

**GESTIÓN AMBIENTAL PARA LOS SUBPRODUCTOS DERIVADOS DE UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL JARDÍN
BOTÁNICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA Y
COMPARACIÓN CON SISTEMAS SIMILARES EN SAN ANDRÉS ISLA.**

**EDER ANDRES RODRIGUEZ COTUA
09812119**

Trabajo de grado presentado para optar al título de INGENIERO AMBIENTAL

DIRIGIDO POR:

PETTER DAVID LOWY CERON

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE CARIBE
SAN ANDRES ISLA, 2008**

**GESTIÓN AMBIENTAL PARA LOS SUBPRODUCTOS DERIVADOS DE UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL JARDÍN
BOTÁNICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA Y
COMPARACIÓN CON SISTEMAS SIMILARES EN SAN ANDRÉS ISLA.**

INFORME FINAL

**PRESENTADO POR:
EDER ANDRÉS RODRÍGUEZ COTUÁ**

**DIRECTOR:
PETTER DAVID LOWY CERÓN**

**ASIGNATURA
TRABAJO DE GRADO-PASANTIA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE CARIBE
2008**

GESTIÓN AMBIENTAL PARA LOS SUBPRODUCTOS DERIVADOS DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL JARDÍN BOTÁNICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA Y COMPARACIÓN CON SISTEMAS SIMILARES EN SAN ANDRÉS ISLA.

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT FOR BYPRODUCTS DERIVED FROM A PLANT OF WASTEWATER TREATMENT IN THE BOTANICAL GARDENS OF THE NATIONAL UNIVERSITY OF COLOMBIA AND COMPARISON WITH SIMILAR SYSTEMS IN SAN ANDRES ISLAND.

RESUMEN: Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) han sido diseñados para el control de la contaminación de las aguas residuales domesticas e industriales. Estas generan algunos subproductos que pueden ser reciclados al ambiente. El Jardín Botánico de la Universidad Nacional de Colombia ubicado en la isla de San Andrés (Caribe Colombiano), esta instalando una PTAR de lodos activados la cual producirá lodos biológicos y aguas tratadas. Como parte de la asignatura trabajo de grado se realizo una pasantita con el fin de gestionar ambientalmente los subproductos de la PTAR dejando un protocolo donde estén los pasos para su aprovechamiento en actividades de mantenimiento de la colección viva del Jardín Botánico apoyado en un diagnostico en sistemas análogos operando en la isla y de modelación matemática del proceso biológico.

SUMMARY: The plants wastewater treatment (called PTAR in Colombia) has been designed to control the pollution of domestic and industrial wastewater. These generate byproducts that can be recycled in the environment. The Botanical Garden at the National University of Colombia located on San Andres Island, in the Colombian's Caribbean. It's installing an activated sludge PTAR which produces biological sludge and treated wastewater. As part of work degree's course. it realized a practice to manage these byproducts environmentally from the PTAR leaving a protocol with steps to use its activities to keeping alive the collection of the Botanical Garden supported on diagnostics of similar systems operating in the island and mathematical modeling of biological process too.

PALABRAS CLAVE: Tratamientos biológicos, aguas residuales, modelación matemática, jardín botánico, gestión ambiental.

KEYWORDS: Treatments biological wastewater, mathematical modeling, botanical garden, Environmental Management.

FIRMA DEL DIRECTOR: _____

EDER ANDRÉS RODRÍGUEZ COTUA – 1982

CONTENIDO

	PAG.
1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETIVO	6
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3. MARCO CONCEPTUAL	7
3.1 SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS	7
3.2 HOMOGENIZACIÓN	9
3.3 ACONDICIONAMIENTO / ESTABILIZADO	9
3.4 LECHO DE SECADO	9
3.5 COMPOSTAJE	9
3.6 APLICACIÓN AL TERRENO DE LODOS	9
3.7 NORMATIVIDAD	10
3.7.1 NORMATIVIDAD NACIONAL	10
3.7.2 NORMATIVIDAD LOCAL	13
3.8 DIAGNOSTICO DEL ÁREA DE ESTUDIO	13
3.9 DIAGNOSTICO DE PTAR-COMPACTA INSTALADA EN EL JARDIN BOTANICO.	14
4. METODOLOGIA PROPUESTA	17
5. RESULTADOS Y ANALISIS	19
5.1 RESULTADOS PRACTICA DE CAMPO HOTEL OCEAN	19
5.2 MODELACIÓN DE LA PTAR DEL JARDÍN BOTÁNICO	24
5.2.1 GESTIÓN INTEGRAL PARA LA PLANTA Y SUS SUBPRODUCTOS	24
5.2.2 GESTIÓN DE EFLUENTE LÍQUIDO DE PTAR	26
6. RECOMENDACIONES	28
7. CONCLUSIONES	29
8. BIBLIOGRAFIA	30
9. ANEXOS	31

1. INTRODUCCIÓN

Las plantas de tratamientos de aguas residuales (PTAR), son sistemas diseñados para controlar y disminuir la contaminación de aguas residuales domésticas e industriales. Estos sistemas generan dos subproductos aprovechables en el proceso de depuración de las aguas residuales a saber: el efluente líquido (agua residual tratada) y los biosólidos (lodos). Estos han sido aprovechados en agricultura, recursos forestales y de manera indirecta en la preservación y el ahorro del recurso agua; aunque la mala aplicación de estos al terreno puede tener consecuencias adversas en el suelo, agua y/o aire. Por otro lado los recursos naturales en regiones insulares son escasos y el mal uso de estos en diferentes actividades antropicas va en aumento afectando diferentes ecosistemas y recursos naturales.

En el presente informe se expone la metodología, los avances y los resultados para la búsqueda de alternativas en el manejo de los productos de una PTAR tipo compacta marca ECOPAC en fase de construcción, ubicada en el Jardín Botánico de la Universidad Nacional de Colombia en la isla de San Andrés. Este es un sistema aerobio con lecho fijo adaptado para funcionar como una planta de lodos activados que alcanza altas remociones de DBO_5 del orden del 90% y a la cual se conectan los diferentes drenajes de áreas del jardín tales como baños, laboratorios, cafeterías, etc. Será necesario realizar un análisis en campo del funcionamiento de plantas análogas operando en la isla, para comparar, modelar y posteriormente diseñar un protocolo para el reciclaje de los subproductos generados por la PTAR del Jardín Botánico de manera sostenible, donde queden determinados con el soporte de conocimientos de la ingeniería ambiental, los pasos a seguir cuando esta se encuentre en funcionamiento. De esta manera se contribuye al desarrollo sostenible y al mantenimiento ambiental de la reserva de biosfera Sea Flower. Con lo anterior se busca cumplir con la asignatura trabajo de grado en la modalidad pasantía mediante el desarrollo de conocimiento práctico en el Jardín Botánico donde se retroalimente la formación académica adquirida y de esta manera dar por terminado el plan de estudios del programa Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia sede Caribe.

2. OBJETIVO:

Diseñar un sistema integral de gestión para los subproductos de una PTAR tipo compacta en el Jardín Botánico de la Universidad Nacional de Colombia y comparar con sistemas similares en San Andrés Isla.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer la normatividad, las analogías y los parámetros a controlar para la implementación del sistema de gestión de los subproductos de la PTAR del Jardín Botánico.
- Plantear alternativas para el manejo sostenible de los subproductos de la PTAR en el Jardín Botánico.
- Realizar un diagnóstico de las condiciones físicas del Jardín Botánico y de la calidad de aguas residuales provenientes de los diferentes usos en el Jardín Botánico, para entrever los posibles usos de los productos que podrían generarse en la PTAR.
- Diseñar un sistema integral de tratamiento de aguas residuales a partir de los parámetros de uso y las condiciones físico-espaciales del jardín botánico.
- Diseñar un sistema de gestión para los productos generados (biosólidos y efluente líquido) en la PTAR.
- Realizar un análisis de viabilidad del rehúso o aprovechamiento de los productos de la PTAR.
- Comparar el sistema instalado en el jardín botánico con otros sistemas análogos que se encuentren operando en la isla de San Andrés.

