.1 CAUDAL	33
6.2 CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE TRATADO	35
6.3 CONDUCTIVIDAD	37

6.4 OXIGENO DISUELTO	38
6.5 CICLO DEL NITRÓGENO	38
6.6 COLIFORMES	40
6.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO - ANOVA	42
7. CONCLUSIONES	47
8. RECOMENDACIONES	49
9. BIBLIOGRAFÍA	50
10. ANEXOS	53

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Especies más utilizadas en depuración de aguas residuales.	12
Tabla 2. Tratamientos a utilizar en el estudio	28
Tabla 3. Valores promedio, desviación estándar y varianza para las variables físicas y químicas del agua residual domesticas después de un año (1) de tratamiento	35
Tabla 4. Valores promedio NMP/mL después de un año (1) de tratamiento	41
Tabla 5. Resumen anova tratamientos y el blanco	42
Tabla 6. Prueba de Duncan Coliformes totales y fecales	42
Tabla 7. Resumen anova entre repeticiones sin el blanco	43
Tabla 8. Resumen anova entre tratamientos sin el blanco	44
Tabla 9. Prueba de Duncan para amonio	45

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Producción diaria de demanda bioquímica de oxígeno por sector.	7
Cuadro 2. Ficha técnica de <i>Brachiaria mutica</i> . (Pasto Pará)	15
Cuadro 3. Ficha técnica de <i>Pennisetum purpureum</i> (Pasto elefante)	17
Cuadro 4. Ficha técnica de <i>Panicum maximum</i> (Pasto guinea)	19



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Humedal de flujo libre (FWS)	11
Figura 2. Humedal de flujo subsuperficial (SFS)	11
Figura 3. <i>Brachiaria mutica</i> (Pasto Pará)	15
Figura 4. <i>Pennisetum purpureum</i> (Pasto elefante)	17
Figura 5. <i>Panicum maximun</i> (Pasto guinea)	19
Figura 6. Grafico de la zona de estudio	27
Figura 7. Vista transversal de humedal artificial subsuperficial (SFS)	30
Figura 8. Caudales promedio en la entrada de los tratamientos	33
Figura 9. Caudales promedio en la salida de los tratamientos	34
Figura 10. Diagramas de cajas y alambres análisis de CO <sub>2</sub> y pH	36
Figura 11. Diagramas de cajas y alambres análisis de Conductividad	37
Figura 12. Diagramas de cajas y alambres análisis de Oxigeno disuelto	38
Figura 13. Diagramas de cajas y alambres análisis de Nitratos, Nitritos y Amonio	40
Figura 14. Diagramas de cajas y alambres para Coliformes totales	41

## LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Grafico 1. Caudales promedio en la entrada de los tratamientos	41
Grafico 2. Caudales promedio en la salida de los tratamientos	42
Grafico 3. Diagramas de cajas y alambres análisis de CO <sub>2</sub> y pH	44
Grafico 4. Diagramas de cajas y alambres análisis de Conductividad	45
Grafico 5. Diagramas de cajas y alambres análisis de Oxigeno disuelto	46
Grafico 6. Diagramas de cajas y alambres análisis de Nitratos, Nitritos y Amonio	48
Grafico 7. Diagramas de cajas y alambres para Coliformes totales	49

*“Podemos creer que todo lo que la vida nos ofrecerá mañana es repetir lo que hicimos ayer y hoy. Pero, si prestamos atención, percibiremos que ningún día es igual a otro. Cada mañana trae una bendición escondida; una bendición que solo sirve para este día y que no puede guardarse o desaprovecharse. Si no usamos este milagro hoy, se perderá. Este milagro está en los detalles de lo cotidiano; es preciso vivir cada minuto porque allí encontramos la salida de nuestras confusiones, la alegría de nuestros buenos momentos, la pista correcta para la decisión que ha de ser tomada. No podemos dejar nunca que cada día parezca igual al anterior porque todos los días son diferentes.”*

*Paulo Coelho*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Magíster Sandra Morales, por su asesoría permanente, su dedicación, por sus enseñanzas y por su amistad, sin las cuales este trabajo no hubiera sido posible.

A todos los integrantes docentes y administrativos del departamento de Biología por su apoyo, sus enseñanzas y su amistad.

A los docentes de la facultad de Ciencias Agropecuarias por su apoyo y sus enseñanzas.

A mis compañeros, por su permanente aliento, por su afecto y todos los momentos compartidos durante nuestra carrera universitaria.

A mi familia que siempre ha sido la base para la consecución de todos mis logros.

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de determinar la capacidad de los pastos: *Brachiaria mutica* (Forssk.) Stapf (pasto Pará), *Pennisetum purpureum* Schumach (pasto elefante) y *Panicum maximum* Jacq (pasto guinea) para remover la carga orgánica de las aguas residuales domesticas del asentamiento Brisas de San Isidro, ubicado al nor-orienté del municipio de Popayán, en el corregimiento de Las Piedras, conformado por 30 viviendas, cada una con pozo séptico y vierten sus aguas residuales (de lavado de ropa, de cocina y ducha) a la quebrada Lame sin tratamiento alguno.

Para realizar el estudio se implementó un sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial, con los diferentes pastos. El periodo de evaluación de los tratamientos fue de un año, durante el cual se obtuvieron reducciones de la de DQO de: 10.07%, 8.95%, y 7.38% a la salida de los humedales con *Pennisetum purpureum* Schumach, *Brachiaria mutica* (Forssk.) Stapf y *Panicum maximum* Jacq, respectivamente; además se obtuvieron reducciones en el porcentaje de coliformes totales, hasta de 77,31% con el tratamiento de *Pennisetum purpureum* Schumach, en comparación con la muestra de entrada de agua a los humedales.

El humedal artificial con *Pennisetum purpureum* Schumach redujo significativamente el número de coliformes totales en las muestras de agua, en comparación con los otros tratamientos con *Brachiaria mutica* (Forssk.) Stapf y *Panicum maximum* Jacq, además de

aumentar los niveles de oxígeno disuelto en el agua residual, lo cual indica que el humedal artificial con el pasto *Pennisetum purpureum* Schumach es muy recomendable en los sistemas primarios de remoción de carga orgánica y coliformes totales de aguas residuales domésticas.

PALABRAS CLAVES. Fitodepuración, humedales artificiales flujo subsuperficial, *Pennisetum purpureum* Schumach, *Brachiaria mutica* (Forssk.) Stapf y *Panicum maximum* Jacq.

## INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales domesticas contienen residuos procedentes de las áreas urbanas, los cuales por razones de salud pública no se pueden vertir sin tratamiento alguno en lagos o ríos.

Los vertimientos de origen domésticos contienen gran cantidad de materiales de origen orgánico por lo cual se hace necesario un tratamiento que implique microorganismos que oxidan y convierten la materia orgánica en CO<sub>2</sub>, por esto los tratamientos de las aguas de desecho son procesos en los cuales los microorganismos juegan papeles cruciales. El tratamiento de las aguas residuales da como resultado la eliminación de microorganismos patógenos, evitando así que estos microorganismos lleguen a ríos o a otras fuentes de abastecimiento (Baron, 1997).

En los procesos de remoción de carga orgánica es muy importante brindar un medio adecuado para el desarrollo de bacterias y hongos que degradaran la materia orgánica, los rizomas de los pastos son un medio perfecto para el establecimiento estos microorganismos; la utilización de plantas para realizar estos procesos de recuperación de aguas o suelos es denomina fitodepuración.

Utilizando especies vegetales disponibles en la región, en el presente estudio se evaluó la capacidad de remoción de la carga orgánica de los pastos *Brachiaria mutica* (pasto Pará), *Pennisetum purpureum* (pasto elefante) y *Panicum maximun* (pasto guinea), en las aguas residuales domésticas provenientes del asentamiento Brisas de San Isidro, municipio de Popayán Cauca, además evaluar el comportamiento y la adaptación de estos pastos establecidos en sustratos con flujo subsuperficial de aguas residuales domesticas.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar el potencial de remoción de carga orgánica de tres especies de Poaceas en las aguas residuales (de lavado de ropa, de cocina y ducha) del asentamiento Brisas de San Isidro, municipio de Popayán, Cauca.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las características físicas y químicas de las aguas residuales domesticas del asentamiento Brisas de San Isidro municipio de Popayán Cauca.
- Determinar una cantidad aproximada del número de coliformes totales y fecales presentes en las aguas residuales del asentamiento Brisas de San Isidro municipio de Popayán Cauca.
- Establecer la efectividad de cada una de las especies para la remoción de carga orgánica.



## 2. JUSTIFICACIÓN

El asentamiento humano Brisas de San Isidro del municipio de Popayán Cauca no cuenta con un sistema de alcantarillado adecuado, para las aguas residuales o servidas cada vivienda dispone de un pozo séptico, pero las aguas de lavado (ducha, lavado de ropas, cocina) se vierten sin tratamiento alguno a la quebrada Lame, lo que causa deterioro de este recurso hídrico, a causa de la eutrofización y de la reducción de oxígeno disuelto.

Frente a esta problemática se hace necesario la aplicación un sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas de lavado, que contribuyan a la recuperación de la quebrada Lame evitando un desequilibrio ecológico y degradación del paisaje, entre otras consecuencias.

La utilización de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales no es un sistema muy difundido en nuestro país. Las investigaciones en este campo son escasas entre las cuales se pueden destacar la realizada por Giraldo y Zarate (2001) en la Isla de San Andrés, donde evaluaron la eficiencia de los humedales de flujo superficial; el proyecto desarrollado por Lara (2004), Ardila y Otros (2004) con los cuales se trata de implementar y expandir una tecnología de poco reconocimiento en el país, además de los estudios realizados por Martinez (2008) en Ginebra, Valle del Cauca, donde se evaluó la capacidad de remoción de nitrógeno con humedales de flujo subsuperficial utilizando *Heliconia psittacorum*.

### 3. ANTECEDENTES

La contaminación de nuestros recursos hídricos por vertimientos de aguas residuales es un problema ecológico que está relacionado directamente con el crecimiento de la población humana. Son numerosos los estudios realizados en este campo, que demuestran como la intervención del hombre modifica considerablemente el equilibrio de los cuerpos de agua y buscan una solución para reducir esta problemática. Entre los estudios realizados cabe mencionar las diferentes temáticas desarrolladas en investigaciones, las cuales se anotaron desde el punto de caracterización físico y química, tratamientos de aguas residuales, utilización de humedales y fitodepuración en:

Pérez (2002) determinó como se ven afectadas las comunidades de macroinvertebrados de la quebrada Abejorales por los vertimientos de las microempresas de yuca en la vereda Mandiva, municipio de Santander de Quilichao.

Ortega y Pérez (2002) evalúan los cambios en la calidad del agua de la quebrada la Puerquera del municipio de Morales, departamento del Cauca, por los vertimientos durante la época de cosecha de café. Realizaron la caracterización fisicoquímica y biológica del agua durante este periodo y demuestran como se ve alterado este cuerpo de agua debido a estos vertimientos.

Rosillo (2002) demuestra los beneficios económicos y ecológicos que tendría el lago de Maracaibo, integrando al tratamiento existente de aguas residuales domésticas, un sistema de fitodepuración y la reutilización de las aguas residuales para riego

Giraldo y Zarate (2001) evaluaron la efectividad del tratamiento de aguas residuales mediante la utilización de humedales artificiales de flujo vertical; es un trabajo en el cual se

demuestran las ventajas de este sistema y se propone como una tecnología muy económica y efectiva para el tratamiento de aguas residuales.

Lara (2004), compara la viabilidad económica y eficiencia en el tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales y los tratamientos convencionales.

Martinez (2008), evalúan la capacidad de remoción de nitrógeno de humedales de flujo subsuperficial *Heliconia psittacorum* en las aguas residuales del municipio de Ginebra, además evalúan las relaciones fisiológicas de la *Heliconia psittacorum* con este tipo de flujo de agua.

