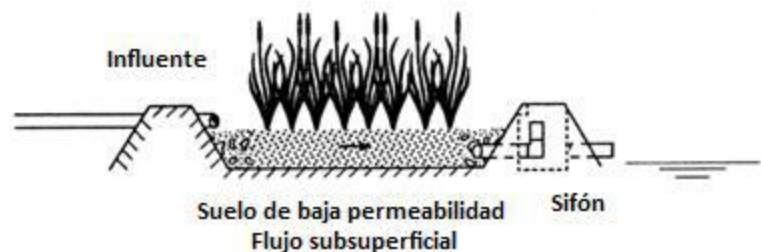




FEBRERO DE 2013



HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL SUB SUPERFICIAL PARA TRATAMIENTO DE AGUAS MIELES

FINCA PAMPOJILÁ, SAN LUCAS TOLIMÁN, SOLOLÁ

RUDY GALINDO
AGROPECUARIA ATITLÁN S.A.

Ciudad de Guatemala, Diagonal 6, 10-1 Zona 10, Centro Gerencial Las Margaritas, Torre II.

I. INTRODUCCIÓN

Finca Pampojilá-Agropecuaria Atitlán S.A., ubicada en el municipio de San Lucas Tolimán, departamento de Sololá es un complejo agrícola de más de 380 hectáreas donde predomina la producción de café, dadas las condiciones climáticas propias del lugar características por la zona de vida clasificada como Bosque húmedo Montano Bajo Subtropical, y en la parte inferior de la parcela una región menor perteneciente a un Bosque muy húmedo Subtropical (cálido).

Durante el presente año 2014, a la fecha se han procesado más de 20,000 quintales de café en el beneficio de finca Pampojilá, lo que se estima genera un caudal de 23 metros cúbicos por hora de proceso de agua residual. Para brindar un método de disposición de estos vertidos se diseñó un humedal artificial de flujo horizontal sub superficial, sistema en el que paulatinamente se desarrolla un ecosistema complejo compuesto por animales vertebrados y mayoritariamente invertebrados, colonias bacteriológicas diversas, vegetación (plantas vetiver), substrato como nicho y el agua como el medio nutritivo que atrae y brinda sustento a los organismos bióticos mencionados.

El sistema en conjunto posee un tratamiento previo constituido por tamices para la recuperación de residuos de rechazo de café dentro del beneficio, una trampa de grasas y mucílago ubicada posterior salida del mismo, donde por procesos físicos se recupera biomasa que se dispone para compostaje. Posteriormente se descarga el agua residual al humedal artificial compuesto por dos pilas impermeabilizadas y rellenas de materiales filtrantes de cuatro granulometrías diferentes sobre las que se sembraron plantas vetiver. Finalmente se cuenta con dos lagunas aeróbicas que se establecieron con la finalidad de favorecer la digestión de la carga orgánica que no haya sido removida durante la infiltración previa.

La operación del mismo se realiza de forma manual, en el caso de la descarga de la trampa de grasas y mucílago, por medio de un drenaje con un tubo falso en el fondo del canal, de esta operación se aprovecha la presión generada por el vertido líquido para por gravedad conducir el líquido al humedal y con el movimiento del caudal se logra un flujo que se vierte a una tubería tipo sifón que sirve para permitir el movimiento entre una y otra fase. Por último, el agua tratada es conducida por la fuerza de atracción natural de la tierra a favor de la pendiente para el riego de cafetales aledaños.

II. JUSTIFICACIÓN

Conforme los análisis de los balances anuales de disponibilidad de agua elaborados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) y por el programa del Plan Maestro de Riego (PLAMAR), se estima que Guatemala cuenta con una disponibilidad de 97,120 millones de metros³ anuales de agua, cantidad siete veces mayor al límite de riesgo hídrico señalado por la comunidad internacional de 1,000m³/habitante/año. Sin embargo, esto es teórico en términos de acceso para su aprovechamiento, ya que los usos actuales han comprometido el caudal que naturalmente escurre por las tres vertientes y 38 cuencas del territorio nacional (SEGEPLAN, 2012).