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1 SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS: son sistemas biológicos comúnmente utilizados como tratamientos secundarios en las plantas de tratamiento de aguas residuales tanto urbanas como industriales, donde una mezcla de agua residual y lodos biológicos es agitada y aireada. Estos sistemas funcionan en base a una suspensión homogénea de microorganismos que biodegradan la materia orgánica del agua residual y las condiciones en la cuales ellos realizan dicha degradación.

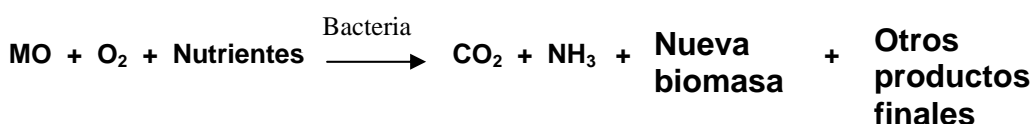


Figura No.1 Productos de la biodegradación aerobia.

Estos sistemas poseen un tanque de aireación y sedimentador secundario; además una característica distintiva de estos sistemas es la recirculación del lodo activo en el fondo del sedimentador secundario hacia el tanque de aireación (figura No.2).

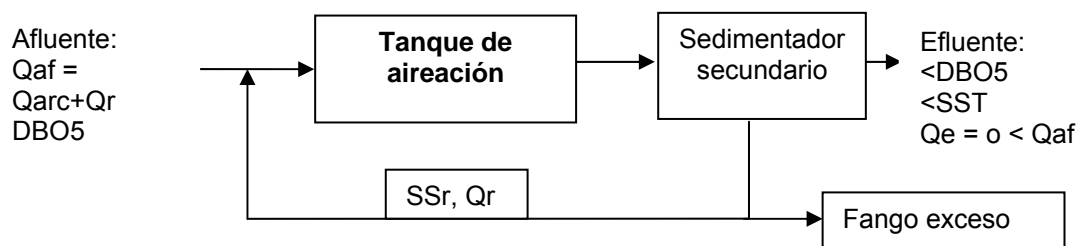


Figura No.2 Esquema del proceso convencional de lodos activados.

NOTA: Para sistemas de lodos activados la remoción debe estar entre el 85 y 95% (RAS 2000, ver numeral 4.2).

ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL): este es un parámetro de decantación de lodos. Con este se controla la recirculación de lodo del sedimentador al tanque de aireación. Un fango tiene buena características de sedimentación si tiene IVL 80-120, o SSLM de 2000-3500 mg/l.

$$\text{IVL} = \frac{\text{SV}}{\text{SSLM}} * 1000$$

Donde:

SV: volumen de sólidos decantados en un cilindro de un litro durante 30 minutos [ml/l], se toma muestra en canal de salida del tanque de aireación.

SSLM: sólidos suspendidos totales de líquido mezcla o SST en el interior del tanque de aireación [mg/l], se toma muestra análogamente a la SV para determinar el IVL.

Ventajas	Desventajas
- Baja generación de olores molestos.	- Requiere infraestructura adicional de sedimentación.
- Es un sistema que permite controlar diferentes calidades del afluente.	- Mayores costos operativos por el requerimiento de energía para suministrar oxígeno.
- Las variables de operación son conocidas y controlables.	- Se genera un alto volumen de lodos que requieren un adecuado manejo y disposición.
- Requieren áreas moderadamente pequeñas.	- Requiere profesional especializado para operación

Tabla No.1 Ventajas y desventajas de los sistemas de lodos activados.

RELACIÓN F/M (alimento-microorganismo): es el parámetro de mayor interés en el diseño y operación de sistemas de lodos activados. Este es un parámetro de equilibrio entre el sustrato y la biomasa. Además esta relación define el sistema de lodos activados [1]:

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (Θ): tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento de aguas residuales. Usualmente se expresa como la razón entre el volumen y el caudal útil. (RAS sección II título E).

SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN (SST): son el material retenido sobre un filtro estándar después de la filtración de una muestra bien mezclada de agua. Estos sólidos son secados a 103 - 105 °C.

SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (TDS): son el material que pasa a través de un filtro (de fibra de vidrio o millipore) y que quedan después de la evaporación y secado a peso constante a 180 +/-2 °C.

IVL: es un importante parámetro de operación del reactor, y de diseño del sedimentador secundario. Este es igual a la relación entre el volumen asentado en un litro de licor mixto durante 30 minutos y los sólidos suspendidos totales en el reactor. Este además mide la asentabilidad de los lodos [12].

3.2 HOMOGENIZACIÓN: proceso que como su nombre lo indica homogeniza o equilibra los parámetros que llegan a una PTAR (modificado de Kiely, 1999). Esta

puede incluir uno o varias de las siguientes: homogenización de caudal, homogenización de carga orgánica, equilibrio de nutrientes y equilibrio de pH.

3.3 ACONDICIONAMIENTO / ESTABILIZADO: el acondicionamiento y la estabilización química hace referencia al mecanismo por el cual se mejora la eficiencia del espesado, deshidratado y reducción de patógenos con adición de productos inorgánicos como la cal; de tal manera que se eleve el pH (>12 unidades) para reducir la población bacteriana añadiendo esta a razón de 100Kg/ tonelada de sólidos secos [1]. También puede lograrse el estabilizado por medio de radiación solar, compostaje de los biosólidos entre otras.

3.4 LECHO DE SECADO: Los sistemas de espesado por gravedad (lecho de secado), son lechos de arena en el exterior donde la humedad del lodo es extraída por dos mecanismos: *evaporación*, permitida por una superficie al aire libre y *gravedad* donde el filtrado decanta por un lecho de arena y posteriormente drena. Se pueden tener al final lodos con 60-80% de humedad con tiempos de retención de 10-15 días [1]. Los requerimientos de lechos de secado están en el orden de 0.14 – 0.28 m²/habitante [12].

Desventajas	Ventajas
Fácil construcción	Necesidad de mano de obra para retiro de lodo
Mano de obra no especializada	Olores
Bajo costo de inversión	Necesidad de terreno
Poco y fácil mantenimiento	

Tabla No.2 ventajas y desventajas de los lechos de secado.

3.5 COMPOSTAJE: es un proceso biológico exotérmico de conversión de la materia orgánica presente en los residuos hacia formas más estables como el humus, la cual es realizada por microorganismos como bacterias, hongos y actinomicetos que requieren de ciertas condiciones ambientales controladas que faciliten el incremento de la temperatura (usualmente entre 55 - 60 °C) para la destrucción de patógenos.

El objetivo del compostaje será la disminución de los requerimientos de transporte y área para la disposición final de los lodos; ya que la reducción en peso de pilas de biosólidos está alrededor del 70% (Patricia Torres et al, 2007). Los principales beneficios del uso de compostaje de biosólidos están relacionados con su utilidad para reducir la movilidad de metales pesados, favorece el crecimiento de plantas y es acondicionador de suelos [5].

3.6 APLICACIÓN AL TERRENO DE LODOS: la aplicación de lodo al terreno es una técnica muy habitual de eliminar lodo, de bajo costo y sencillo de realizar proporcionando al terreno materia orgánica y algunos nutrientes para las plantas; aunque actualmente en algunos países como los que conforman la comunidad europea se están promoviendo considerables restricciones para su aplicación.

Las características del suelo determinan la aceptabilidad de un área particular como receptora de lodo. Los suelos favorables tienen altas velocidades de infiltración y percolación, proporcionan elevada capacidad de retener agua y nutrientes, poseen buen drenaje y aireación, y son neutros o alcalinos [1].