Ardila y Otros (2004), proponen la utilización de humedales artificiales como una tecnología alternativa para el tratamiento de aguas residuales basada en procesos observados en la naturaleza, adaptados a las necesidades de la comunidad y que no afectan el medio ambiente.

Fernández (2004) evaluó la capacidad fitorremediadora del pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) en suelos contaminados con petróleo crudo. Este trabajo se demuestra una reducción significativa de hidrocarburos en el suelo gracias a la asociación microorganismo - rizosfera del pasto alemán..

Cusato y otros (2002) en un bioensayo con *Discara americana*, planta nativa de Argentina de la familia *Rhamnaceae*, demuestran la capacidad de la planta para absorber y acumular altas concentraciones de  $Zn^{2+}$  agregado al suelo. Los autores recomiendan la utilización de tecnologías alternativas, como la fitodepuración para la remoción de metales pesados de los suelos y de aguas residuales, por que permite la eliminación selectiva de contaminantes y además es un sistema mucho más económico frente a los métodos tradicionales.

#### 4. MARCO TEÓRICO

El agua es el compuesto más importante para los seres vivos en especial para las plantas y los animales pues en su mayoría estamos compuestos de ella, y es sumamente necesaria para todos los procesos vitales.

En las zonas urbanas, el consumo de agua se ha orientado fundamentalmente hacia su uso en la alimentación, lavado y aplicaciones industriales, al agua se incorporan materias extrañas, como microorganismos, productos químicos y todo tipo de residuos. Estos materiales deterioran la calidad del agua e incluso afectan la salud humana.

La contaminación de un cuerpo de agua depende del tamaño y calidad del vertimiento así como del tamaño de la fuente y su capacidad de asimilación. Los cuerpos hídricos del país son receptores de vertimientos de aguas residuales y su calidad se ve afectada principalmente por los vertimientos no controlados provenientes del sector agropecuario, doméstico e industrial (Cuadro 1)

Cuadro 1. Producción diaria de demanda bioquímica de oxígeno por sector.

<b>Sector</b>	<b>Toneladas</b>	<b>Descripción</b>
Agrícola y Pecuario	7.100	Aguas con gran número de contaminantes del sector pecuario con alta carga orgánica
Doméstico	800	Las descargas de grandes centros urbanos como Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla.
Industrial	520	Vertimientos de la producción de alimentos, licores, fabricación sustancias químicas, industria de papel y carbón.

Fuente: Estudio de Contaminación Industrial en Colombia. Bogotá, DNP-PNUD, 1994.

Los vertimientos de aguas residuales de los centros urbanos se estiman en 67 m<sup>3</sup>/s donde Bogotá representa el 15%, Antioquia 13%, Valle del Cauca 10% y los demás

departamentos están por debajo del 5%. El impacto que generan estos vertimientos varía a lo largo del país, dependiendo del volumen de los vertimientos puntuales frente a la capacidad de asimilación de los cuerpos de agua donde se vierten. Entre los casos de impacto más conocidos se encuentran las descargas domésticas de Bogotá al humedal Juan Amarillo y el río Fucha. Sin embargo, en la actualidad no existe un diagnóstico confiable sobre contaminación doméstica a escala nacional, ni información suficiente sobre el estado del recurso hídrico que considere elementos como la capacidad de asimilación del cuerpo receptor y el efecto nocivo real de los vertimientos (Ministerio del Medio Ambiente Guía: DNP-DDUPRE- DPA, 2002).

Los vertimientos de carga orgánica en el agua aumentan la oferta de nutrientes, alterando el equilibrio dinámico del ecosistema, lo cual es muy conocido como eutroficación.

El enriquecimiento de un medio acuático por nitrógeno y fósforo provoca un crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas las cuales exceden la capacidad herbívora de los invertebrados y los peces; al morir el exceso de material vegetal se deposita en el fondo, aumentando considerablemente el consumo de oxígeno, ocasionando la eutrofización del sistema y su posterior desaparición (Roldan, 1992).

#### **4.1 AGUAS RESIDUALES**

Cuando un producto de desecho se incorpora al agua, el líquido resultante recibe el nombre de agua residual, pueden ser de origen doméstico, industrial, subterráneo y meteorológico, y estos tipos de aguas residuales suelen llamarse respectivamente, domésticas, industriales, de infiltración y pluviales (Urbieta, 2002).

De acuerdo con Seoáñez (1995), las aguas residuales domésticas son el resultado de actividades cotidianas de las personas, que proceden de la evacuación de los residuos y manipulaciones de cocinas (desperdicios, arenas de lavado, residuos animales y vegetales,

detergentes y partículas) de los lavados domésticos (jabones, detergentes, sales, etc.) y de la actividad general de las viviendas (celulosa, almidón, glucógeno, insecticidas, partículas orgánicas, etc.) y que se recogen en la limpieza de la habitación humana.

## **4.2 FITODEPURACIÓN**

El empleo de sistemas de tratamiento biológico para la eliminación de contaminantes en el suelo, agua y vapor, se conoce como fitodepuración, en el cual se utilizan microorganismos para degradar compuestos químicos orgánicos. La fitodepuración, una variante de la biorrecuperación, se refiere al tratamiento de recuperación de aguas y suelo por medio de microorganismos asociados a los rizomas de los vegetales.

La fitodepuración requiere plantas que puedan crecer y realizar funciones fisiológicas en suelos o aguas contaminadas, con sistemas rizosféricos favorables para el establecimiento de bacterias y hongos que degraden, mineralicen o estabilicen los contaminantes orgánicos o inorgánicos, que pueden transformarse hasta compuestos inocuos como el bióxido de carbono y agua (Fernández y otros, 2004).

La fitocorrección es más eficaz en los sitios donde hay baja concentración de contaminantes. La cantidad de contaminación que puede eliminar una planta depende entre otros factores de la profundidad hasta la que puedan crecer sus raíces y la facilidad con la cual se pueden establecer los microorganismos en su rizósfera. Una vez extraídas del suelo o del agua y dentro de la planta, las sustancias químicas se ven sometidas a uno o varios procesos: se almacenan en las raíces, los tallos y las hojas, se transforman en sustancias químicas menos perjudiciales en el interior de la planta, se transforman en gases que se liberan al aire cuando la planta transpira. (EPA Guía: 542-F-01-002S, 2001).

### 4.3 HUMEDALES ARTIFICIALES

Los humedales son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración tales, que sean suficientes para mantener condiciones saturadas. Suelen tener aguas con profundidades inferiores a 60cm con plantas emergentes como espadañas (*Typha latifolia*), carrizos (*Arundo donax*) y juncos (*Scirpus validus*).

Existen dos tipos de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de agua residual: Sistemas a Flujo Libre (FWS) y Sistemas de Flujo Subsuperficial (SFS). A los sistemas FWS normalmente se le aplica agua residual pretratada en forma continua y el tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente. Los sistemas de flujo libre también se pueden diseñar con el objetivo de crear nuevos hábitats para la fauna y flora o para mejorar las condiciones de humedales naturales próximos. Esta clase de sistemas suele incluir combinaciones de espacios abiertos y zonas vegetadas e islotes con la vegetación adecuada para proporcionar hábitats de cría para aves acuáticas. Los sistemas de flujo subsuperficial se diseñan con el objeto de proporcionar tratamiento secundario o avanzado y consiste en canales o zanjas excavados y rellenos de material granular, generalmente grava. Las mismas especies vegetales se usan en los tipos de humedales artificiales. (Lara, 1999)

En el sistema a flujo libre (Figura 1) el nivel del agua esta sobre la superficie del terreno; la vegetación esta sembrada y fija y emerge sobre la superficie del agua, el flujo del agua es principalmente superficial. El sistema de flujo subsuperficial (Figura 2) se caracteriza por tener el nivel del agua por debajo de la superficie del terreno; el agua fluye a través de la capa de grava y arena.

Figura 1. Humedal de flujo libre (FWS)

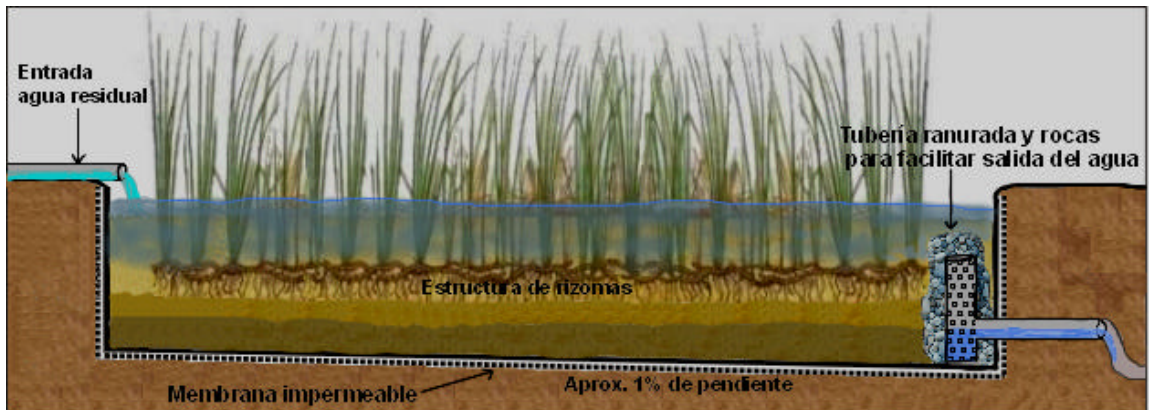
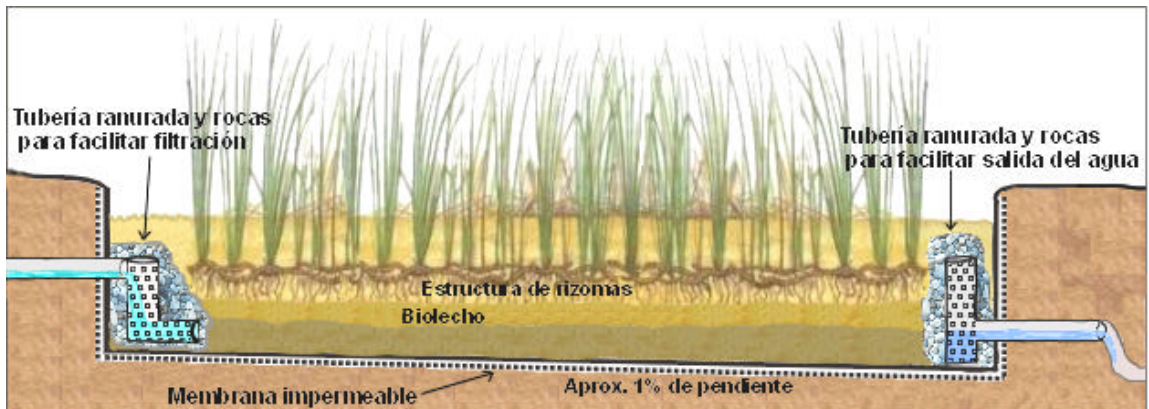


Figura 2. Humedal de flujo subsuperficial (SFS)



En cuanto al rendimiento de los humedales, se puede decir que pueden tratar con eficiencia niveles altos de DBO, SS y nitrógeno (rendimiento superiores al 80%), así como niveles significativos de metales, trazas orgánicas y patógenos. No ocurre lo mismo con la eliminación de fósforo que es mínima en estos sistemas (Lara, 1999).



#### 4.4 VEGETACIÓN

Las plantas que frecuentemente se encuentran en la mayoría de los de los humedales para tratamiento de aguas residuales incluyen espadañas, carrizos y juncos. Los juncos de laguna y las espadañas son las dominantes en la mayoría de los humedales artificiales en los Estados Unidos, también existen algunos sistemas con carrizos, siendo esta especie la dominante en los humedales artificiales europeos (Lara, 1999).