En ese orden de ideas, es importante mencionar que el beneficio de aprovechar los recursos hídricos conlleva la responsabilidad legal de disponer adecuadamente de las aguas residuales, dado que es vigente en el estado de Guatemala el Reglamento para las descargas y reúso de aguas residuales y disposición de lodos (Acdo. Gubernativo 236-2006). Sin embargo, según la Política Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (PNGIRH) El manejo de las aguas residuales es el hecho que constituye la externalidad más importante diagnosticada durante la elaboración de la misma, debido a su carácter aplicable en toda actividad humana y porque solo el cinco por ciento de los 1,660 millones de metros³ del volumen producido en un año recibe algún tratamiento previo a su disposición al ambiente, lo que compromete la disponibilidad de calidad para fines domésticos y limita los usos productivos aguas abajo (SEGEPLAN, 2012).

Según la Secretaría General de Planificación (2012), de la producción de aguas residuales descargadas durante un año (mencionada anteriormente) de forma puntual, la contaminación orgánica representa el 40%. Este último parámetro traducido en Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y a mediano plazo en Demanda Química de Oxígeno es el más importante en las cargas de los vertidos líquidos del beneficiado de café de finca Pampojilá, y se constituye particularmente de restos de pulpa y mucílago. Por lo anterior, es de importancia contar con un sistema que brinde la remoción de sólidos suspendidos y sedimentables, así como una reducción en la carga orgánica que según análisis de laboratorio realizados durante el presente 2014 es de 270 mg/L en DBO y 4370 mg/L para DQO.

Dadas las cargas mencionadas es de interés para esta empresa el reducir los parámetros de tal forma que cumplan con la normativa nacional vigente, para lo que teniendo en consideración los principios de innovación y mejora continua que caracterizan Agropecuaria Atitlán S.A. se contó con una serie de capacitaciones impartidas por entes nacionales como la Asociación Nacional del Café (ANACAFÉ, 2013) y la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del lago de Amatitlán (AMSA, 2013), lo que desembocó en la consulta de investigaciones nacionales

desarrolladas particularmente por la escuela de biología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, que citan trabajos exitosos en el uso de plantas acuáticas en lo que se conoce en este ramo como fitorremediación.

Además de lo anterior, existen referencias de investigaciones en el tema puntual de humedales artificiales desarrolladas en México, tal es el caso de lo documentado por Osnaya (2013), quien realizó una propuesta de diseño de un humedal de flujo horizontal sub superficial para tratamiento de aguas residuales, así como el trabajo de Zambrano y Saltos en Ecuador, quienes implementaron y comprobaron la efectividad de un sistema de depuración de aguas residuales domésticas por un humedal de flujo libre. La similitud de los vertidos citados con anterioridad, con los producidos en el beneficiado de café radica en que el contaminante más importante para ambos casos es la carga orgánica, razón por la cual se consideró aplicable para el caso.

Como un valor agregado al sistema de tratamiento, se tiene el hecho que los efluentes generados serán aprovechados para riego del cultivo de café, reduciendo los impactos negativos al entorno ambiental y aprovechando al máximo el recurso hídrico y consecuentemente reduciendo la demanda del mismo desde su fuente de extracción, considerando que este es bombeado mecánicamente desde el lago Atitlán, lo que implica costes. Sin embargo, de esta forma no solo será reducido el valor de su extracción, sino que se disminuirá la producción de dióxido de carbono por quema de combustibles. De esta forma se reafirma el compromiso de uso óptimo y racional de los recursos naturales y se secundariamente se activa la economía local por medio de una producción sustentable.

III. OBJETIVOS

1. General

- 1.1. Fundamentar las principales características del humedal artificial de flujo horizontal sub superficial de finca Pampojilá-Agropecuaria Atitlán S.A.

2. Específicos

- 2.1. Documentar las fases de tratamiento implementadas para el tratamiento de aguas mieles de finca Pampojilá-Agropecuaria Atitlán S.A.
- 2.2. Identificar las principales ventajas y desventajas de un humedal artificial de flujo horizontal sub superficial.
- 2.3. Distinguir los componentes que caracterizan el funcionamiento del ecosistema formado en un humedal artificial.

HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS MIELES DE FINCA PAMPOJILÁ-AGROPECUARIA ATITLÁN S.A., SAN LUCAS TOLIMÁN, SOLOLÁ

IV. MARCO TEÓRICO

1. Humedales artificiales

Los sistemas de humedales artificiales son tratamientos biológicos con gran potencial por su facilidad de operación y por representar técnica y económicamente una opción viable para ser utilizados. Estos sistemas artificiales consisten en un diseño de áreas con sustrato saturado por aguas superficiales o subterráneas y con plantas emergentes, con una distribución y duración suficientes para mantener condiciones saturadas. El agua residual pasa a través del humedal y es depurada por los microorganismos existentes. Sin embargo, el agua resultante no es potable, pero puede utilizarse para riego agrícola y forestal, limpiar maquinaria, vehículos y equipo industrial o bien para uso sanitario (Lara y Day, n/d).

2. Tipos de Humedales

1.1. Según el Material Vegetativo

Según las características del material vegetal predominante en los lechos estos se clasifican:

- 1.1.1. Humedales construidos, basados en macrófitas flotantes. Ej. *Eichhornia crassipes*, *lemna minor*.
- 1.1.2. Humedales construidos, basados en macrófitas de hojas flotantes. Ej.: *Nymphaea alba*, *Potamogeton gramineus*.
- 1.1.3. Humedales construidos, con macrofitas sumergidas. Ej.: *Littorella uniflora*, *Potamogeton crispus*.
- 1.1.4. Humedales construidos, con macrófitas emergentes. Ej.: *Thypha latifolia*, *Phragmites australis*, *Vetiveria zizanooides*.

El criterio más importante al momento de elegir el tipo de material vegetativo a utilizar es la adaptabilidad a las condiciones ambientales de la región donde se pretende implementar el sistema de tratamiento, sin embargo; según Arias y Brix (2003) son los del tipo que posee macrófitas emergentes los que han demostrado mayor adaptación a condiciones adversas

1.2. Según el Flujo del Agua

Según Arias y Brix (2003) existe otro criterio para la clasificación de estas estructuras de tratamiento, siendo este el movimiento del agua en los lechos:

1.2.1. Sistemas de flujo libre/Humedales de flujo superficial (HFS).

El agua se vierte en superficie en un extremo del lecho, trasiega expuesta a la atmósfera, lenta y horizontalmente, para finalmente ser evacuada en el extremo opuesto del lecho, por medio de un vertedero.

1.2.2. Sistemas con flujo horizontal subsuperficial (HFSS).

El agua se distribuye en un extremo del lecho, se infiltra, trasiega en sentido horizontal a través de un medio granular de relleno y entre las raíces de las plantas. Al final y en el fondo del lecho, el agua tratada se recoge y se evacua por medio de tuberías y/o vertederos. Las profundidades de estos humedales descritos no suele exceder los 0.6 m. y para facilitar el trasiego del agua deben ser construidos con una leve pendiente en el fondo, pero manteniendo en lo posible las condiciones hidráulicas de flujo laminar. Los lechos deben ser aislados del suelo subyacente para evitar la contaminación de suelos y de las aguas subterráneas. (tesis flujo superficial).

Se considera que las reacciones biológicas se deben a la actividad de los microorganismos adheridos a las superficies disponibles en el lecho y las raíces sumergidas, ya que estas últimas proporcionan también un sustrato para los procesos microbiológicos y dado que la mayoría de las macrófitas emergentes pueden transmitir oxígeno de las hojas a las raíces, se presentan micro zonas aeróbicas en la superficie de las raíces y los rizomas. El resto del medio sumergido de este tipo de humedal tiende a carecer de oxígeno lo que en general limita la remoción biológica de amoníaco por nitrificación, pero aun así el sistema es efectivo en la remoción de DBO, SST, metales y algunos contaminantes orgánicos prioritarios, dado que su tratamiento puede ocurrir bajo condiciones aeróbicas y anóxicas (EPA, 2000).

Las principales ventajas de mantener un nivel subsuperficial del agua son la prevención de mosquitos y olores y la eliminación del riesgo de que el público entre en contacto con el agua residual parcialmente tratada (EPA, 2000), para mayor detalle se presentan en el cuadro 1, tanto las ventajas como las desventajas de este tipo de humedal artificial.

Cuadro 1. Ventajas y desventajas de un sistema de humedal de flujo sub superficial.