La tasa de aplicación de lodos a terrenos agrícolas depende mucho de las condiciones meteorológicas; pero generalmente se acostumbra aplicar entre 250 toneladas de sólidos secos/ha/año [12]. El contenido de fósforo disponible encontrado en lodos (210-795 ppm) es mayor que el encontrado en los suelos (>21ppm). De la misma manera el potasio ha presentado niveles altos (0.7-12meq/100g) con respecto al suelo (>0.6meq/100g). Los contenidos de nitrógeno total son altos (0.44-3.84%). Sin embargo, como sucede con muchos abonos orgánicos, el nitrógeno se encuentra en formas orgánicas e inorgánicas que sólo quedan disponibles a las plantas en pequeñas concentraciones. La disponibilidad del nitrógeno por tonelada de lodo es muy baja, en promedio en los lodos de este estudio es de 3.82 kg de N_{disponible}/ton [11]. La CIC junto con la materia orgánica (MO), son indicadores de la capacidad nutrimental de un suelo, entre más altos sean los valores un suelo tendrá una reserva de nutrimentos más alto lo que contribuye a incrementar la fertilidad. Además la MO controla la toxicidad de los metales pesados, formando quelatos, estos compuestos formados son estables y el exceso de los metales de ser elementos tóxicos se constituyen en una fuente de energía potencial [11].

3.7 NORMALIDAD

3.7.1 NORMALIDAD NACIONAL

Para el desarrollo de la gestión ambiental de los subproductos es de real importancia conocer la normativa asociada al objeto de la pasantía; de tal manera que el proyecto tenga validez ante las autoridades ambientales que regulan este tipo de actividades de aprovechamiento de residuos.

- *Resolución 1096 de 2000 (RAS 2000)*. Ministerio de desarrollo económico. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS: Señala los requisitos técnicos que debe tener los diseños, obras y procedimientos correspondientes al sector de agua potable y saneamiento básico y sus actividades complementarias. En su título II describe los requisitos técnicos para los sistemas de tratamiento de las aguas residuales.

Algunas consideraciones importantes están relacionadas con mantener remociones del 80% para DBO, DQO y SST en plantas de lodos activados como mínimo (Artículo 164).

Para todos los niveles de complejidad debe contemplarse el tratamiento de lodos en su sistema de tratamiento de aguas residuales y para este manejo se debe

realizar un plan de control de olores y vectores. Además debe realizarse una caracterización de los lodos mediante determinación de sólidos totales, nitrógeno total Kjeldhal fósforo y metales (Artículo 176).

Parámetros mínimos de monitoreo según RAS (Nivel de complejidad bajo < 2500 habitantes)	Tipos de muestras que pueden ser tomadas en campo
<ul style="list-style-type: none"> ⊖ pH, oxígeno disuelto y temperatura (muestra instantánea). ⊖ pH, DBO5, DQO, Nitrógeno total, Fósforo total, oxígeno disuelto y SST (muestra compuesta). 	<ul style="list-style-type: none"> ⊖ Muestra instantánea: muestra tomada al azar (in situ) en un momento determinado para su análisis. ⊖ Muestra compuesta: Integración de muestras puntuales tomadas a intervalos programados y por periodos determinados preparadas a partir de mezclas de volúmenes de agua iguales o proporcionales al flujo durante el periodo de toma de muestra.

Tabla No.3 Parámetros mínimos de monitoreo y tipos de muestras tomadas en campo (RAS 2000).

- *Decreto 1753 de 1994.* licencias ambientales. Artículo 8, numeral 16. No requiere de Licencia Ambiental por parte de la corporación autónoma regional la recolección y manejo de residuos reciclables no tóxicos o no peligrosos destinados a reciclaje.
- *Decreto ley 2811 de 1974.* Código de los Recursos Naturales: el presente Código regula:
 - a) El manejo de los recursos naturales renovables: (ej. Las aguas en cualquiera de sus estados, la tierra, el suelo y el subsuelo, la flora, etc).
 - b) La defensa del ambiente y de los recursos naturales renovables contra la acción nociva de fenómenos naturales;
 - c) Los demás elementos y factores que conforman el ambiente o influyan en él, denominados en este Código elementos ambientales (ej. residuos, basuras, desechos y desperdicios).

- *Decreto 1594/84*: en el Artículo 40 se presentan los criterios admisibles para la destinación del recurso hídrico para uso agrícola. Algunos los criterios se muestran en la siguiente tabla:

Referencia	Valor [mg/litro]
Aluminio	5.0
Arsénico	0.1
Cadmio	0.01
Cinc	2.0
Cobalto	0.05
Cobre	0.2
Cromo	0.1
Hierro	5.0
Manganeso	0.2
Molibdeno	0.01
Níquel	0.2
pH	4.5-9.0 unidades
Plomo	5.0
boro	0.3-4
coniformes totales ¹	<5000 NMP
coniformes fecales ¹	<1000 NMP

Tabla No.4 Concentraciones permisibles para la destinación del agua a agricultura.

- *Resolución No. 2309 de 1986*: en el artículo 4, nombra los residuos especiales (patógenos o infectocontagioso) en la cual podría encontrarse los lodos de PTAR's. En el artículo 52 se describe lo referente a tratamiento para la posterior disposición.
- *LEY 9 de 1979*: Por la cual se dictan medidas sanitarias: establece las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que se relaciona a la salud humana. También establece los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de las descargas de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones del ambiente.

Artículo 12: Toda edificación fuera del radio de acción del sistema de alcantarillado público, deberá dotarse de un sistema de alcantarillado particular o de otro sistema adecuado de disposiciones de residuos.

Artículo 31: Quienes produzcan basuras con características especiales, en los términos que señale el Ministerio de Salud, serán responsables de su recolección, transporte y disposición final.

¹ Para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto.

3.7.2 NORMATIVIDAD LOCAL

Las restricciones por parte de la corporación autónoma regional CORALINA como principal entidad de control ambiental de la isla según funcionarios encargados, están básicamente asociadas con lograr remociones del 80% de DBO5 y SST en las PTAR como mínimo. En cuanto al manejo de los productos generados en el proceso se deben tener en cuenta:

- ♦ Presentación de un plan de manejo para el manejo de lodos que garantice un impacto mínimo al entorno en el que se lleva a cabo el proceso de estabilizado y en el terreno que se aplicara los lodos en caso de disposición al terreno.
- ♦ Para el efluente liquido la restricción esta en cumplir con lo establecido en el decreto 1594/84.
- ♦ Debe contemplarse las restricciones del plan de manejo de aguas subterráneas (PMAS) en caso de alguna eventualidad de vertimiento puntual.

3.8 DIAGNOSTICO DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El Jardín Botánico con una extensión de 8 hectáreas, está localizado en San Andrés Isla, Caribe colombiano donde predominan los vientos alisios del este-norte (EN) y este-noreste (ENE), con velocidades mensuales promedio entre 4 m/s (mayo, septiembre-octubre) y 7 m/s (diciembre-enero, julio). La isla cuenta con un clima calido seco, temperatura promedio anual del aire de 27.4°C. La precipitación total media anual de 1900mm con una época seca (febrero-abril) con una precipitación media mensual inferior a 50 mm y una época lluviosa con precipitación media mensual superior a los 150 mm. En San Andrés la humedad relativa anual es del 81% [7].

El Jardín Botánico cuenta además con una serie de zonas donde se expone la colección viva (plantas) representadas en ecosistemas de manglar, plantas ornamentales, plantas de costa marina, plantas medicinales, cítricos, entre otros. Su infraestructura con relación a producción de aguas residuales será un laboratorio, cinco baños, dos cafeterías y algunas infiltraciones externas en la red de saneamiento (Ej. lluvia). El Jardín se abastece de agua comercializada y actualmente de aguas subterráneas para su consumo funcional (riego de la colección viva) y administrativo.

Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en su estudio detallado de suelos se encuentran en estas zonas suelos de familia francosa fina (pendiente 25-50%) y muy fina mezclada (pendiente 12-25%). Las características de estos suelos son buen drenaje, moderada profundidad, texturas medias y moderadamente finas, media a alta retención de humedad, medianamente alcalinos, alta concentración de carbonatos, alta concentración de bases intercambiables y fertilidad alta [6]. Además la clasificación según el *estudio de suelos y cimentación para el Jardín Botánico* realizado por Pedro Gonzáles Sánchez, Ingeniero Civil de la Universidad Nacional

de Colombia, los suelos están representados por suelos de textura limo arenosa de origen sedimentario marino con alto contenido de calcio en la parte alta del terreno y suelo de textura arcillosa en la parte baja. La figura No. 3 muestra la clasificación encontrada en este estudio.