Lara (1999) enuncia las siguientes maneras como contribuyen las plantas en un sistema de tratamiento de aguas residuales:

- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos, luego cuando mueren y se deterioran entran a hacer parte de los nutrientes del humedal.
- Estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo
- Toman el carbono, nutrientes y elementos traza y los incorporan a los tejidos de la planta
- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos
- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas oxigena otros espacios dentro del sustrato.

Tabla 1. Especies más utilizadas en depuración de aguas residuales.

Familia	Nombre científico	Nombre común
Cyperaceae	<i>Carex sp.</i> <i>Eleocharis sp.</i>	
Poaceae	<i>Scirpus lacustris</i> L <i>Glyceria fluitans</i> <i>Phragmites australis</i>	Junco de laguna Hierba del maná Carrizo
Iridaceae	<i>Iris pseudacorus</i>	Lirio Amarillo, espadaña fina
Juncaceae	<i>Juncus sp.</i>	Juncos
Thyphaceae	<i>Thypha sp</i>	Eneas, aneas, espadañas

Fuente: Lara, 1999.

#### **4.5 FAMILIA POACEAE**

Son también conocidas como gramíneas, son una familia de plantas herbáceas o muy raramente leñosas del orden poales. Corresponde a la familia de las gramíneas de sistemas de clasificación clásicos como el de Linneo. A esta familia pertenecen todos los cereales, y por ellos es de gran importancia en la alimentación humana. Plantas de géneros Bambusa y relacionados tienen importancia como fuente de madera para diversos usos. Es una familia cosmopolita, con alrededor de 700 géneros y 12000 especies (Vargas, 1987).

En la flora colombiana, están representadas por alrededor de 700 especies agrupadas en 160 géneros. En Colombia se les encuentran en todos los pisos bioclimáticos, desde el nivel del mar hasta el piso subnival de los Andes y la llanura amazónica (Vargas, 1987).

Tienen tallos cilíndricos, llamados ordinariamente cañas con nudos macizos y entrenudos huecos, compuestas típicamente de vaina, lígula y limbo. La vaina rodea el tallo, mientras que la lígula es un pequeño apéndice membranoso, o raramente peloso, situado en la zona de unión del limbo con la vaina; el limbo suele ser alargado. Las flores son generalmente hermafroditas; perianto nulo o en todo caso representado por 2 o en ocasiones 3 pequeñas piezas escamosas llamadas lodículas o glumélulas; androceo de 3 estambres; gineceo de ovario unilocular y con 2 estigmas plumosos. Encerrando la flor, hay 2 brácteas llamadas glumelas; la glumela inferior o lema está bien desarrollada y a menudo presenta una arista; la glumela superior es membranosa y a veces muy reducida. Una o comúnmente varias flores constituyen la inflorescencia elemental de las gramíneas: la espícula o espiguilla, la cual presenta basalmente 2 brácteas, denominadas glumas. Las espículas a su vez se reúnen en panículas, racimos o espigas y frutos en cariopsis (Vargas, 1987).

#### **4.5.1 *Brachiaria mutica* (Forssk.) Stapf.**

**Usos potenciales:** Pastoreo en ambientes planos y de mal drenaje o con precipitación alta; forraje; como heno pero es lento secado.

**Descripción:** Herbácea perenne de crecimiento rastrero y estolonífero, estolones de hasta 5m, gruesos, vástagos suaves y abundantes de hasta 20mm ancho y de 30cm de largo, inflorescencia en panícula.

**Adaptación:** Se adapta fácilmente a una diferente gama de suelos (desde francos hasta arcillosos), con fertilidad mediana, de mal drenaje aunque también se encuentran en lugares secos. Tolera salinidad moderada.

**Establecimiento:** Por semillas o material vegetativo; Se logra mayor éxito reproductivo por medio de sistemas vegetativos a una profundidad de 10-15 centímetro. Estacas de 25 a 30cm con 3 a 4 nodos, y por lo menos 2 nodos se deben enterrar en suelo húmedo.

**Manejo:** Permite buena asociación con otros pastos y leguminosas.

**Problemas:** Es muy susceptible al ataque de insectos, hongos, depredadores y enfermedades, que atacan las hojas y hasta la semilla.

**Valor nutritivo y palatabilidad:** Alto valor nutritivo, alto contenido en agua, con 14-20% CP, e IVDMD de 65-80% para plantas jóvenes y 55-65% IVDMD para plantas adultas. La calidad declina con la madurez a 35-45% IVDMD. Presenta buena palatabilidad. Los estolones y los vástagos maduros son mucho menos apetecidos.

Figura 4. *Brachiaria mutica* (pasto Pará)



Cuadro 2. Ficha técnica de *Brachiaria mutica* (pasto Pará).

<b>Familia:</b>	<i>Poaceae</i>
<b>Ciclo vegetativo:</b>	Perenne, persistente
<b>Adaptación pH:</b>	4.0 – 5.0
<b>Fertilidad del suelo</b>	Mediana
<b>Drenaje:</b>	Mal drenaje, soporta hasta suelos inundados
<b>m.s.m.s:</b>	0 – 1800m
<b>Precipitación:</b>	1200mm – 4000mm por año
<b>Profundidad de siembra:</b>	10 – 15cm
<b>Valor nutritivo:</b>	Proteína 14 – 20%, digestibilidad 65 – 80%
<b>Utilización:</b>	Pastoreo, forraje, heno.

#### 4.5.2 *Pennisetum purpureum* Schumach (pasto elefante).

**Usos:** Sobre todo para corte, no es muy recomendado para pastos a largo plazo. También utilizado como cercas viva, aunque las raíces compiten con la cosecha adyacente. De las plantas jóvenes se obtiene un buen heno, los vástagos gruesos o más maduros son

inadecuados para el heno. Sirven como buen ensilaje, aunque es inferior al maíz y a la zahína.

**Descripción:** Formación perenne robusta morfológicamente grande, similar a grupo de bambú, con las cañas generalmente de 2 a 3,5m de alto (hasta 7,5m) y ramificado hacia en la parte superior; vástagos de 3cm de diámetro cerca de la base. Láminas de la hoja glabras o pubescentes, de 30 a 120cm de largo y de 1 a 5cm de ancho; Sistema radicular extenso que penetra a 4,5m.

**Adaptación:** Se desarrolla en una amplia gama de suelos con fertilidad mediana. Se obtiene mayor crecimiento en suelos bien drenados. Soporta altos niveles de aluminio y manganeso. Se encuentra por lo regular en áreas con precipitación > 1.000ml, y en los lechos de ríos en áreas con baja precipitación.

**Establecimiento:** Por semillas o material vegetativo; El sistema por semilla es generalmente pobre, posiblemente debido a la viabilidad baja del polen. El material vegetativo para la siembra debe tener por lo menos 3 nodos, se pueden enterrar o plantar horizontalmente.

**Manejo:** Se recomienda cortar 15cm sobre la tierra y después que supere 1,5m de altura. Siempre se debe mantener un mínimo de fertilidad del suelo con nitrógeno. Es muy competitiva y no siembra cerca de otras especies relativamente menos exigentes.

**Valor nutritivo y palatabilidad:** El valor de alimenticio varía con la edad de la planta, los juveniles aproximadamente 10% de CP, en el estado de madurez alcanza valores de 68-74%. Extremadamente apetecido por el ganado bien sea joven o en estado de madurez. Puede causar envenenamiento por acumulación nitrato en el ganado, si se utiliza como componente único de la dieta.

Figura 5. *Pennisetum purpureum* (pasto elefante)



Cuadro 3. Ficha técnica de *Pennisetum purpureum* (pasto elefante).

<b>Familia:</b>	<i>Poaceae</i>
<b>Ciclo vegetativo:</b>	Perenne, persistente
<b>Adaptación pH:</b>	4.5 – 8.2
<b>Fertilidad del suelo</b>	Mediana – alta
<b>Drenaje:</b>	Se adapta a buen o mal drenaje
<b>m.s.m.s:</b>	0 –1800m
<b>Precipitación:</b>	Se recomienda > 1000mm por año
<b>Profundidad de siembra:</b>	5 – 15cm
<b>Valor nutritivo:</b>	Proteína 10% y en madurez 68 – 74%
<b>Utilización:</b>	Corte, cercas vivas, heno, ensilaje

#### 4.5.3 *Panicum maximum* Jacq (pasto guinea).

**Usos:** Utilizado para pastar, ensilaje y producción de heno en América central. Como forraje en humedales por encima de 2m de profundidad pero normalmente a 1m.

**Descripción:** Herbácea perenne acuática o subacuática, de 1 a 2,5m de altura, gruesa en las partes más inferiores, de rizomas largos, con entrenudos glabros u oscuros pubescentes. Láminas de la hoja de 20 a 60cm, inflorescencia en panícula.

**Adaptación:** Toleran una amplia gama de fertilidad del suelo, se recomienda medio a la alta fertilidad. Presenta gran adaptación, se ha encontrado hasta en suelos arcillosos. Muy tolerante al mal drenaje. El hábitat natural es de suelos inundados, puede crecer bajo condiciones muy altas de precipitación (> 1.900 milímetros).

**Establecimiento:** Por semillas o material vegetativo; La producción de semillas viables es reducida. Las semillas se producen a través del año pero solo hasta que las plantas tienen más de 1m de altura. Generalmente se plantan vástagos con 2 ó 3, con 1 nodo sobre la superficie. Pueden ser plantadas manualmente en fango mojado o tirarse en la superficie del agua y empujarlas con un tractor ligero. El establecimiento tiene mayor éxito donde la competencia con otras especies se haya eliminado.

**Manejo:** El cortar por debajo de los 40cm reduce la producción. Requiere nitrógeno mineralizado, que se puede obtener del agua que fluctúa del suelo, por la descomposición de materia orgánica y por la actividad de bacterias fijadoras de nitrógeno. Presenta compatibilidad con especies no competidoras como *Brachiaria*.

**Problemas:** Los parásitos y las enfermedades no son muy comunes al igual que el ataque de insectos. Aunque es clasificado como forraje muy útil en los humedales nativos de América tropical, también se lo ve como una mala hierba en otros países.

**Valor nutritivo y palatabilidad:** Alto valor nutritivo, proteína cruda 13-18% (hasta 22% en hoja fresca). Digestibilidad hasta 74%. Muy sabroso y buscado con impaciencia por el ganado.

Figura 6. *Panicum maximun* (pasto guinea)



Cuadro 4. Ficha técnica de *Panicum maximun* (pasto guinea)

<b>Familia:</b>	<i>Poaceae</i>
<b>Ciclo vegetativo:</b>	Perenne
<b>Adaptación pH:</b>	4.0 – 8.0
<b>Fertilidad del suelo</b>	Mediana – alta
<b>Drenaje:</b>	Mal drenaje
<b>m.s.m.s:</b>	0 –1800m
<b>Precipitación:</b>	> 1900mm por año
<b>Profundidad de siembra:</b>	10 – 15cm
<b>Valor nutritivo:</b>	Proteína 5 – 15, digestibilidad 74%
<b>Utilización:</b>	Forraje en humedales, pastoreo, ensilaje, heno

#### 4.6 CRECIMIENTO Y DESARROLLO VEGETAL

El desarrollo de una planta está relacionado con el conjunto de fenómenos cualitativos inherentes a los cambios morfológicos y funcionales determinados por procesos de diferenciación. Cuando una planta crece aumenta de tamaño, cambia el número, la forma y el tamaño celular; es decir, la incrementa, sus tejidos y a través de su ciclo (fase vegetativa y fase reproductiva) se observan nuevos órganos con sus respectivas funciones; ocurriendo



simultáneamente dos procesos inseparables: Crecimiento y diferenciación. El desarrollo se puede considerar como la morfogénesis de la planta.

El crecimiento en función del tiempo se manifiesta como un aumento irreversible de la masa de un organismo, órgano o célula y al representarse gráficamente se obtiene una curva de sigmoidea (en forma de S) denominada curva de crecimiento.