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---|--|
| Proporcionan tratamiento efectivo en forma pasiva y minimizan la necesidad de equipos mecánicos, electricidad y | El fósforo, los metales y algunos compuestos orgánicos persistentes que son removidos permanecen en el |

monitoreo por parte de operadores adiestrados

sistema ligados al sedimento y por ello se acumulan con el tiempo.

Pueden ser menos costosos de construir, operar y mantener, que los procesos mecánicos de tratamiento.

Requiere un área extensa en comparación con los sistemas mecánicos convencionales de tratamiento

La configuración de los humedales de flujo sub superficial proporcionan una mayor protección térmica que los de flujo superficial

La mayoría del agua contenida en los humedales es esencialmente anóxica, limitando el potencial de nitrificación rápida del amoníaco

No producen biosólidos ni lodos residuales que requerirían tratamiento subsiguiente y disposición.

En climas fríos las bajas temperaturas durante el invierno reducen la tasa de remoción de DBO, NH₃ Y NO₃-.

La remoción de DBO, SST, DQO, metales y compuestos orgánicos refractarios de las aguas residuales domésticas puede ser muy efectiva con un tiempo razonable de retención. La remoción de nitrógeno y fósforo a bajos niveles puede ser también efectiva con un tiempo de retención significativamente mayor.

No pueden ser diseñados para lograr una remoción completa de compuestos orgánicos, SST, nitrógeno o bacterias coliformes. Los ciclos ecológicos en estos humedales producen concentraciones naturales de esos compuestos en el efluente.

Los mosquitos y otros insectos vectores similares no son un problema mientras el sistema se opere adecuadamente y el nivel sub superficial de flujo se mantenga. También se elimina el riesgo de que niños y mascotas estén expuestos al agua residual parcialmente tratada.

Si bien, estos pueden ser de menor superficie que los de flujo libre para la remoción de la mayoría de los constituyentes del agua residual, el costo mayor del medio de grava en los humedales de flujo subsuperficial puede dar como resultado costos de construcción más altos para sistemas con una capacidad mayor a 227,000 litros por día (60,000 galones).

Fuente. EPA, 2000.

1.2.3. Sistemas con flujo vertical (HFV).

A diferencia de los humedales de flujo horizontal, en los humedales de flujo vertical el agua fluye de manera descendente y percola en el humedal. El agua se vierte y

se distribuye en toda la superficie del lecho y percola en el mismo, entre las diferentes capas de material filtrante de relleno. El material de relleno puede ser de distinta naturaleza y además sirve para facilitar el arraigo de las plantas. El lecho debe tener una profundidad no menor a 1 m.

El sistema de distribución del agua afluyente está en la superficie y reparte el agua por tratar uniformemente, para asegurar buenos resultados en la depuración. Una vez el agua pasa a través del lecho, se recoge en el fondo y se evacua por medio de tubería. El agua en los humedales de flujo vertical se puede dosificar de manera continua o intermitente hasta inundar totalmente el lecho, siempre dependiendo del modo de operación previsto en el diseño.

1.2.4. Sistemas híbridos (SH).

Son combinaciones de los humedales anteriormente descritos y pueden estar compuestos en diferentes lechos y/o de zonas en donde el agua circula expuesta a la atmósfera, zonas donde el flujo es subsuperficial e inclusive con sectores con flujo vertical. Su disposición dependerá de los objetivos del tratamiento, de las características del agua por tratar, de las condiciones de operación y de la disponibilidad económica. Para mejorar aún más la calidad del agua, o cuando se quieren obtener resultados de calidad específicos y hacer los sistemas más efectivos, también es posible implementar procesos de recirculación del agua tratada en diferentes puntos de los sistemas.

2. Componentes del Humedal

2.1. Agua

Lo más probable es que se formen humedales en donde exista acumulación de agua directamente sobre el terreno y en donde exista una capa del subsuelo que sea relativamente impermeable para evitar la filtración. La hidrología es uno de los factores más importantes en un humedal ya que reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario en el éxito o fracaso del mismo.

La hidrología de un humedal construido no es muy diferente que la de otras aguas superficiales, sin embargo difiere en aspectos relevantes como por ejemplo, pequeños cambios en esta característica pueden tener importancia en la efectividad del tratamiento, debido al área superficial del agua y su poca profundidad, el sistema actúa recíproca y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración. La densidad de la vegetación en un humedal afecta fuertemente su hidrología, obstruyendo caminos de flujo siendo sinuoso el movimiento del agua a través de la red de tallos, hojas, raíces y rizomas, y luego bloqueando la exposición al viento y el sol.