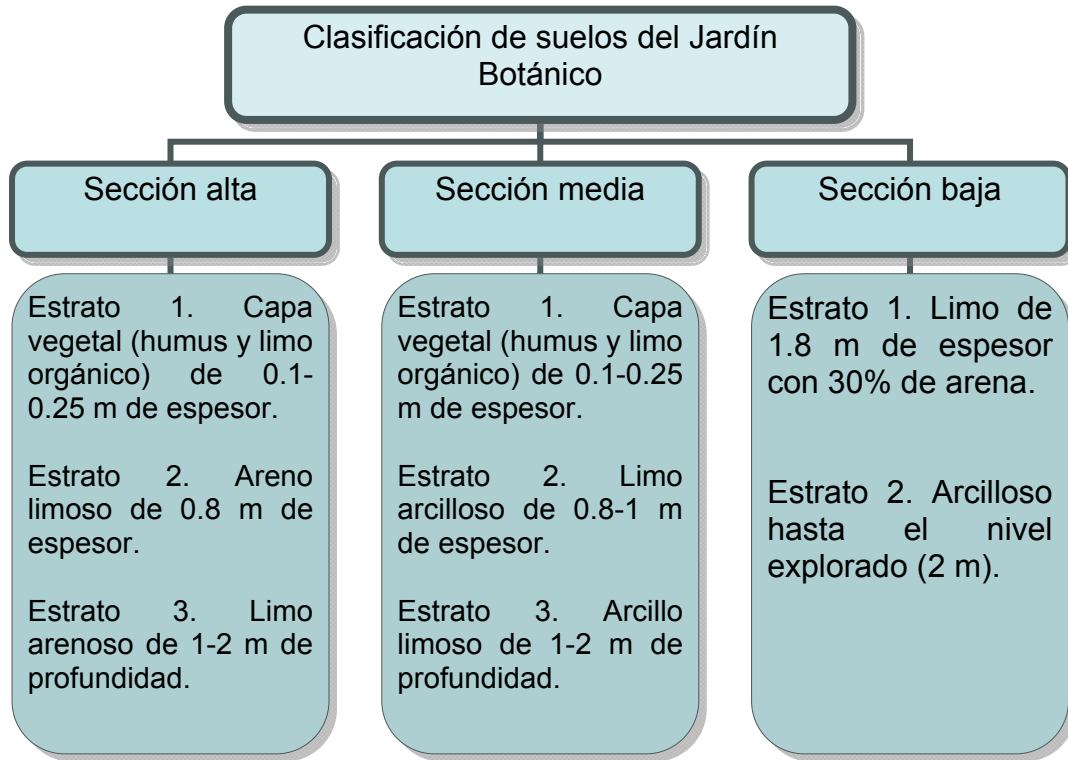


Figura No.3 Clasificación de suelos del Jardín Botánico.

Nota: hay que destacar que del estudio anterior hasta el nivel de exploración (2 m) no se encontró nivel freático.

3.9 DIAGNOSTICO DE PTAR-COMPACTA INSTALADA EN EL JARDIN BOTANICO.

La PTAR se encuentra localizada en una zona baja del jardín para aprovechar las pendientes predominantes para la conducción de las aguas residuales a la planta. Las líneas de conducción de las aguas residuales del jardín se conectan a la PTAR; la cual cuenta con elementos tales como un tanque de aireación o sistema ECOPAC modelo Ep 15, un sedimentador secundario de cámara doble que recibe el efluente tratado en el tanque de aireación. Este último en la segunda cámara (almacenamiento) recibe el efluente del primer cámara del sedimentador que cuenta con su respectiva caseta en la cual va instalado el sistema de bombeo para retornar las aguas ya tratadas bien sea a los baños o si las condiciones son apropiadas al sistema de riego. Otros elementos encontrados la planta son: lecho fijo, canastilla de retención de sólidos, etc.

Especificaciones técnicas del sistema ECOPAC Ep15.
Largo Ancho y Alto: 2.52 m X 1.6 m X 1.6 m respectivamente. Capacidad: 3.2 m ³ /día Volumen: 3 m ³ Carga orgánica: 1.8 lbDBO5/día Aireación: 6 lbO2/día Amperios requeridos: 110V/10A

Tabla No. 5 Especificaciones técnicas del fabricante del sistema ECOPAC Ep15.

Según Ricardo Espinal, asesor técnico de TECO. LTDA empresa distribuidora de los sistemas ECOPAC, mediante comunicación personal (vía e-mail) el sistema es lodos activados de flujo constante con aireación extendida en el interior del sistema y lecho fijo. Recomienda extraer o purgar el lodo por la tubería ubicada al fondo del reactor aproximadamente cada seis meses o cuando empiezan a observarse flóculos flotando en la superficie libre del reactor.



Foto 1. Sistema ECOPAC doble cámara en superficie. Fuente TECO.LTDA.

Todo el ciclo de tratamiento se da en un solo tanque (desbaste, aireación, sedimentación y descarga).

Los sistemas ECOPAC generalmente van instalados en superficie según las muestras en la página Web del fabricante.

Debido a que la finalización de la instalación y puesta en marcha de la planta se vio afectada por la influencia de las lluvias posponiendo su funcionamiento normal, se hace necesario un análisis de plantas de lodos activos en operación en la isla, con el fin de mirar analogías que puedan ser retomadas para el manejo de la PTAR-ECOPAC en el jardín botánico.



Foto 2. PTAR compacta ECOPAC del Jardín Botánico UNAL.



Foto 3. Placas de filtro biológico ECOPAC.



Foto 4. Instalación red de saneamiento.



Foto 5. Instalación tubería red de saneamiento a nueva infraestructura.

Se realizó una visita a las instalaciones del Hotel Ocean y Caribe Campo ubicados en zona rural (barrio San Luís). Estos sistemas se diferencian del sistema instalado en el jardín botánico en que están parcialmente enterrados y por otro lado poseen un tanque de homogenización, donde se controlan parámetros como el caudal o la carga orgánica. Además se realizó una jornada de aforo en el hotel Sol Caribe Campo donde se coordinó y se observaron las características de operación del sistema de lodos activado tipo flujo a pistón² y se observó la gran dependencia de estos sistemas al operador de la planta observación que también se presentó en el Hotel Ocean. En los dos hoteles se presentan en temporadas altas de turismo rebose de aguas residuales en los tanques de homogenización por el bombeo excesivo de aguas residuales hacia estos depósitos.

² Tipo de sistema de lodo activado convencional que opera similar al recorrido de un pistón en un motor en un tanque longitudinal.



Foto 7. Planta de lodos activados en el Hotel Sol Caribe Campo.



Foto 8. Lecho de secado en Hotel Sol Caribe Campo.

4. METODOLOGÍA PROPUESTA

Para alcanzar los objetivos de la pasantía se utilizó la siguiente metodología:

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA: Se consultó información pertinente sobre sistema de lodos activados para tener un conocimiento de este tipo de sistemas. Se realizó una caracterización general del área de estudio (localización y características climáticas locales), normatividad y restricciones para el manejo de los subproductos de la PTAR-ECOPAC a tratar para lo cual será necesario revisar las restricciones a nivel nacional y local.

ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL: Se realizó un análisis espacial teniendo en cuenta los planos del Jardín Botánico, para observar pendientes predominantes, terreno de ubicación de la PTAR y localización de las infraestructuras generales del jardín en planta. Se realizó una observación en campo para reconocimiento del área de estudio e inspección de la instalación de la PTAR. Además se realizó un diagnóstico de los sistemas de lodos activados en la isla de San Andrés.

FASE DE CAMPO: Se realizará una práctica para la determinación de la producción de lodos en el HOTEL OCEAN ubicado en el barrio San Luis, para estimar y/o retroalimentar el protocolo que será entregado al Jardín Botánico.

El método empleado para el muestreo de campo fue:

1. A partir de algoritmos para el cálculo de la producción se buscan las variables a analizar que para el caso serán: Q, DBO y SST.
2. Se determinó día y jornada de trabajo que abarcara los periodos representativos de flujo de agua residual en la PTAR. Se determinó una jornada de 7:00 AM – 5:00 PM por dos días.
3. Se determinó el muestreo que se realizaría (muestreo instantáneo o compuesto) prefiriendo un muestreo instantáneo por las condiciones de flujo

de agua. En campo se tuvo muestreo instantáneo para la jornada de muestreo.