El crecimiento casi siempre está asociado con el aumento de tamaño como consecuencia de la gran actividad originada en los tejidos meristemáticos primarios y secundarios. Este planteamiento se comprende mejor si recordamos que el crecimiento se valora midiendo por ejemplo, el incremento en longitud, diámetro o área que tiene un órgano en determinado tiempo o midiendo su aumento en masa seca.

#### **4.7 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA**

Los parámetros físicos y químicos son considerados como indicadores de la calidad del agua, ya que dan una visión preliminar sobre su estado y las condiciones de un ecosistema acuático.

##### **4.7.1 Turbiedad.**

Se define como el grado de opacidad producido en el agua por la materia particulada suspendida. El tipo de materiales que contribuyen a la turbiedad son los responsables del color, la concentración de las sustancias determina la transparencia del agua puesto que limita la transmisión de la luz en ella (Roldán, 1992).

#### **4.7.2 Temperatura.**

Efecto que se deriva de la penetración lumínica, es de mucha importancia porque incide en las características físicas como la densidad del agua, solubilidad de los gases, reacciones químicas tanto en la columna de agua como en el sustrato y en procesos biológicos tales como: niveles trofodinámicos de la biota acuática, tasas metabólicas, procesos de degradación orgánica, distribución de las poblaciones. Es necesario relacionar la temperatura ambiental con la hídrica, como consecuencia del alto calor específico del agua, que permite la disipación de la luz y la acumulación de calor, con el fin de determinar los gradientes y las posibles estratificaciones térmicas que pueden presentarse desde la superficie hasta los diferentes niveles de profundidad en función de: dinámica del cuerpo de agua, piso térmico, hora, día, entre otros (Vásquez, 2001).

#### **4.7.3 Oxígeno disuelto.**

Es uno de los gases más importantes en la dinámica y caracterización de los ecosistemas acuáticos. La difusión del oxígeno en un ecosistema acuático se lleva a cabo por medio de la circulación y movimientos del agua provocados por diferencia de densidad de las capas de agua o por los vientos. Otra fuente de oxígeno en el agua es la fotosíntesis, generalmente en ecosistemas acuáticos de tipo léntico. El volumen de oxígeno disuelto en el agua al igual que los demás gases, depende de tres factores fundamentales: la temperatura (relación inversa), la presión parcial de los gases atmosféricos en contacto con el agua y la concentración de las sales disueltas (Salinidad) (Roldán, 1992).

#### **4.7.4 Gas carbónico.**

El gas carbónico es el segundo gas en importancia presente en el agua. Se origina por la descomposición de materia orgánica, por la respiración de los animales y las plantas y por el agua lluvia. El agua lluvia arrastra consigo el gas carbónico presente en la atmósfera lo que aumenta la concentración de este gas en los cuerpos de agua naturales (Roldán, 1992).

#### **4.7.5 pH.**

Roldán (1992) lo define como el potencial de hidrogeniones que indica la concentración de estos iones en el agua, además hace referencia a que en aguas naturales los valores de pH varían en función de: estado trófico del sistema, concentración de gas carbónico, presencia de iones que determinan la alcalinidad ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{PO}_4^{=}$ , etc.), acidez mineral, factores edáficos, presencia de ácidos orgánicos (ácidos húmicos).

#### **4.7.6 Alcalinidad.**

Se puede definir como la capacidad del agua para neutralizar ácidos, la cual le confiere propiedades buffer, esto quiere decir que proporciona al agua resistencia ante los cambios en la concentración de hidrogeniones cuando se añaden productos ácidos o básicos.

El concepto de alcalinidad esta asociado a las formas en las cuales se encuentra el dióxido de carbono en los cuerpos de agua naturales y es el principal indicador de la presencia de iones carbonato, bicarbonato. Este término no debe confundirse con el de basicidad en el sentido de valores de pH (Vásquez, 2001). Es un parámetro de gran importancia ya que permita determinar la capacidad del sistema para mantener procesos biológicos y una productividad sostenida y permanente.

#### **4.7.7 Dureza.**

Está definida por la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en el agua (Roldán, 1992). Existen varias clasificaciones de acuerdo con los valores de dureza: Ohle (1934), citado por Vásquez (2001), propuso una clasificación según la productividad: Poco productivas (con valores menores a  $10\text{mg CaCO}_3 / \text{L}$ ), medianamente productivas (valores entre 10 y  $25\text{mg CaCO}_3 / \text{L}$ ) y muy productivas (valores superiores a los  $25\text{mg CaCO}_3 / \text{L}$ ).

Las aguas con bajos valores de dureza se llaman también “aguas blandas” y son biológicamente poco productivas. Aguas con altos valores de dureza se denominan “duras” y usualmente son muy productivas. Debe tenerse en cuenta que una mayor productividad está generalmente dada por unas pocas especies que se han adaptado a estas condiciones.

Las aguas con durezas intermedias pueden llegar a poseer una flora y una fauna más variada, pero son menos productivas en términos de biomasa (Roldán, 1992).

La categorización de las aguas, bajo el punto de vista de la dureza es variada y depende del propósito y punto de vista de análisis (Vásquez, 2001).

#### **4.7.8 Conductividad.**

Indica la capacidad del agua u otra solución para transferir corriente eléctrica. Vásquez (2001) lo define como una medida a la resistencia de una solución al flujo eléctrico, es decir que la resistencia disminuye con el incremento del contenido de sales; por consiguiente aumenta la conductividad. En aguas naturales la conductividad permite medir la cantidad de iones; por lo tanto se correlaciona con los sólidos disueltos y con la salinidad. Es importante considerar las condiciones de pH existentes en el momento del muestreo y análisis según Vásquez (2001), el cual se incrementa con la temperatura.

La conductividad proporciona una idea aproximada acerca de la realidad de un ecosistema acuático, actividad iónica, diversidad biótica (relación inversa); procesos de osmoregulación y balance hídrico; productividad natural primaria, procesos de descomposición de materia orgánica (estado trófico); naturaleza geoquímica del sustrato; origen de un proceso de alteración (contaminación), entre otros (Vásquez, 2001).

#### **4.7.9 DBO<sub>5</sub>.**

De acuerdo con (Vásquez, 2001), es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para realizar los procesos de degradación de la materia orgánica. Según el valor obtenido se puede inferir la cantidad de materia orgánica presente y los niveles de degradación en el que se encuentra.

#### **4.7.10 Nitrógeno.**

Es muy importante por ser uno de los indicadores principales de eutrofización, se puede encontrar en el agua en forma de amonio, nitratos, nitritos (Vásquez, 2001); también se considera como indicador químico de procesos de degradación de materia orgánica según la etapa en la cual se encuentra el ciclo del nitrógeno.

### **4.8 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA**

Los análisis bacteriológicos del agua son principalmente para aspectos sanitarios. Es necesario el análisis bacteriológico del agua para determinar su calidad, bien sea para consumo humano como para evaluar la capacidad de eficacia de los sistemas de depuración de aguas

Los parámetros bacteriológicos de importancia para dictámenes higiénicos son: determinación de bacilos Gram negativos y presencia de coliformes fecales y totales. Es preciso hallar el número de gérmenes saprofitos o de *Coli* y de bacterias procedentes del intestino humano como indicadores de la contaminación.

Las bacterias que se alojan en el intestino humano pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae*, los miembros de esta familia se caracterizan por ser bacilos Gram negativos, inmóviles o móviles con flagelos, se desarrollan en medios artificiales y todas las especies forman ácido o ácido y gas a partir de glucosa, son parásitos de algunos animales y extremadamente patógenas.

#### **BACTERIAS COLIFORMES**

Incluyen *E. coli* y otras bacterias que se asemejan morfológica y fisiológicamente. Estos microorganismos con frecuencia difieren entre sí en características pequeñas. Las bacterias coliforme suelen encontrarse en el aparato intestinal del hombre y animal. *E. coli*, rara vez se encuentra fuera del intestino (Walker, 1997).

Las bacterias coliformes son bacilos cortos, Gram negativos que fermentan la lactosa y forman ácido y gas. Son anaeróbios facultativos, se multiplican a mayor rapidez a temperatura entre 30 y 37 °C, crecen a gran abundancia en medios corrientes, como caldo y agar. La colonia de *E. coli* en agar E.M.B (eosina y azul de metileno) tienen 2 a 4 mm de diámetro, un centro grande de color oscuro e incluso negro, y tienen brillo verde metálico cuando se observan con luz refleja (Walker, 1997).

## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1. CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN**

País: Colombia

Departamento: Cauca

Municipio: Popayán

Asentamiento Brisas de San Isidro 1770 m.s.n.m.

El asentamiento Brisas de San Isidro se encuentra ubicado al nor-orienté del municipio de Popayán, en el corregimiento de Las Piedras en la vía que conduce a la vereda Las Guacas. El asentamiento está conformado por 30 viviendas, cada una con pozo séptico, pero como no cuentan con alcantarillado vierten sus aguas residuales (de lavado de ropa, de cocina y ducha) a la quebrada Lame sin tratamiento alguno.

### **5.2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

El asentamiento Brisas de San Isidro se encuentra ubicado en terrenos de la Gobernación del Cauca, al nor-orienté del municipio de Popayán, en la antigua estación ionosférica, corregimiento de Las Piedras en la vía que conduce a la vereda de Las Guacas (Figura 7). La vegetación del área de estudio, de acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdridge pertenece a la formación de bosque húmedo premontano. (bh-PM) (Holdridge 1970).

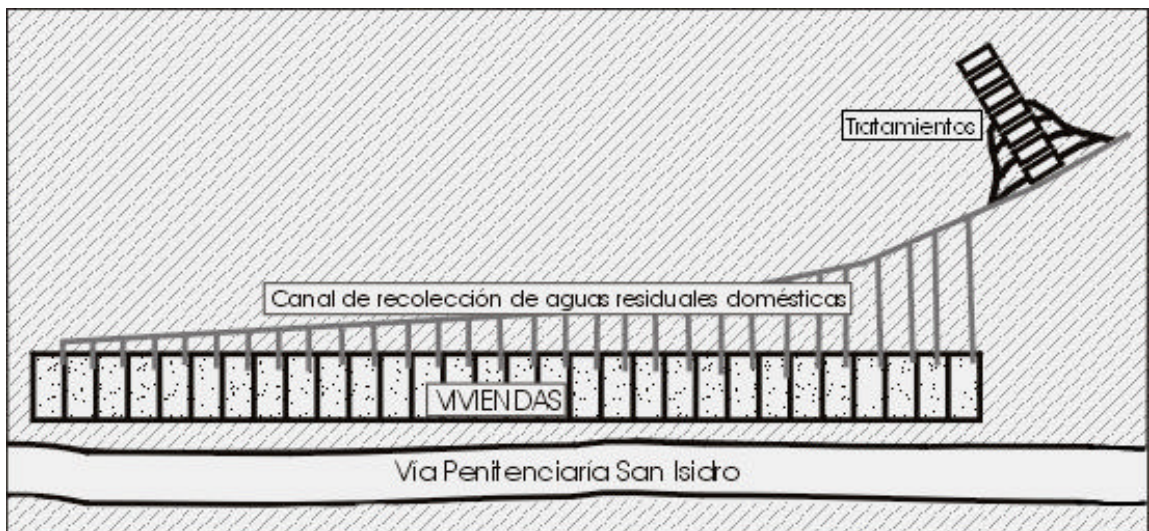
Las características predominantes del clima para la zona son de tipo templado y de influencia local y puntual, relacionada con el sistema de circulación intertropical de vientos. La población del asentamiento Brisas de San Isidro es muy variada a nivel sociocultural, provenientes de dos grupos: Los destechados (provenientes de la ciudad) y desplazados

(diferentes regiones) provenientes Cajibío, La Vega, Santander de Quilichao, Huila, Santa Rosa y El Tambo. Número de familias: 37, Niños: 57, Total de habitantes: 128 (Morales, 2004).