2.2. Substrato

Los substratos en los humedales construidos incluyen suelo, arena, grava roca y materiales orgánicos como el compost. Sedimentos y restos de vegetación se acumulan en el humedal debido a la baja velocidad del agua y a la alta productividad típica de estos sistemas, el substrato, sedimentos y restos de la vegetación son de importancia por los siguientes motivos:

- Soportan a muchos de los organismos vivientes en el humedal.
- La permeabilidad del substrato afecta el movimiento del agua a través del humedal.
- El substrato sirve para que muchos contaminantes sean almacenados.
- Transformaciones químicas y biológicas (microbianas) tienen lugar dentro del substrato.
- La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, la fijación de microorganismos y es una fuente de carbono.

Las características físicas y químicas del suelo y otros substratos se alteran cuando se inundan. En un substrato saturado, el agua reemplaza los gases atmosféricos en los poros y el metabolismo microbiano consume el oxígeno disponible y aunque se presenta dilución de oxígeno atmosférico, puede darse lugar a condiciones anóxicas, lo cual será importante para la remoción de contaminantes como el nitrógeno y metales.

2.3. Vegetación

El principal beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (tallos, raíces y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporta el oxígeno de manera más profunda, de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión.

Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y escorrentía de varias maneras:

- Estabilizan el substrato y limitan la canalización del flujo.
- Dan lugar a velocidades de aguas bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- 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 substrato.

- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.
- Cuando se mueren y se deterioran dan lugar a restos de vegetación.

2.4. Microorganismos

Una de las principales características de los humedales es que sus funciones son principalmente reguladas por los microorganismos y su metabolismo. Los microorganismos incluyen bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes.

La actividad microbiana transforma un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles, altera las condiciones de potencial redox del substrato y así afecta la capacidad del proceso del humedal, además esta actividad está involucrada en el reciclaje de nutrientes. Algunas transformaciones microbianas requieren oxígeno libre y otras no. Sin embargo muchas especies funcionan en ambos casos (facultativas).

2.5. Animales

Los humedales construidos proveen un hábitat para una rica diversidad de invertebrados y vertebrados. Los invertebrados como insectos y gusanos, contribuyen al proceso de tratamiento fragmentando el detritus al consumir materia orgánica. Las larvas de muchos insectos son acuáticas y consumen cantidades significativas de materia durante sus fases larvales.

Aunque los invertebrados son los animales más importantes en cuanto a la mejora de la calidad del agua, los humedales construidos también atraen una variedad de anfibios, tortugas y mamíferos. Los humedales construidos atraen también variedad de pájaros e incluso patos silvestres.

V. MARCO REFERENCIAL

1. Antecedes en Guatemala

Existen estudios realizados con ninfa (*Eichhornia cassipes*) y Vetiver (*Vetiveria zizanioides*) en remoción de metales pesados (Zelada, Arreola, Herrera y Ariza, 2011), quienes en los mejores casos obtuvieron porcentajes de remoción de Arsénico sobre el 60%-100% y 70%-75% respectivamente para cada planta, realizando un muestreo cada siete días durante dos semanas y contando con agua a una concentración adherida de 1ppm de contaminante.

Los autores mencionan que la ninfa tiene capacidad de acumulación de metales pesados en sus tejidos, formando complejos entre metal y aminoácidos. Además, existen microorganismos asociados a las raíces que favorecen la acción

depuradora. Por su parte el vetiver es capaz de absorber metales por su sistema radicular denso y profundo, este produce peroxidasa, catalasa y superóxido dismutasa que permite limpiar al organismo de químicos tóxicos. Es importante mencionar que aumenta la producción de ácido abscísico que permite tolerar condiciones adversas.

En lo correspondiente a remoción de nutrientes y puntualmente fósforo, Camarero (2013) utilizó *Eichhornia crassipes* en agua del lago atitlán almacenada en pilas, de lo que obtuvo un 77% de extracción total de ortofosfatos, sin embargo; esta se subdividió en los resultados en un 61% fijado por la planta y un 15% sedimentado. Es importante mencionar que en las conclusiones de dicha investigación se menciona que para esta especie la funcionalidad es óptima hasta la tercer semana de permanencia en el medio, debiéndose cosechar después de este período para evitar la muerte de las mismas y la devolución del nutriente absorbido al agua.