4. Hacer una lista para equipos y reactivos a utilizar. Los equipos y reactivos para la determinación de los parámetros físico-químicos in situ y ex situ son:

- ♦ Igloo o nevera portátil
- ♦ Botella muestreadora
- ♦ Guantes para lavar
- ♦ Balde graduado
- ♦ Probeta de 1 litro
- ♦ Vaso lavador
- ♦ Sonda multiparametro WTW, multi 350i
- ♦ 2 Tubos PVC o varas de madera de 1.5m
- ♦ Hielo
- ♦ Bolsas plásticas
- ♦ 3 Tarros de plástico
- ♦ Otros equipos mencionados en el Anexo 1

5. En campo se midieron cada hora parámetros (oxígeno disuelto, pH, temperatura y sólidos disueltos totales) con sonda multiparametros WTW 350i que era bajada a través de un tubo de PVC hasta 60 y 100 cm de profundidad. Empezando la medición a partir de las 7:00 AM.

6. Cada media hora se aforo con método volumétrico con un balde pequeño graduado hasta 3 litros, que permitiera la medida a la entrada del tanque de aireación, tomando el tiempo en que se llenaba un volumen indefinido. De esta manera se hacían dos lecturas, una del volumen llenado y otra del tiempo transcurrido en el llenado. El balde fue graduado cada 500 ml a partir de una probeta de un litro.

7. Se tomaron muestras instantáneas a la entrada y a la salida. Análogamente se midieron sólidos suspendidos en el tanque de aireación con una jeringa de 20 ml y manguera adaptable para extender hasta llegar a una profundidad de 60 cm. Seguidamente se llenan las botellas de vidrio de tal manera que no se produzca turbulencia y se llena hasta el rebose para que no quedaran burbujas de aire al tapar la botella. Se marcaba inmediatamente con un número índice en una cinta adhesiva para describir que tipo de muestra era. Los números impares eran tomados a la entrada y los pares a la salida. Luego se almacenaba en el igloo con hielo cerrando la nevera al instante.

Nota: tanto los parámetros medidos por la sonda, como la muestra de SST fueron tomados en las dos aberturas del tanque de aireación.

8. Luego de tomadas las muestras y cumplida la jornada se llevaron las muestras a una nevera si era posible o se mantenían con hielo en el igloo para mantenerlas a una temperatura de 4⁰C. Las muestras debían ser

almacenadas por 24 horas máximo para la prueba de DBO y hasta 7 días para SST.

DISEÑO DEL PROTOCOLO PARA MANEJO DE SUBPRODUCTOS GENERADOS EN LA PTAR DEL JARDÍN BOTÁNICO: A partir de antecedentes y conocimiento adquirido se plantea un modelo alternativo para la gestión o plan de manejo para los subproductos de la PTAR compacta del Jardín Botánico. Además se plantea un protocolo para manejo de subproductos mediante determinación de las características, las ecuaciones descriptivas y los criterios de diseño del sistema de lodos activados; el cual puede ser programado en una hoja de cálculo (Excel) para estimar la cantidad de sólidos a tratar y por ende los requerimientos de espacio para infraestructura de tratamiento.

Se Realizo un análisis de los posibles Impactos ambientales y viabilidad del rehúso o aprovechamiento de los productos de la PTAR compacta (ECOPAC) con el fin de retroalimentar la propuesta de manejo de los subproductos generados por la PTAR. Además teniendo en cuenta el diagnostico a otras instalaciones de lodos activados y apoyado en un modelación matemática se diseña un sencillo manual para el futuro operador y se dan recomendaciones para el jardín.

5. RESULTADOS Y ANALISIS

5.1 RESULTADOS PRACTICA DE CAMPO HOTEL OCEAN.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el muestreo en campo realizado en las instalaciones del HOTEL OCEAN. El hotel cuenta con 44 habitaciones y una PTAR tipo compacta marca ECOPAC, donde se muestrearon algunos parámetros físico-químicos tales como: caudal, pH, temperatura, oxígeno disuelto y sólidos disueltos totales. La PTAR del hotel esta conformada por un tanque de homogenización (1), un tanque de aireación (2), un sedimentador secundario (3), un tanque de almacenamiento (4), una bomba centrífuga para el filtro de arena (5), un filtro de arena (6) y algunos accesorios que se muestran a continuación.

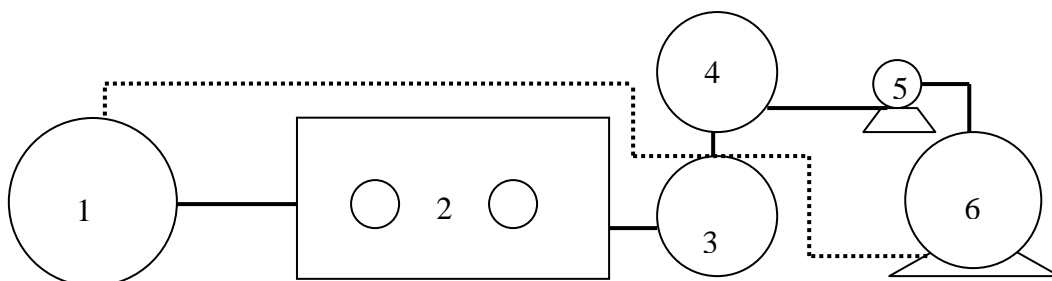
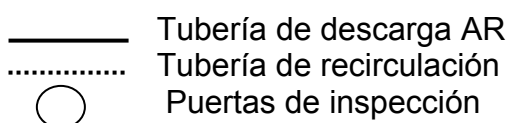


Figura No.4 Esquema de PTAR HOTEL OCEAN, vista en planta no a escala.



El primer muestreo se llevo a cabo el día 27 de noviembre y el segundo el 2 de diciembre (2007), coordinando con los administrativos del hotel los días en los cuales hubiera alta producción de agua residual, para tener un flujo lo mas constante durante la jornada de muestreo. Este se realizo a finales de la época lluviosa e inicio de la temporada alta de turismo en la isla. La jornada de muestreo fue de 10 horas empezando a las 7:00 AM.

En las figuras No.12 y 13 correspondientes al primer día de muestreo con una ocupación aproximada del 40% de las habitaciones, se observan valores de sólidos disueltos totales (TDS) en el rango de 1320-1390 mg/l, oxigeno disuelto(OD) entre 35 y 60 % equivalente a 4.4 y 3 mg/litro³. Se presento una variación en los parámetros de OD y TDS con la entrada de un caudal en la planta a las 10 horas se expresa en cambio abrupto con respecto a las horas anteriores. El valor medio de este caudal que entro fue de 0.27 l/s, desde las 13-16 horas La temperatura media del agua residual en el tanque de aireación fue de 32.4⁰C para el muestreo en general y fue más o menos constante en el tiempo con una variación estándar de 0.8.

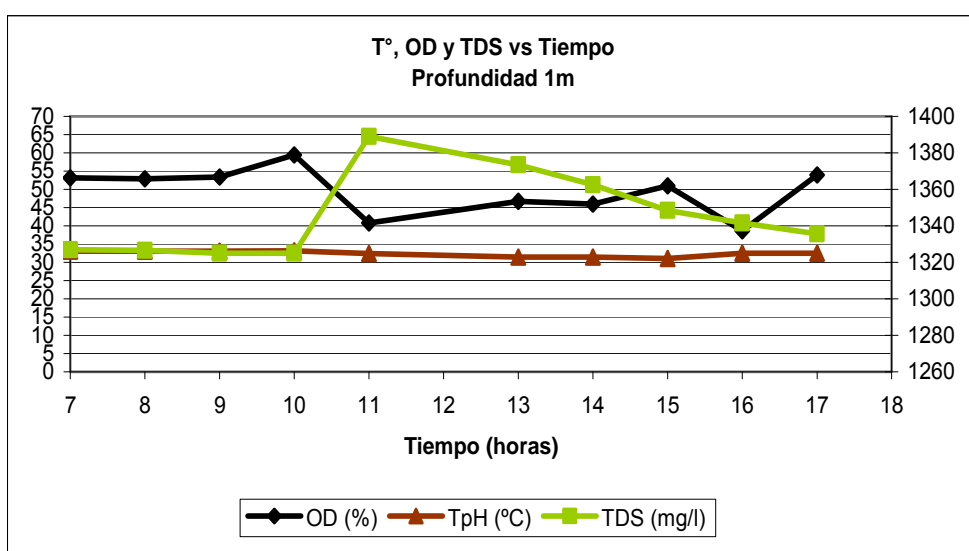


Figura No. 5 Parámetros físico-químicos para el primer día de muestreo, PTAR Hotel Ocean. Noviembre 27 del 2007.