Las aguas residuales provenientes de las 30 viviendas que conforman el asentamiento, son canalizadas a través de una acequia que drena directamente sobre la quebrada Lame sin realizárseles ningún tratamiento.

Los suelos que están sobre la margen del canal de vertimiento de aguas residuales domésticas es su totalidad están cubiertos por pastos, rastrojos y malezas pertenecientes a una sucesión natural. El canal de vertimiento atraviesa una zona destinada como potrero y esta localizado en la parte posterior de las viviendas.

Figura 7. Grafico de la zona de estudio





### 5.3 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO

**Tratamiento:** Para realizar el estudio de fitodepuración se utilizaron tres especies de Poaceas: *Brachiaria mutica* (pasto pará), *Pennisetum purpureum* (pasto elefante) y *Panicum maximun* (pasto guinea); la reproducción de estas especies se realizó asexualmente, sembrando estolones en humedales artificiales subsuperficiales (SFS) con flujo de agua residual domestica proveniente del asentamiento Brisas de San Isidro Municipio de Popayán, Departamento del Cauca. Los tratamientos se establecieron como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Tratamientos utilizados en el estudio

Humedal	Tratamiento
No. 1	Flujo de agua residual, sin especies vegetales
No. 2	Flujo de agua residual, sembrado con <i>Brachiaria mutica</i> (pasto Pará)
No. 3	Flujo de agua residual, sembrado con <i>Pennisetum purpureum</i> (pasto elefante)
No. 4	Flujo de agua residual, sembrado con <i>Panicum maximun</i> (pasto guinea)
No. 5	Sin flujo de agua residual, sembrado con <i>Brachiaria mutica</i> (pasto Pará)*
No. 6	Sin flujo de agua residual, sembrado con <i>Pennisetum purpureum</i> (pasto elefante)*
No. 7	Sin flujo de agua residual, sembrado con <i>Panicum maximun</i> (pasto guinea)*

\*Con el fin de determinar si hay alguna influencia del agua en el crecimiento de las plantas no se le suministró agua residual.

### 5.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se realizó por medio de un diseño de muestreo temporal y un arreglo factorial de bloques al azar. En el cual se agrupa la unidad experimental en bloques, lo más homogéneos posible, al interior de cada uno de ellos y con alta heterogeneidad entre bloques; para reducir los grados de libertad del error experimental.

Debido a que los cambios que se producen en un ecosistema por acciones antrópicas o causas naturales, pueden aparecer o desaparecer en el tiempo espacio, y que los muestreos

puntuales pueden desestimar estos cambios se deben realizar muestreos o repeticiones en el tiempo; Para el arreglo factorial de bloques al azar se realizó cuatro muestreos, que se referencian a continuación:

- Un primer muestreo, iniciando el tratamiento o al comienzo del estudio planteado, se tendrán en cuenta variables ambientales y parámetros fisicoquímicos del agua.
- Tres muestreos posteriores cada 2 meses, en los que se tendrán en cuenta variables ambientales de la zona, parámetros fisicoquímicos del agua y desarrollo vegetativo de las plantas.

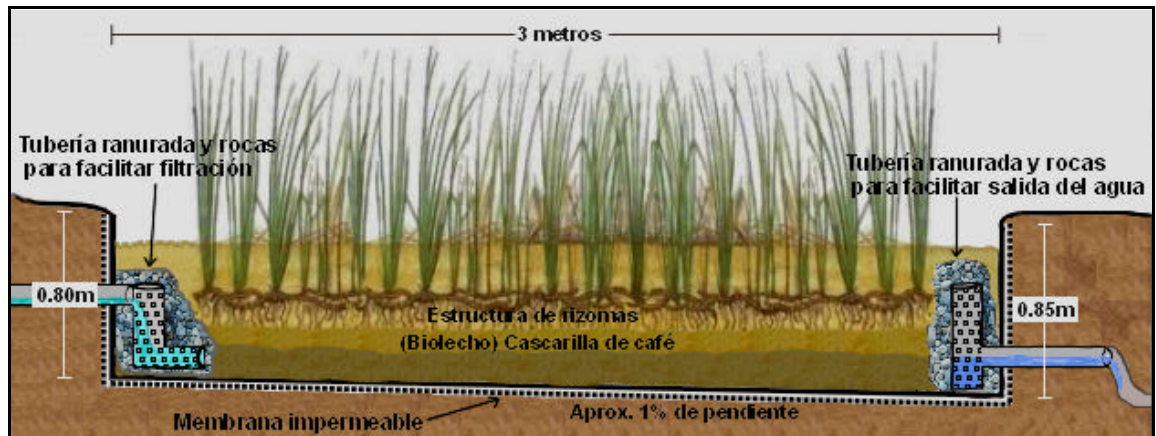
El análisis estadístico, se realizó por medio de una prueba paramétrica de hipótesis ANOVA (Análisis estadísticos de Varianza) y utilizando el software estadístico SPSS.

## **5.5 DISEÑO DEL HUMEDAL**

Primero se realizó la medición del caudal, por método del aforo, para obtener un dato más real se hizo mediciones en horas de la mañana y la tarde, y en diferentes días de la semana, tratando así de obtener el valor del caudal máximo.

Se construyó humedales artificiales con las siguientes dimensiones: 1m x 3m x 0.80m, con una pendiente aproximada de 1%.

Figura 8. Sección transversal de humedal artificial subsuperficial (SFS)



Los humedales artificiales están constituidos de la siguiente manera:

- Plástico: se colocó en la parte inferior de la parcela con el fin de disminuir la posibilidad de infiltración y por lo tanto de contaminación de aguas subterráneas.
- Triturado de piedra: con el fin de evitar el encharcamiento entre el biolecho y la parte superficial de la parcela
- Cascarilla de café o biolecho donde se desarrollan las bacterias que actúan de manera simbiótica con las especies vegetales a evaluar
- Tierra: sustento y protección al sistema radicular de las plantas

## 5.6 SIEMBRA Y ETAPA DE ADAPTACIÓN DE LOS PASTOS

Los pastos se sembraron formando surcos cada 0.2m. Cada humedal tiene una área  $3\text{m}^2$ , entre cada humedal hay una distancia de 0.5m, y se construyó un cerco a 0.5m; El área total requerida es de  $55\text{m}^2$ , para un total de 49 plantas por humedal.

Para un mejor establecimiento de las especies vegetales en el terreno, se brindó una etapa de adaptación de los pastos, en la cual los humedales no tuvieron el flujo de agua residual, pero se mantuvieron con constante riego y libres de otras especies que compitieran con ellos. La etapa de adaptación de los pastos al terreno tuvo una duración de seis meses, durante los cuales se hicieron podas programadas y se logró el completar el ciclo vital de los pastos.

Una vez terminada la etapa de adaptación, los humedales fueron conectados al flujo de agua residual doméstica, a partir de este momento, se tuvo una segunda etapa de adaptación al flujo de agua, que duró dos meses. A partir de la adaptación de los pastos a los humedales artificiales con flujo de agua residual se empezaron a tomar las muestras de agua residual cada quince días durante seis meses.

## **5.7 ESTABLECIMIENTO DE COLONIAS DE MICROORGANISMOS**

Es la etapa de adaptación de los pastos al flujo de agua residual, también cabe anotar que este periodo se tomó como etapa de colonización de microorganismos en el medio, en la cual es de suponer que tuvieron las condiciones adecuadas para establecerse y formar colonias en las raíces de las especies vegetales del humedal artificial.

## **5.8 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA**

Los parámetros químicos a considerar en el estudio son: pH, oxígeno disuelto (OD), concentración de  $\text{CO}_2$ , demanda biológica oxígeno (DBO), demanda química oxígeno (DQO), dureza, alcalinidad, conductividad, amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) y nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ).

Para realizar el estudio de los parámetros químicos se utilizaron: Kit análisis de amonio Aquamerck 108024, Kit análisis de DBO5 Aquamerck 114690, Kit análisis de nitratos

Aquamerck 111169, Kit análisis de nitritos Aquamerck ref. Merck 108025 y electrodo para análisis de DBO5 OXITOP C208204001,

Los datos como temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad, alcalinidad y dureza se tomaron directamente en el campo con una sonda multiparamétrica YSI ADV6600, conductímetro YSI 33, electrodo para conductividad YSIONS, medidor de pH, oxígeno y temperatura AQUATECH A51500, pHmetro digital SHOTT GERATE C6818N213059..

### **5.9 CAUDAL DEL FLUJO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA**

El flujo de agua residual doméstica del asentamiento Brisas de San Isidro no era siempre constante, está directamente influenciado por las diferentes actividades realizadas en las casas como la hora del baño, la hora de cocinar, etc., además, en los periodos de lluvia el caudal aumentaba considerablemente, por lo que se hizo necesario la construcción de un sistema que permitiera mantener constante el flujo de agua residual a los humedales. El sistema tenía una pequeña zona de reposo del agua y de acuerdo a su nivel controlaba el flujo de agua hacia el humedal.

Se realizaron medidas de caudal por método volumétrico cada quince días por seis meses, coincidiendo con las tomas de las muestras.

### **5.10. VARIABLES AMBIENTALES:**

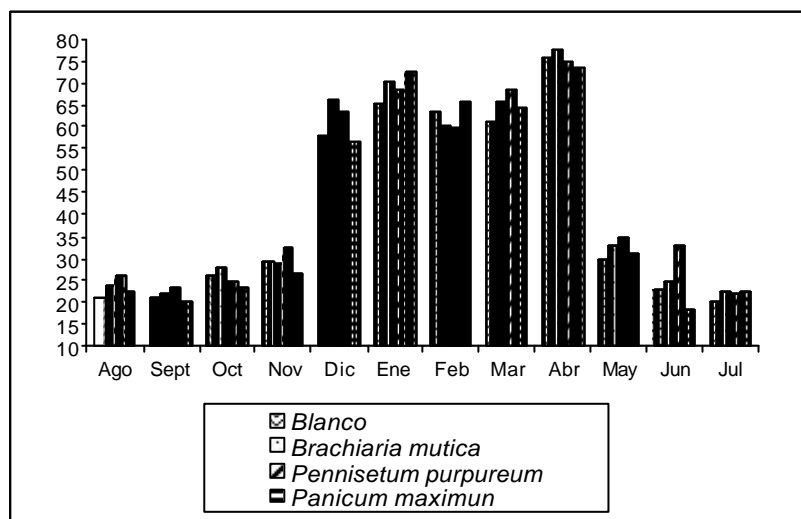
Con el fin de lograr una relación entre los tratamientos y el agua a tratar, se correlacionaron la temperatura y la precipitación durante el periodo de tiempo del estudio

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 CAUDAL

Como era de esperarse se halló una relación entre el caudal y la precipitación, puesto que el exceso de humedad, modificó el efluente de las aguas residuales domesticas del tratamiento, el agua de escorrentía aumentó volumen de agua que entró a cada una de las unidades experimentales; es así como para la época de lluvia (enero, febrero, marzo, abril) se presentó en la entrada de los tratamiento un caudal promedio de  $67.42 \pm$  litros/min y para la época de sequía (junio, julio, agosto, septiembre) se obtuvo un caudal promedio de  $\pm 22.96$  litros/min. (Figura 9)

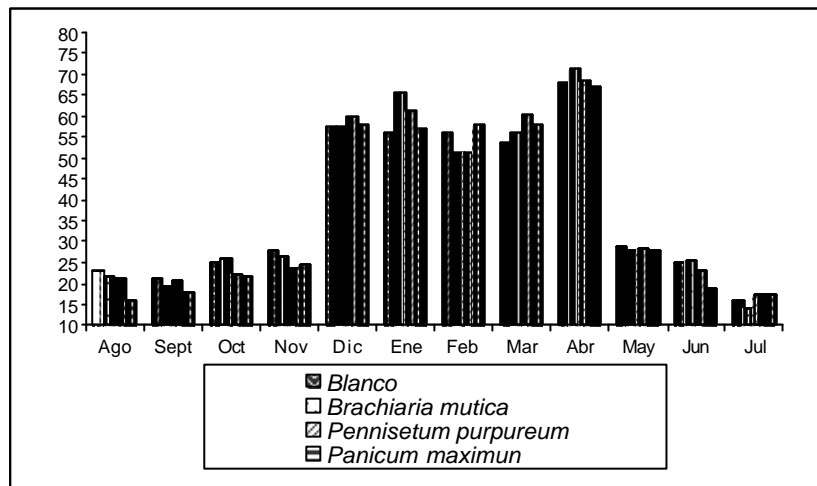
Figura 9. Caudales promedio en la entrada de los tratamientos



En la salida de los tratamientos se hicieron mediciones de caudal, las cuales en promedio fueron, en la época de sequía (junio, julio, agosto, septiembre)  $\pm 18.52$  y en la época de

lluvia (enero, febrero, marzo, abril)  $\pm 59.23$ . Se obtuvo en promedio una reducción de  $\pm 19\%$  entre el caudal de salida y entrada a los tratamientos. (Figura 10)

Figura 10. Caudales promedio en la salida de los tratamientos



Es de anotar que las altas precipitaciones ocasionaron obstrucciones a la entrada de los humedales artificiales debido a la acumulación de sedimentos, por lo cual se hizo necesario realizar dos jornadas de remoción de sedientos en el canal del efluente y en la entrada de los tratamientos, además de esto se construyó un dispositivo para controlar el flujo de caudal a la entrada a los humedales.