Por su parte Casasola (N/D) en estudio realizado con *E. crassipes* evaluó la ubicación de los contaminantes absorbidos por esta planta en tallos, hojas y raíces con la finalidad de concluir la viabilidad de utilizarse como materia prima en la producción de compost, las muestras se extrajeron de matas presentes en el lago Atitlán y se evaluó la presencia de Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, K, Zn, As, Cd, Pb, Hg, P, SO₄ y N. Las mayores concentraciones de metales pesados se ubicaron en las raíces, por lo que en la investigación se concluye que esta parte no pueden ser utilizadas para producir abono orgánico debido particularmente a la presencia de arsénico que alcanzó los 20.55 mg/Kg en las matas provenientes de la desembocadura del río Villalobos.

Los estudios citados con anterioridad han sido ejecutados en general a escala de laboratorio, sin embargo según López (2013) existen experiencias exitosas como la operación de una planta de tratamiento que utiliza fitorremediación como etapa terciaria, esta se encuentra ubicada en el municipio de Amatitlán, atiende un 40% del caudal del río Villalobos y la descarga de drenaje aéreo de Villa Canales; en general se conforma por una serie de lagunas; aerobias, anaerobias y facultativas, desembocando a un refinamiento por medio de (en orden de ubicación) ninfa (*Eichhornia crassipes*), Tul (*Typha latifolia*) y lemna (*Lemna minor*), dicho sistema en conjunto mantiene en almacenamiento un volumen total de 120,155.24 m³. Los porcentajes de remoción monitoreados se ubican sobre el 95% en DQO, 97% para DBO₅, 75% para NT y 26% en el caso de PO₄⁻³.

Finalmente, es importante mencionar que en el presente informe se aborda más adelante lo referente a la utilización de plantas con acción depuradora apoyada por un sustrato en el fondo de lo que se denomina un humedal artificial. Este tipo de sistema no ha sido ampliamente estudiado en Guatemala, y únicamente existe una experiencia en el ramo en la empresa cementos progreso (Rosse, 2013), quienes

en la actualidad operan una estructura de este tipo con buenos resultados iniciales y algunos problemas de colmatación del material filtrante después de diez años de su implementación.

VI. ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUB SUPERFICIAL DE FINCA PAMPOJILÁ

1. Pre tratamiento

1.1. Remoción de sólidos y, Trampa de grasas y mucílago

En el proceso del beneficiado de café se adhieren al agua sólidos de tamaños variables entre 0.2 y 0.5 mm, estos se constituyen por residuos de pulpa de café, así como algunos granos de rechazo, estos son removidos en los canales de circulación hídrica interna del beneficio por medio de tamices de metal, mientras que las grasas y mucílago son removidos por medio de la descarga del agua residual hacia un canal con una capacidad de 100 metros cúbicos, donde esta se retiene durante un día, para permitir que por procesos físicos las grasas y el mucílago restante se separe por densidad, ubicándose en la capa superficial del espejo de agua.

Previo inicio del proceso de beneficiado se inicia la descarga de la trampa de grasas y mucílago por medio de un drenaje ubicado en el fondo del canal, cerrándose el paso hacia el final según la capa superficial observada, con la finalidad de evitar su paso hacia el humedal, puesto que de lo contrario se reduciría la vida útil del mismo. El material orgánico recuperado es dispuesto conjunto la pulpa resultante del proceso de café para su estabilización por medio de compostaje.

2. Humedal artificial

2.1. Primera pila

Este primer apartado del humedal artificial de finca Pampojilá se encuentra impermeabilizado con nylon de 3mm, se compone por dos secciones de roca de origen volcánico que se diferencian una de otra únicamente en el diámetro; la fracción inicial posee piedra de entre 3 y 4 pulgadas, mientras que la consecuente de las medidas entre 2 y 2 ½, este material posee características porosas con el objetivo de favorecer la adición y reproducción poblacional de las colonias bacteriológicas degradadoras de los contaminantes. La entrada al humedal se da por medio de un tubo agujereado de 3" que atraviesa el ancho del lecho filtrante, de tal forma que el caudal se distribuya por la totalidad del área para favorecer un flujo uniforme y lento, y no una corriente continua.