³ La relación entre unidades de oxigeno disuelto expresada en % y mg/l es de 14.2. Para hallar el valor en mg/l de un porcentaje de saturación dado dividida por 14.2.

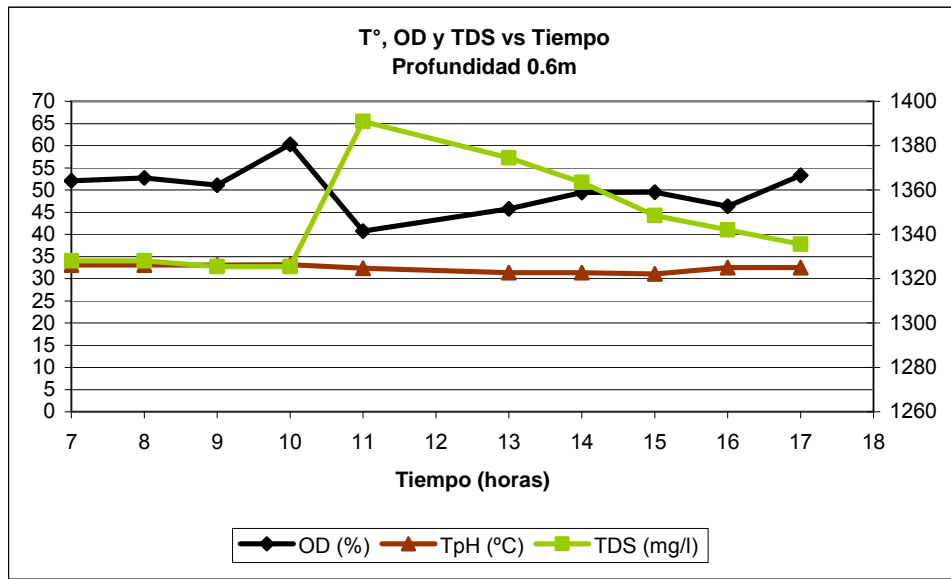


Figura No. 6 Parámetros físico-químicos para el primer día de muestreo, PTAR Hotel Ocean. Noviembre 27 del 2007.

Los valores de pH (figura No.7) están entre 7.8-7.3 unidades. Aunque valores menores de 8 pueden presentar cambios del sulfuro a sulfuro de hidrogeno gaseoso ocasionando malos olores (RAS2000) no fueron detectados en el momento de muestreo pero debe procurarse evitarse la operación de la PTAR con condiciones de este tipo. Posiblemente el no percibir condiciones olorosas puede estar asociado a las bajas cargas de material orgánico que por recirculación de las aguas retornaba a la PTAR en el muestreo.

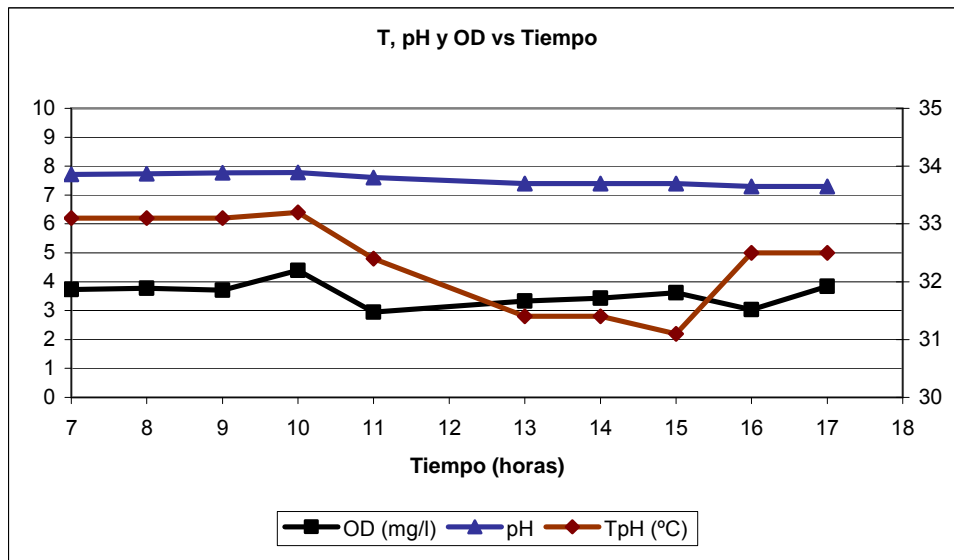


Figura No. 7 pH y otros parámetros físico-químicos obtenidos en la PTAR del Hotel OCEAN para el tercer día de muestreo. Noviembre 27 del 2007.

El segundo día se trató de fijar un valor de caudal (0.3l/s) que permitiera medir con el recipiente de 3 litros para aforo volumétrico de entrada de aguas residuales. En La

figura No.14 Tenemos los valores encontrados para el segundo día de muestreo, con una ocupación aproximada del 25%. Para este día se encontraron valores de TDS entre 1271 y 1326 mg/litro. El oxígeno disuelto presento valores entre 20.1 y 48.61% (1.42 y 3.42 mg/l). Para este último tenemos problemas asociados al funcionamiento de la planta dado que en los tanques de aireación se debe mantener condiciones mayores a 2 mg/l.

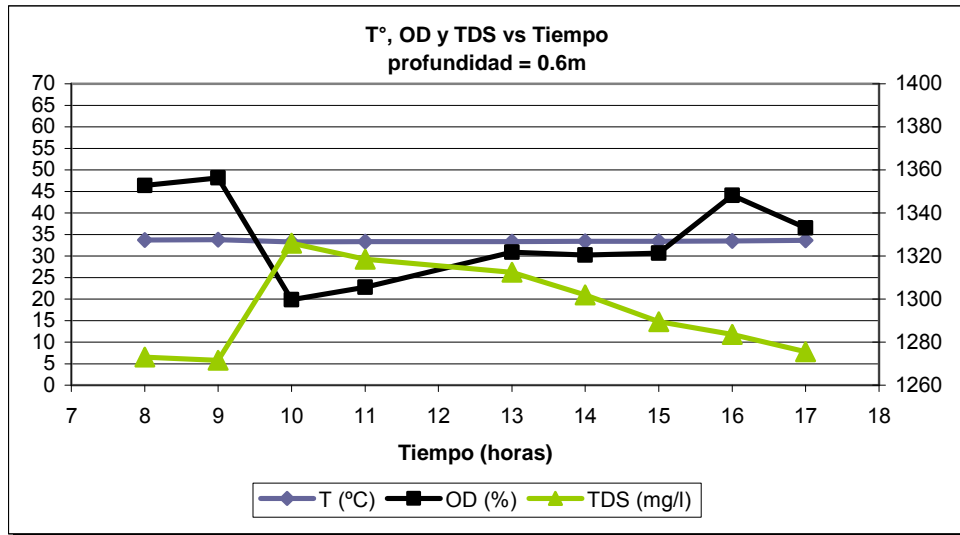


Figura No. 8 Parámetros físico-químicos obtenidos en la PTAR del Hotel OCEAN para el segundo día de muestreo. Diciembre 2 del 2007.