## 6.2 CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE TRATADO

Para el estudio se realizaron 12 muestreos con una frecuencia de un muestro semanal y respecto a las características analizadas se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 3. Valores promedio, desviación estándar y varianza para las variables físicas y químicas del agua residual domesticas después de un año (1) de tratamiento.

Tratamiento	pH	T	Cond.	OD	CO <sub>2</sub>	DBO	DQO	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	Cloruros	C. T	
	UPH	°C	μS/cm	mg/L	mg/L	Mg/L	mg/L	UNF	UNF	UNF	mg/L	NMP	
1	X	7,67	21,92	93,67	5,58	16,7	184,58	369,17	0,77	0,78	2,23	118,24	8433,33
	s	0,15	1,23	1,74	0,37	1,94	16,00	32,00	0,02	0,29	0,47	54,58	633,26
2	X	7,67	22,25	93,17	5,16	17,35	161,33	339,17	0,77	0,84	2,52	118,91	2322,22
	s	0,25	1,2	1,93	0,44	1,61	13,35	25,38	0,02	0,27	0,45	47,89	155,87
3	X	7,68	22,08	92	5,36	17,88	151,33	335,00	0,76	0,83	2,75	125,58	2405,56
	s	0,13	0,71	2,52	0,24	2,83	170,85	28,81	0,04	0,24	0,79	41,4	146,69
4	X	7,68	22,25	94,17	5,36	17,3	155,25	345,00	0,79	1,12	2,85	121,41	2505,56
	s	0,22	1,2	1,59	0,24	2,19	14,16	31,46	0,01	0,72	1,69	48,51	237,03
5	X	7,43	20,89	95,33	5,67	16,17	186,25	372,50	0,79	0,70	2,72	163,17	9042,83
	s	0,12	1,17	3,08	0,38	1,60	16,86	33,73	0,01	0,24	0,25	53,11	44,22

s : Desviación estándar

X : Media aritmética

1: Blanco

2: *Brachiaria mutica*

3: *Pennisetum purpureum*

4: *Panicum maximum*

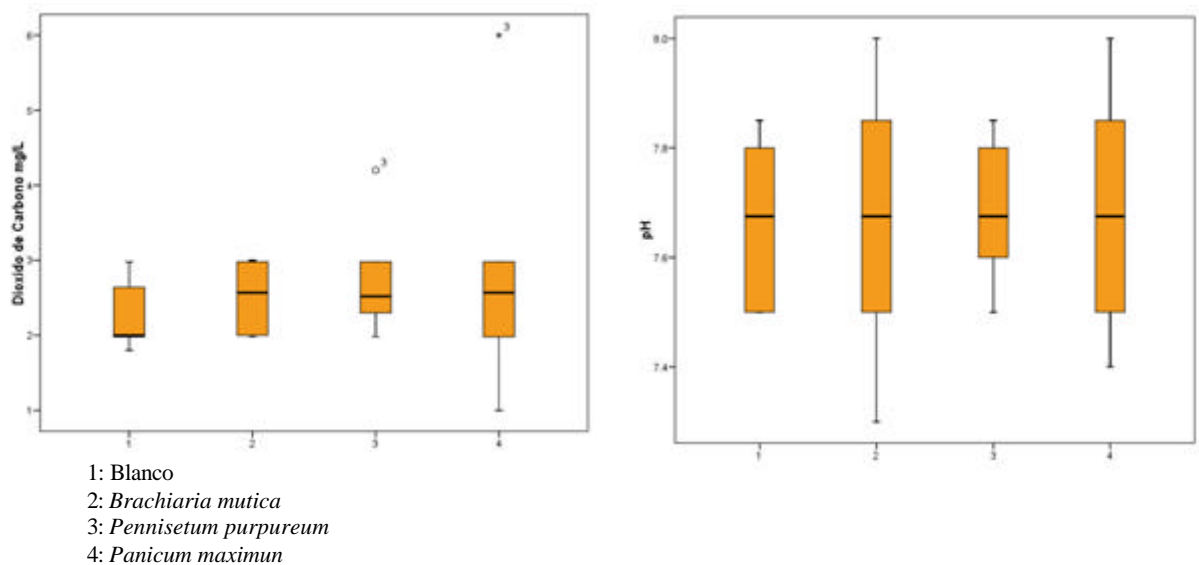
5: Entrada antes de los tratamiento



El pH presento variaciones con los tratamientos, en el humedal con el tratamiento de *Pennisetum purpureum* se obtuvo un valor de pH: 7,68 UPH, y una desviación estándar de:  $\pm 0,13$  siendo este, el valor más bajo entre los tratamientos; con *Brachiaria mutica* se obtuvo un valor de pH: 7,67 UPH y una desviación estándar de:  $\pm 0,25$ , con *Panicum maximun* se obtuvo un valor de pH: 7,43 UPH y una desviación estándar de:  $\pm 0,22$ , siendo este el valor mas bajo (Ver grafico 3).

La variación entre los tratamientos no fue estadísticamente significativa

Grafico 3. Diagramas de cajas y alambres análisis de CO<sub>2</sub> y pH



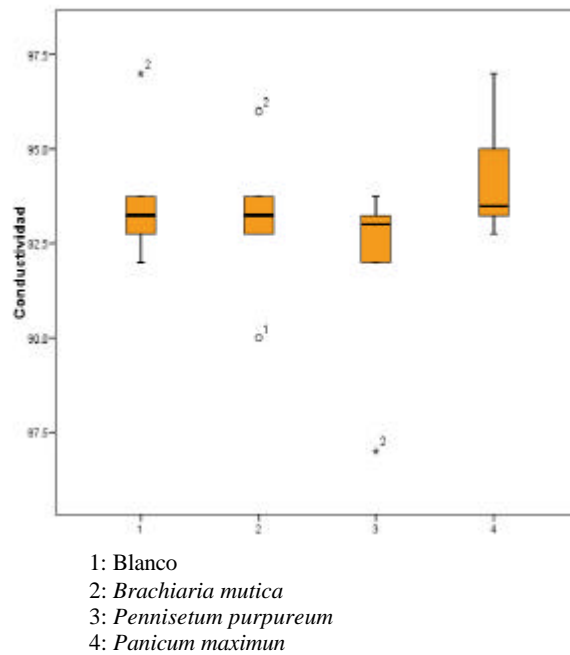
Las variaciones en el pH están relacionadas con la concentración de dióxido de carbono libre en el agua, porque el CO<sub>2</sub> es un gas que se disuelve fácilmente en el agua y genera protones que acidifican el medio, por esto a mayor cantidad de CO<sub>2</sub> menor será el valor del pH, esto se puede corroborar en el tratamiento con *Pennisetum purpureum* que tuvo el valor mas alto de CO<sub>2</sub> = 17,88 mg/L y el valor mas bajo de pH y en el tratamiento con *Brachiaria mutica* que tuvo el valor mas bajo de CO<sub>2</sub>= 17,3 mg/L y el valor mas alto de pH entre los tratamientos.

### 6.3 Conductividad

Debido a las características del efluente estudiando, era de esperar que los datos de conductividad tuvieran variaciones significativas por el uso de productos como jabones, detergentes, límpido, etc., que aumentaron los cloruros en el agua residual doméstica. La conductividad también se ve directamente influenciada por el caudal del efluente y las precipitaciones del área, porque entre más precipitación, mayor será el arrastre de material por escorrentía, lo cual aumento los sedimentos en el agua y por ende la conductividad del efluente (Ver grafico 4).

La variación entre los tratamientos no fue estadísticamente significativa

Grafico 4. Diagramas de cajas y alambres análisis de Conductividad

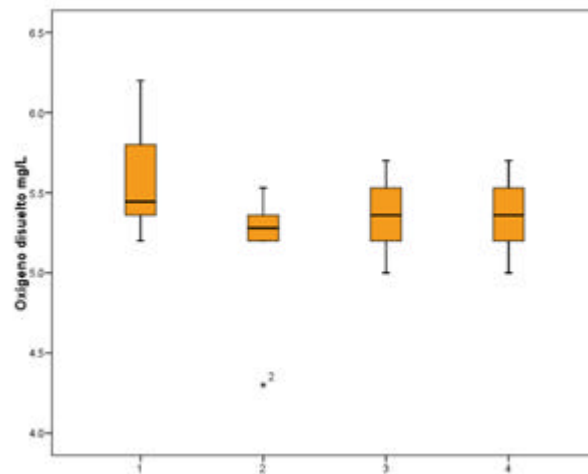


## 6.4 OXIGENO DISUELTO

La concentración de oxígeno disuelto no presentó variaciones, debido a que el flujo de agua que sale de los humedales, tiene poco movimiento y es reducido, además por la presencia de microorganismos que están consumiendo constantemente el oxígeno disponible en el medio. En el gráfico 5 se observa que las concentraciones de oxígeno más altas se encontraron en el tratamiento 1.

La variación entre los tratamientos no fue estadísticamente significativa

Gráfico 5. Diagramas de cajas y alambres análisis de Oxígeno disuelto



- 1: Blanco
- 2: *Brachiaria mutica*
- 3: *Pennisetum purpureum*
- 4: *Panicum maximum*

## 6.5 CICLO DEL NITRÓGENO

De acuerdo a las mediciones realizadas durante los tratamientos el nitrógeno presentó algunas variaciones dentro de su ciclo. En las concentraciones de amonio en el afluente tratado los datos obtenidos en el agua no presentaron variaciones significativas, entre los

tratamientos (varianza = 0), debido talvez a que se está iniciando el ciclo del nitrógeno en el agua.

Los nitritos con en el tratamiento con *Brachiaria mutica*, se observan como la mayor proporción de los datos están por debajo de la media aritmética, demostrando que la concentración de nitritos se redujo por lo cual se puede ver que el ciclo del nitrógeno se está cumpliendo.

En el tratamiento con *Pennisetum purpureum* se puede observar que los datos se encuentran en mayor proporción por encima del valor de la media aritmética, lo cual indica que las concentraciones de nitrito son muy elevadas y el ciclo del nitrógeno no se esta cumpliendo adecuadamente.

Los datos con el tratamiento de *Panicum maximun* se encuentran en proporciones casi iguales por encima y debajo de la media aritmética, lo cual indica que las concentraciones de nitrito estaban en proporciones equivalentes, y de esta forma se asegura la continuación del ciclo del nitrógeno.