Sobre este material se introdujeron plantas de vetiver (*Vetiveria zizanoides*), eligiéndose esta macrófita debido a su abundante sistema radicular, resistencia a la relativa acidez del agua miel (pH=5) y vigor ante condiciones climáticas adversas. La densidad de siembra inicial fue de 30X30 cms. y se espera realizar una poda

anual de la misma como única medida de mantenimiento, para evitar la muerte de biomasa dentro del sistema y posterior re adición de los nutrientes absorbidos previamente.

2.2. Segunda pila

La segunda sub sección del humedal artificial de finca Pampojilá se estructura de forma similar a la anterior (impermeabilización, 2 granulometrías diferentes, ingreso del afluyente, plantas vetiver), está conformada por materiales de bancos locales de arenisca blanca de entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ pulgadas en la primer sección y el intervalo de 1/16 y 1/32 en la parte más fina. Al final de cada pila se cuenta con un sistema de drenaje tipo sifón que permite la circulación hídrica por rebalse, como resultado de la presión generada en la liberación de la trampa de grasas y mucílago ubicada aproximadamente a 400 metros lineales en contra de la pendiente, en relación al humedal artificial.

2.3. Lagunas aeróbicas

Dos lagunas aeróbicas son utilizadas en esta etapa del proceso, según referencias bibliográficas consultadas estas se recomiendan para aguas residuales que previamente han sido sometidas a tratamiento. El objetivo es degradar la materia orgánica restante a la salida del humedal, por medio de bacterias aeróbicas que durante el proceso de degradación producen agua, fosfatos, dióxido de carbono y otros compuestos. La actividad bacteriana necesita importantes cantidades de oxígeno disuelto que inicialmente es suministrado por la atmosfera, sin embargo la penetración de luz solar en toda la columna favorece la actividad fotosintética de algas que aportan la molécula diatómica al sistema.

2.4. Reutilización

La finalidad de este sistema es no solamente brindar una disposición y/o tratamiento para los vertidos líquidos generados durante el procesamiento del café, sino que de la misma forma hacer un reaprovechamiento de esos recursos hídricos para el riego de las plantaciones aledañas del mismo cultivo. Generando de esta forma un ciclo que no solo reduce los impactos negativos al entorno ambiental sino que garantiza el aprovechamiento máximo del agua, siendo este un bien particularmente preciado en la región.

Ensayos realizados a la fecha, muestran resultados positivos en su aprovechamiento para el fin descrito, puesto que no se divisaron signos de estrés en las plantas en las que se aprovechó y por el contrario mantuvieron su vitalidad.

VII. REFERENCIAS

- SEGEPLAN. (2012). Política Nacional de Gestión Integrada de los Recursos hídricos PNGIRH y de la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (ENGIRH). Guatemala. Gt.
- Laura Lara-Domínguez, John W. Day. Humedales como alternativa para la limpieza de aguas residuales. (En línea). Consultado el 01/03/2013. Disponible en: <http://www1.inecol.edu.mx/costasustentable/esp/pdfs/VOLIII/SECCIONVII/HumedalesComoAlternativaParaLaLimpiezaDeAguasResiduales.pdf> .
- ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Humedal de flujo libre subsuperficial. 2000.
- Osnaya. 2012. Propuesta de diseño de un Humedal Artificial para el tratamiento de aguas residuales en la Universidad de la Sierra Juárez, Tesis. Universidad de la Sierra de Juárez. Oaxaca. Mx.
- Zambrano y Saltos. 2008. Diseño del Sistema de Tratamiento para la depuración de las aguas residuales domésticas de la población de San Eloy en la provincia de Manabí por medio de un sistema de tratamiento natural compuesto por un humedal artificial de flujo libre, Tesis. Escuela Politécnica Nacional. Guayaquil. Ec.
- Rosse. 2013. Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales (Ponencia). Asociación nacional del Café (ANACAFE). Guatemala. Gt.
- Primer Taller de fitorremediación utilizando plantas acuáticas. 2013. Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca del Lago de Atitlán (AMSA). Guatemala, Gt.
- Carlos A. Arias I., Hans Brix. (2003). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.