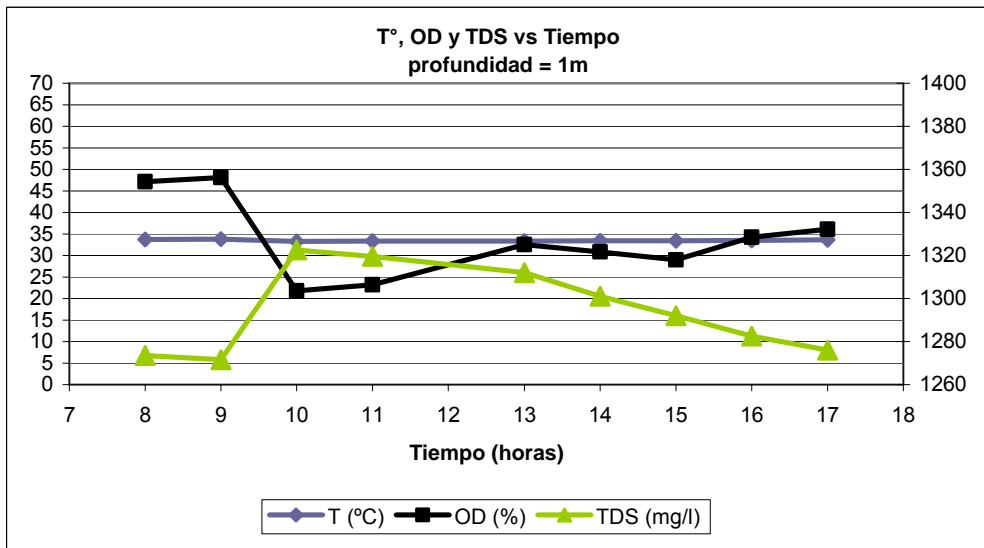


Figura No. 9 Parámetros físico-químicos obtenidos en la PTAR del Hotel OCEAN para el segundo día de muestreo. Diciembre 2 del 2007.

Realizando la determinación de SST en laboratorio se encontró que estas concentraciones al interior del tanque de aireación son muy bajas (figura 10) para un sistema de lodos activados (ver anexo 2) con un valor medio de 390 mg/l omitiendo el valor de TA1 por contaminación de la muestra con material retenido en

el lecho fijo; aunque estos valores pueden ser mayores; ya que se recircula el agua residual por la PTAR. Se puede intuir a partir de la muestra TA1 que el lecho fijo actúa como retenedor de SST para lograr condiciones apropiadas en la PTAR expresado en el valor de F/M.

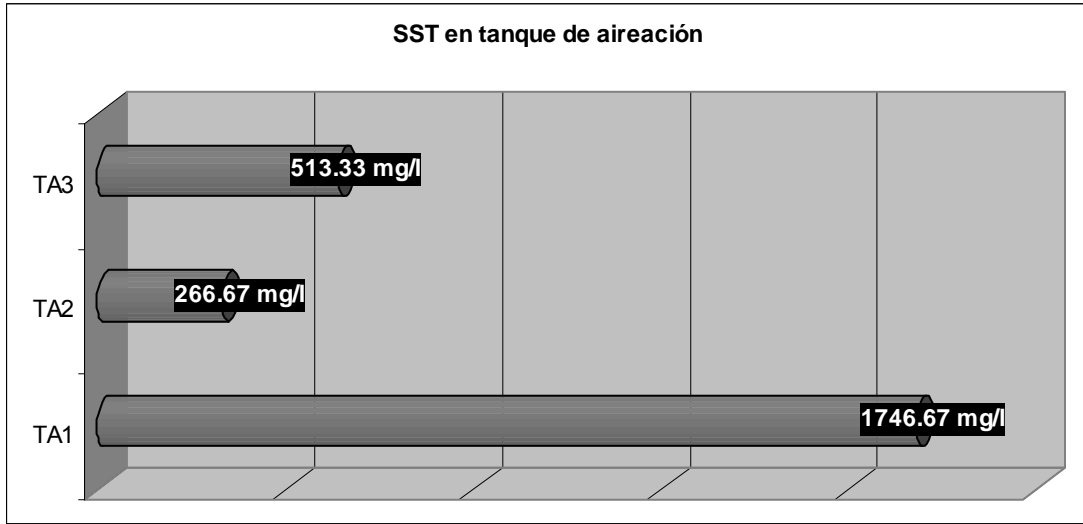


Figura No.10 Valores de sólidos suspendidos totales en el interior del tanque de aireación obtenidos en laboratorio. Diciembre 5 del 2007.

Las eficiencias de remoción de SST en la PTAR del Hotel Ocean con el sistema operando en recirculación son valores bajos teniendo como referencia la eficiencia de remoción típica de 80-90% (RAS 2000), pero estos valores pueden estar afectados por el tiempo de retención hidráulico; ya que hubieron momentos de mayor flujo (aprox. 4 veces caudal fijado) y la mezcla en los momentos de bombeo en el tanque de homogenización. Además puede estar también influenciados por las condiciones de oxígeno para este día de muestreo <2 mg/l.

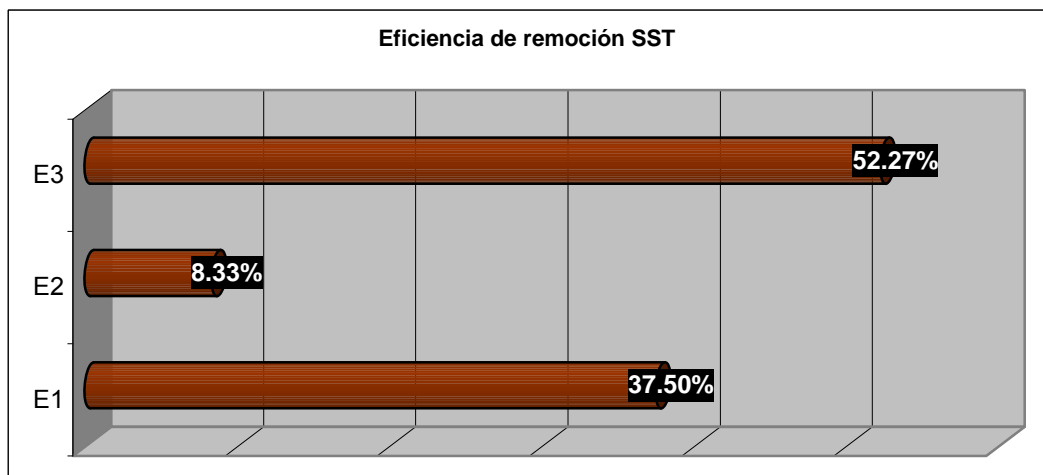


Figura No.11 Eficiencia de remoción de SST en PTAR del Hotel OCEAN.

5.2 MODELACIÓN DE LA PTAR DEL JARDÍN BOTÁNICO.

5.2.1 GESTIÓN INTEGRAL PARA LA PLANTA Y SUS SUBPRODUCTOS

Teniendo en cuenta las características del diseño de la PTAR observadas en la etapa de seguimiento, el diagnóstico del área de estudio y sistemas análogos en la isla, se propone y define en la figura No.4 un sistema de gestión de la PTAR-compacta y sus subproductos, escogiendo algunas alternativas tecnologías ya existentes que pueden ser aplicables en el jardín por su fácil operación, bajos costos y eficiencia. Posteriormente se definen la gestión requerida para los subproductos (biosólidos y efluente líquido).