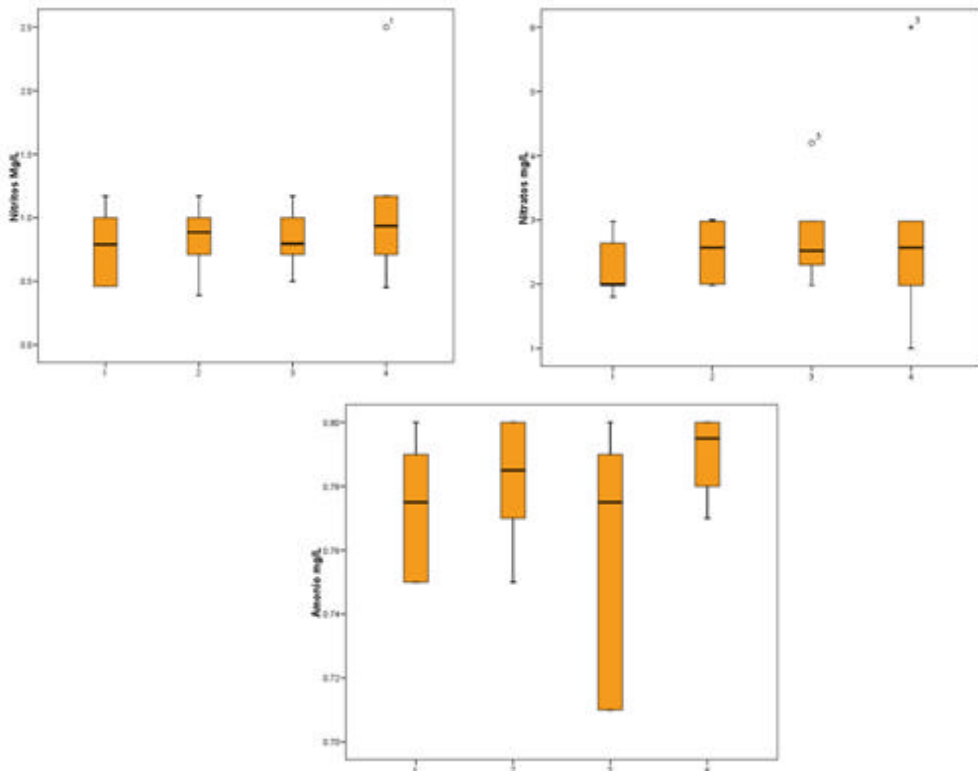
Pero estos cambios no tienen variaciones estadísticamente significativas.

En la concentración de nitrato en el tratamiento con *Brachiaria mutica* se puede observar que los datos se encuentran en proporciones casi iguales por encima y debajo de la media aritmética, lo cual indica que las concentraciones de nitrato no variaron significativamente y tuvieron un comportamiento muy estable.

En el tratamiento con *Pennisetum purpureum* se observa claramente que los datos están por encima de la media aritmética demostrando grandes cantidades de nitrato en este tratamiento. El tratamiento con *Panicum maximun* tiene gran proporción de datos por debajo de la media aritmética, indicando que las concentraciones de amonio con este

tratamiento se redujeron considerablemente y se nota un tendencia a reducirse con el paso del tiempo.

Grafico 6. Diagramas de cajas y alambres análisis de Nitratos, Nitritos y Amonio



- 1: Blanco
- 2: *Brachiaria mutica*
- 3: *Pennisetum purpureum*
- 4: *Panicum maximum*

## 6.6 COLIFORMES

Las raíces de los pastos brindaron un medio adecuado para el asentamiento de colonias de bacterias *E. coli*, como se pudo observar en los resultados de los análisis microbiológicos del agua en cada uno de los tratamientos con los diferentes pastos. Los valores más altos de

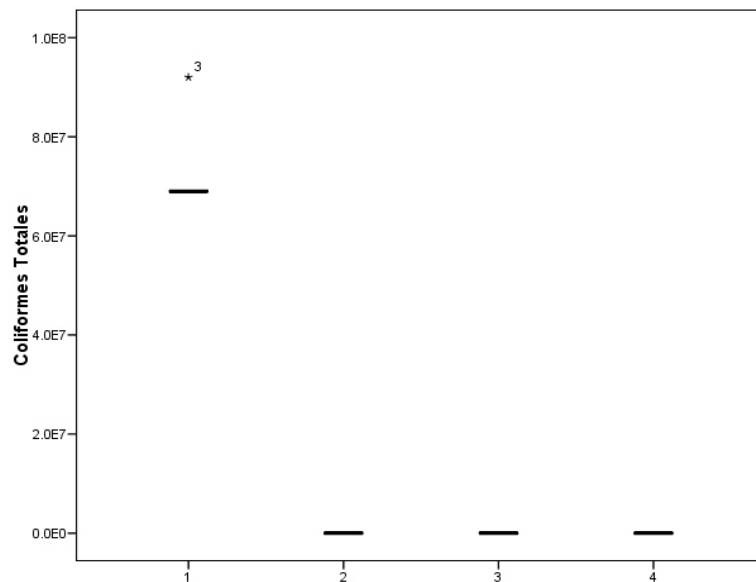
NMP/mL de coliformes totales se encontraron en el tratamiento de *Brachiaria mutica* y los mas bajos con el tratamiento de *Pennisetum purpureum* (Véase tabla 4)

Tabla 4. Valores promedio NMP/mL después de un año (1) de tratamiento

Tratamiento	NMP/mL
<i>Brachiaria mutica</i>	2322,22
<i>Pennisetum purpureum</i>	2405,56
<i>Panicum maximun</i>	2505,56
Blanco	8433,33

Son evidentes las diferencias entre los tratamientos con pastos y el blanco, se observo como el blanco también redujo considerablemente los valores de NMP/mL de coliformes, debido a que el valor de inicial que se obtuvo en las aguas residuales domesticas antes de los tratamientos fue de: 9042,83 NMP/mL de coliformes. En el grafico se observa que los datos con los tratamientos con los pastos tienen una tendencia a distribuirse por debajo de los datos obtenidos con el blanco, indicando la reducción en las concentraciones de coliformes totales con los pastos. Los datos obtenidos demuestran variaciones estadísticamente significativas.

Grafico 7. Diagramas de cajas y alambres para Coliformes totales



1:Blanco, 2: *Brachiaria mutica* , 3: *Pennisetum purpureum*, 4: *Panicum maximun*

## 6.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO - ANOVA

El primer análisis muestra que hay diferencias significativas para coliformes totales y fecales ( $p < 0,05$ ) a diferencia de los otros parámetros. (Véase Tabla 5)

Tabla 5. Resumen anova Tratamientos y el blanco

	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	Cloruros	T°C	pH	OD	W	Col Totales	Col Fecales
<b>F</b>	1,386	0,767	0,464	0,293	0,028	0,125	0,015	1,555	1,325	302,483	236,744
<b>Sig.</b>	0,276	0,526	0,711	0,83	0,993	0,945	0,997	0,232	0,294	0	0

Para establecer el nivel de las diferencias se desarrollo prueba de análisis de múltiples medias, Duncan, que indica las variaciones en los datos de coliformes en el blanco con respecto a los tratamientos con pastos. (Ver tabla No.6)

Tabla 6. Prueba de Duncan Coliformes totales y fecales.

<b>Duncan Coliformes totales</b>				
Tratami	N	Subconjunto para alfa = .1		
		2	1	
2	6	2322,2217		
3	6	2405,555		
4	6	2505,555		
1	6			84333333,3
<b>Sig.</b>			1	1
<b>Duncan Coliformes fecales</b>				
Tratami	N	Subconjunto para alfa = .1		
		2	1	
2	6	2322,2217		
3	6	2405,555		
4	6	2505,555		
1	6			84333333,3
<b>Sig.</b>			1	1

En el análisis de varianza se obtuvo diferencias en coliformes totales y fecales, por esto se realizó la prueba de análisis de múltiples medias, Duncan, que indica las variaciones en los datos de coliformes en el blanco con respecto a los tratamientos con pastos. (Ver Tabla .6). Estas variaciones

posiblemente se deben a la presencia de algunas especies vegetales menores diferentes, a las utilizadas en los tratamientos, porque el tratamiento denominado como blanco, a pesar de la constante limpieza de hierbas, desarrollaba algunas pequeñas especies vegetales. Estas especies vegetales en conjunto con el suelo forman un lecho filtrante conformado por arena y piedras que por retención reducen los coliformes de los efluentes (Buttner, 2005)

En cuanto a las variaciones entre el tiempo, se aplicó el análisis de varianza entre se tuvo en cuenta solamente los tratamientos con una probabilidad de ( $p < 0,1$ ) ver (Tabla 7)

Tabla 7. Resumen anova Entre repeticiones sin el blanco

	<b>NH<sub>4</sub></b>	<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>NO<sub>3</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>Cloruros</b>	<b>T°C</b>	<b>pH</b>	<b>OD</b>	<b>W</b>	<b>Col Totales</b>	<b>Col Fecales</b>
F	0,54	2,23	4,98	9,85	121,91	9,91	3,75	0,93	0,08	2,84	2,85
Sig.	0,74	0,12	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,50	0,99	0,06	0,06

Los nitratos en el afluente tuvieron su menor concentración en los meses de agosto y septiembre ( $\pm 1,98$ ), en estos meses, el ciclo del nitrógeno se redujo considerablemente en comparación con los meses de abril y diciembre ( $\pm 3,8$  y  $30$  respectivamente), estos resultados están relacionados posiblemente con las precipitaciones, porque en el mes de agosto y septiembre las precipitaciones fueron escasas ( $\pm 2,03$  y  $1,08$  respectivamente) y en los meses de abril y diciembre se tuvieron las mas altas precipitaciones ( $\pm 35,06$  y  $74,93$  respectivamente), lo que lleva a la conclusión que las concentraciones de coliformes se vieron afectadas por la cantidad de agua que entraba en los humedales, debido a la escorrentía y el aumento del caudal por las precipitaciones.

Los cloruros están directamente relacionados con las descargas de jabones y límpido hacia el afluente, y modificados en cierta forma por el caudal, porque cuando el caudal es mayor, también aumenta la disolución de los detergentes y jabones del agua, reduciendo su concentración. Es por esto que en los meses que se obtuvo mayores caudales (marzo  $\pm 64,88$  y abril  $\pm 75,38$ ) se presentaron menores concentraciones de cloruros (marzo  $\pm 49,75$  y abril  $\pm 41,23$ ).



Parámetros como el CO<sub>2</sub> y el pH están directamente relacionados entre si, el CO<sub>2</sub> es un gas producto del metabolismo celular, que en este caso proviene de las bacterias, es por esto que en los meses que se obtuvo la mayor concentración de coliformes (septiembre y noviembre ±2533,33) también se presentó la mayor concentración de CO<sub>2</sub> (±20,25). Como el CO<sub>2</sub> cuando aumenta, acidifica el medio y esto se ve reflejado en el valor del pH, en los meses de septiembre y noviembre donde se obtuvo el valor más alto de CO<sub>2</sub>, también se obtuvo el menor de pH ±7,02

Durante el tiempo del tratamiento con los pastos se pudo observar como los coliformes se tenían una tendencia a reducir su concentración, como lo demuestran los datos obtenidos en los primeros meses (septiembre y octubre) donde el NMP ± 2300 y posteriormente en los meses de febrero y marzo donde el NMP ± 2100, indicando un reducción en la concentración de coliformes en el afluente, esto demuestra la efectividad de los pastos para la remoción de la carga orgánica.

Para determinar cual de los pastos fue mejor en la remoción de carga orgánica se realizó un tercer análisis de varianza, se tuvo en cuenta solamente los tratamientos y se excluyó el blanco (p < 0,1) (ver Tabla No.8)

Tabla 8. Resumen anova entre tratamientos sin el blanco

	NH4	NO2	NO3	CO2	Cloruros	T°C	pH	OD	W	Col Totales	Col Fecales
<b>F</b>	1,86	0,74	0,143	0,122	0,032	0,049	0,013	0,77	1,682	1,487	0,465
<b>Sig.</b>	0,19	0,494	0,868	0,886	0,968	0,952	0,987	0,481	0,219	0,258	0,637

Con el fin de determinar las diferencias entre los tratamientos con pastos, se desarrollo la prueba de análisis de múltiples medias, Duncan, de amonio y coliformes totales. Las variaciones que se presentan entre los tratamientos se pueden observar en la tabla No. 8, en donde se evidencia que en el tratamiento con *Pennisetum purpureum*, arrojó niveles mas

bajos de nitratos en comparación con los otros tratamientos, lo que demuestra que en este tratamiento el ciclo del nitrógeno se está desarrollando de una manera más lenta, en contraste, en el tratamiento con *Brachiaria mutica*, los niveles de nitritos fueron más elevados, por lo que se puede afirmar que se está realizando el ciclo de nitrógeno a una tasa mayor en comparación con los demás tratamientos.

Tabla 9. Prueba de Duncan para Amonio

Duncan Amonio			
trat	N	Subconjunto para alfa = .1	
		2	1
3,00	6	0,7600	
2,00	6	0,7733	0,7733
4,00	6		0,7900
Sig.		0,406	0,302

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

Es de suponer que los niveles de amonio obtenidos en los tratamientos, también se deben a la misma forma y tamaño de las raíces de los pastos utilizados, siendo el *Panicum maximun* y *Pennisetum purpureum*, pastos con raíces de mayor tamaño y grosor en comparación con el *Brachiaria mutica*, permitieron mayor intercambio de gases y por ende una reducción de las concentraciones de nitritos en el medio; caso contrario sucedió con el pasto *Brachiaria mutica* que tiene unas raíces más delgadas en comparación con otros dos pastos utilizados en los tratamientos, reduciendo el espacio con el sustrato y el intercambio gaseoso.

Son notables las diferencias entre el blanco y los tratamientos, es así como se determina que el tratamiento No.3 con *Pennisetum purpureum* es el más recomendable para un sistema primario de remoción de carga orgánica y coliformes totales de aguas residuales domésticas, porque muestra variaciones estadísticamente significativas en Nitratos y

coliformes en comparación con los otros dos tratamientos, estas variaciones fueron: con el tratamiento de *Pennisetum purpureum* se obtuvo un valor de  $\text{NO}_3 = 2,75$  UNF, y una desviación estándar de:  $\pm 0,79$  con *Brachiaria mutica* se obtuvo un valor de  $\text{NO}_3 = 2,52$  UNF y una desviación estándar de:  $\pm 0,45$  y con *Panicum maximum* se obtuvo un valor de  $\text{NO}_3 = 2,85$  UNF y una desviación estándar de:  $\pm 1,69$ . Para los coliformes con el tratamiento de *Pennisetum purpureum* se obtuvo un valor de: 22405,56 NMP, y una desviación estándar de:  $\pm 146,69$  con *Brachiaria mutica* se obtuvo un valor de: 2322,22 NMP, y una desviación estándar de:  $\pm 155,87$  y con *Panicum maximum* se obtuvo un valor de: 2505,56 NMP, y una desviación estándar de:  $\pm 237,03$ .

## 7. CONCLUSIONES

El modelo de humedal de flujo subsuperficial (FSF), resulto ser una opción muy efectiva en el tratamiento primario de aguas residuales domesticas, además es un modelo de fácil control y supervisión, debido a que el agua siempre circula por debajo de la superficie del terreno, evitando la presencia de malos olores y la proliferación de especies animales indeseadas.

Los pastos utilizados en los tratamientos fueron un excelente medio para el establecimiento de colonias de microorganismos que ayudaron a reducir considerablemente la carga orgánica de las aguas residuales domesticas, proporcionándonos así, otras alternativas de especies fitodepuradoras que artes no eras consideras como tal, o que no habían sido evaluadas.

El humedal artificial con *Pennisetum purpureum* redujo significativamente el numero de coliformes totales (22405,56 NMP,  $s=146,69$ ) en las muestras de agua, en comparación con los otros tratamientos con *Brachiaria mutica* (2322,22 NMP,  $s=155,87$ ) y *Panicum maximun* (2505,56 NMP,  $s=237,03$ ), además de aumentar los niveles de oxigeno disuelto en el agua residual, lo cual indica que el humedal artificial con el pasto *Pennisetum purpureum* es muy recomendable en los sistemas primarios de remoción de carga orgánica y coliformes totales de aguas residuales domesticas.

Los humedales de flujo subsuperficial (FSF), son una alternativa para el tratamiento primarios de aguas residuales domesticas que además de ser efectivo en su funcionamiento, es muy económico en su construcción, por lo cual se convierte en una solución muy practica para pequeños asentamiento humanos que no dispongan de grandes recursos económicos. La construcción no requiere grandes inversiones de dinero, ni de infraestructura y el mantenimiento puede ser realizado por la misma comunidad. Este

proyecto es parte de la solución integral al problema sanitario causado por la falta de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en las regiones de escasos recursos.

Las variaciones que se presentaron entre los tratamientos, demuestran la efectividad en la remoción de la carga orgánica del afluente y que estos sistemas pueden ser utilizados como tratamientos primarios de aguas residuales domésticas.

## **8. RECOMENDACIONES**

Con la realización de este estudio se plantea una solución a un problema muy común en algunos asentamientos humanos, como estos sistemas son medidas primarias de tratamiento, surgen algunas otras necesidades, e inquietudes, que se pueden tener en cuenta para optimizar este sistema y la elaboración de otro proyecto similar. Entre estas necesidades se propone tener en cuenta las siguientes recomendaciones :

Construir un filtro para la retención y remoción de sedimentos antes de la entrada de los humedales artificiales y de esta forma evitar que los sedimentos se acumulen en la entrada de los humedales artificiales.

Realizar un análisis de biomasa de las especies vegetales utilizadas en el proyecto, porque al utilizar especies de la región, que sirven como alimento para especies menores de herbívoros, el proyecto puede tener otro objetivo que es brindar además otra alternativa para la pequeña producción y aprovechamiento de pasturas. El análisis de biomasa, debe ir complementado, con un análisis bromatológico de los pastos, para, evaluar la calidad del producto, en cuanto a fijación o acumulación de proteína, fibra, minerales.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

ARDILA, Henry; BERNAL, Faisal y MOSQUERA, Diana. Humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales. Barranquilla: Ingeniería Sanitaria y Ambiental Corporación Universitaria del Caribe. 2004.

BARON, Laura. Aguas residuales. (online). México. 1997. Disponible en Internet:  
<http://www.revistaciencias.com/publicaciones/EpZyVuuVVVnznWNyzo.php>  
<http://www.monografias.com/trabajos11/agres/agres.shtml>

CHANG, Daniel; ERGAS, Sarina; EWEIS, Juan y SCHROEDER, Edward. Principios de biorrecuperación. Madrid: McGraw Hill, 1999.

CUEVAS, Carlos; ERAZO, Alicia y TORRES, Andrés. La calidad microbiológica de las aguas de Popayán y su incidencia en las enfermedades de origen hídrico prevalentes en la ciudad. Popayán, 1989. . Trabajo de grado (Licenciatura en Biología). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación.

CUSATO, Roberto y TORTOSA, Diego. Tratamiento de líquidos por fitorremediación: empleo de *Discaria americana*. (online), Argentina. 2002. Disponible en Internet:  
<http://dsostenible.com.ar/tecnologias/fitorreme.html>

EPA (United States Environmental Protection Agency Office of Water). Washington: Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, Humedales de flujo Subsuperficial. Septiembre 2000 (online). EPA 832-F-00-023. Disponible en internet:  
<http://www.epa.gov/owmitnet/mtbfact.htm>

\_\_\_\_\_ : Guía del ciudadano para la fitocorrección. Diciembre 2001 (online). EPA 542-F-01-002S. Disponible en Internet: [www.epa.gov/superfund/sites](http://www.epa.gov/superfund/sites)

FERNÁNDEZ, Luis; FERRERA, Ronald; RIVERA, Maria; RODRÍGUEZ, Refugio and VOLKE, Victor. Agrociencia: Decontamination of soil polluted with crude petroleum using indigenous microorganisms and Aleman grass (*Echinochloa polystachya*). Vol 38, No 1. Enero - Febrero 2004.

GIRALDO, Eugenio y ZARATE, Erika. Humedales artificiales de flujo vertical para tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. Santa Fe de Bogotá: Universidad de los Andes, 2001. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.

LARA, Jaime. Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Barcelona, 1999. Trabajo de grado maestría (Ingeniería y Gestión Ambiental) Universidad Politécnica de Cataluña.

\_\_\_\_\_. Implantación y evolución de un sistema piloto de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales. Pontificia Universidad Javeriana Bogotá (Online), 2004. Disponible en Internet: [http://www.javeriana.edu.co/javeriana/vice\\_acad/documentos.html](http://www.javeriana.edu.co/javeriana/vice_acad/documentos.html)

MARTÍNEZ, Paola. Efectos del vertimiento de aguas residuales domésticas en la calidad biológica de la quebrada Quitacalzón (Municipio de Popayán). Popayán, 2003. Trabajo de grado (Bióloga). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación.

MARTÍNEZ, Rodrigo. Evaluación de la capacidad de remoción de nitrógeno y sus relaciones fisiológicas en *Heliconia psittacorum* (Heliconiaceae) expuesta a una carga orgánica de agua residual en un humedal artificial sub-superficial para el tratamiento de aguas residuales en el Municipio de Ginebra (Valle del Cauca). Cali, 2008. Trabajo de grado (Biología con énfasis en Botánica). Universidad del Valle. Facultad de Ciencias

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Documento Conpes: estudio de contaminación industrial en Colombia. Santa fe de Bogotá: DNP-PNUD, 1994 (online). Disponible en Internet: <http://www.minambiente.gov.co>

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_ : acciones prioritarias y formulación del plan de nacional de manejo de aguas residuales. Santa fe de Bogotá: DNP-DDUPRE- DPA, 2002 (online). Disponible en Internet: <http://www.minambiente.gov.co>

MORALES, Sandra. Acciones para la conservación de un humedal urbano. Grupo de investigación nutrición agropecuaria. Popayán: Universidad del Cauca, 2004



PEREZ, Nancy. Evaluación de la contaminación de la quebrada Abejorales generada por los vertimientos de las microempresas del almidón de yuca en la vereda Mandiva del municipio de Santander de Quilichao. Popayán, 2002. Trabajo de grado (Bióloga). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación.

RAMÍREZ, Alberto. Ecología aplicada: diseño y análisis estadístico. Santa Fe de Bogota: Fundación Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano, 1999.

ROLDAN, Gabriel. Fundamentos de Limnología Neotropical. Medellín: Universidad de Antioquia, 1992.

RODRÍGUEZ, Jaime. Métodos de investigación pecuaria. México: Trillas, 1991.

ROSILLO, Alberto. Sistema integrado de tratamiento y uso de aguas residuales domésticas de Maracaibo, Venezuela. (online). Lima, Perú. Noviembre 2002. Disponible en Internet: <http://www.cepis.ops-oms.org>

SEOANES, Mariano. Aguas residuales urbanas: tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Madrid: Mundi-Prensa, 1995.

TCHOBANOGLIOUS, George. Tratamientos de aguas residuales en pequeñas poblaciones. México: McGraw Hill Interamericana, 2000.

URBIETA, Jissel. Contaminación y purificación del agua. Colombia. (online). Noviembre 2002. Disponible en Internet: <http://www.monografias.com/trabajos12/conpurif/conpurif.html>

VARGAS, Ricaurte. Pastos y forrajes. Bogotá: Editorial Guadalupe, 1987.

VÁSQUEZ, Guillermo. Caracterización físico química de cuerpos de agua naturales. Popayán: Universidad del Cauca. 2001

WALKER, Stuart. Microbiología. México: McGraw Hill Interamericana, 2000.

## **10. ANEXOS**