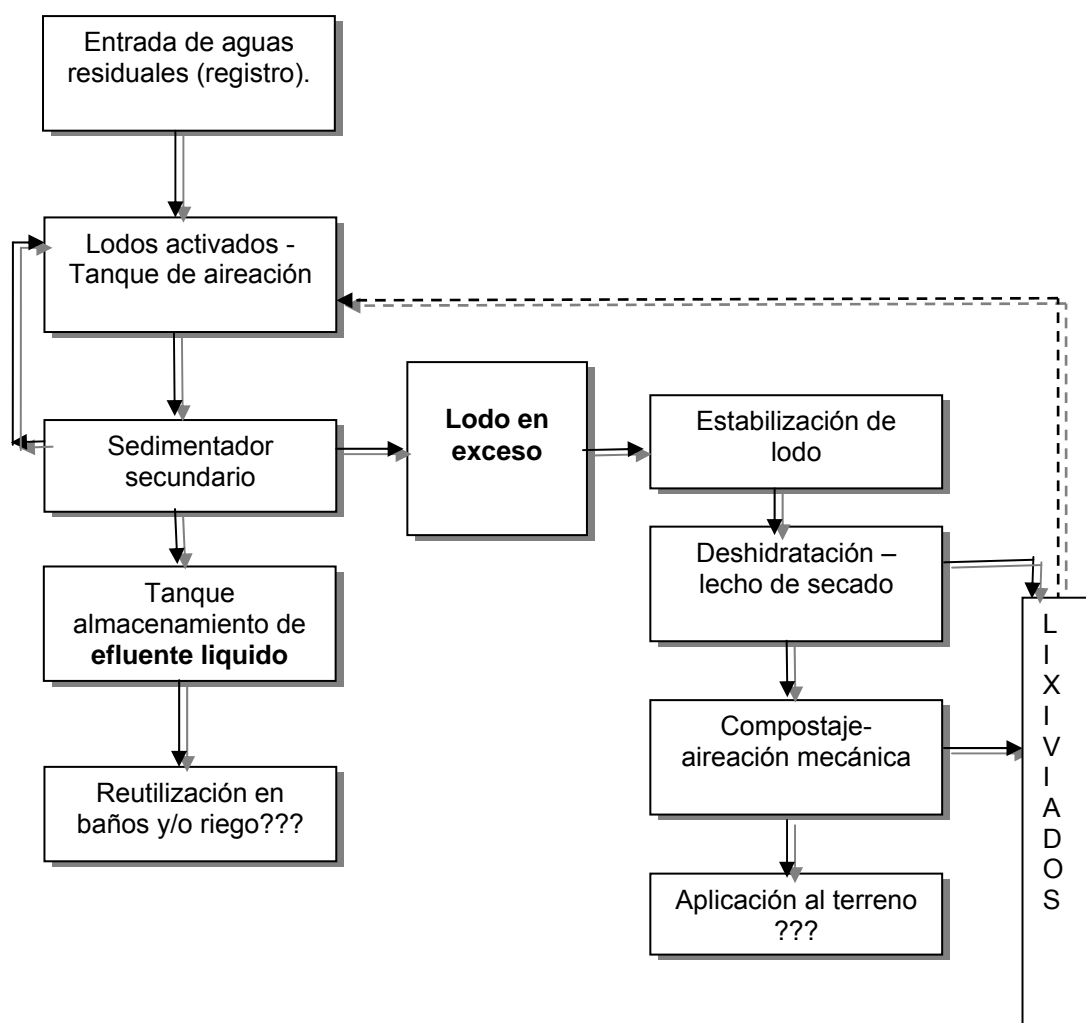


Figura No.12 Esquema sistema de gestión integral subproductos de PTAR-ECOPAC, modificado de Corbit [4].

5.2.2 GESTIÓN DE EFLUENTE LÍQUIDO DE PTAR.

La gestión del efluente líquido se refiere a las actividades que se requieren para la destinación o uso de este al riego de la colección viva o su reutilización en los retretes según sus características.

En primera medida la idea es confrontar las condiciones del efluente líquido con las restricciones que hay para su destinación al riego de la colección viva del jardín botánico. De esta manera será necesario realizar en el efluente o salida de agua del filtro de arena determinación para algunos parámetros establecidos en el artículo 40 del decreto 1594/84 (ver numeral 3.7.1). Además se deberá contar con un seguimiento de la calidad ambiental de las zonas a regar, realizando chequeo de las condiciones antes y después de la aplicación por ejemplo si no se cuenta con el presupuesto para llevar a cabo estudios fitosanitarios se puede tomar y guardar fotos antes y después de la aplicación cada año y utilizar la misma vegetación como bioindicador.

Se espera que la carga orgánica en las aguas residuales del jardín botánico sea baja afectando el factor alimento-microorganismos (F/M). De esta manera además de la recirculación del lodo del sedimentador secundario, se puede incorporar los caudales del lecho de secado y compost al caudal de entrada a la PTAR; donde puede ser oportuna la instalación de un tanque de homogenización para equilibrar la carga orgánica y el caudal. Luego se debe ajustar el proceso a los caudales provenientes de estas operaciones para tener en el tanque de aireación un factor F/M y eficiencia óptimo según el tipo de proceso a trabajar que según el ingeniero Elkin Trujillo será mezcla completa (ver anexo 2).

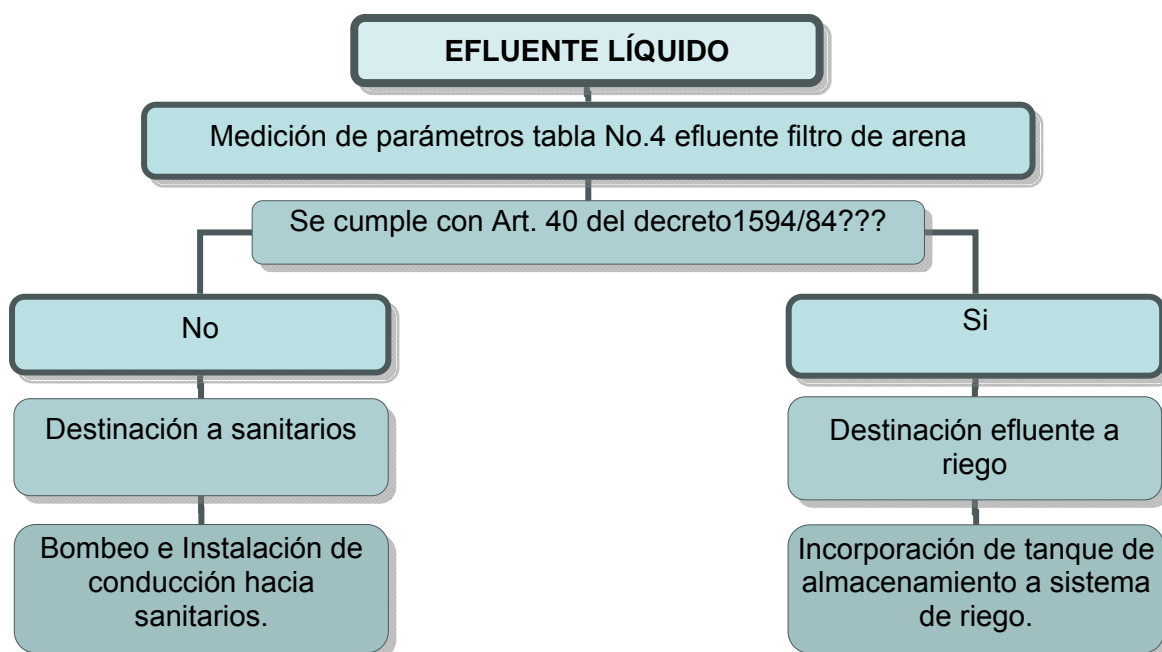


Figura No.13 Esquema sistema de gestión efluente líquido.

Si la destinación del efluente líquido es para riego se puede incluir el tanque de almacenamiento de agua residual al sistema de riego instalado realizando un sistema de bombeo en red y un estudio previo de impactos y viabilidad ambiental. Si la destinación es para los baños se requiere bombeo del agua a un tanque de almacenamiento a la parte superior del Jardín para surtir a los baños por gravedad. El agua se le puede adicionar cloro en los retretes para disminuir la cantidad de microorganismos patógenos. Su aplicación no debe ser excesiva.

5.2.3 GESTIÓN DE BIOSÓLIDOS DE PTAR

El objetivo de la gestión de biosólidos es garantizar mediante la organización que las actividades para el manejo ambiental de los lodos después de su retirada de la PTAR tengan una condición óptima para su aplicación al terreno para contribuir al acondicionamiento de los suelos por medio del reciclaje de nutrientes.

El jardín botánico aunque con suelos relativamente adecuados para su vocación agroforestal tiene necesidades en cuanto a nutrientes en los suelos y los biosólidos que genera la PTAR del Jardín de origen doméstico es la opción más adecuada por sus características descritas anteriormente (ver numeral 3.6).

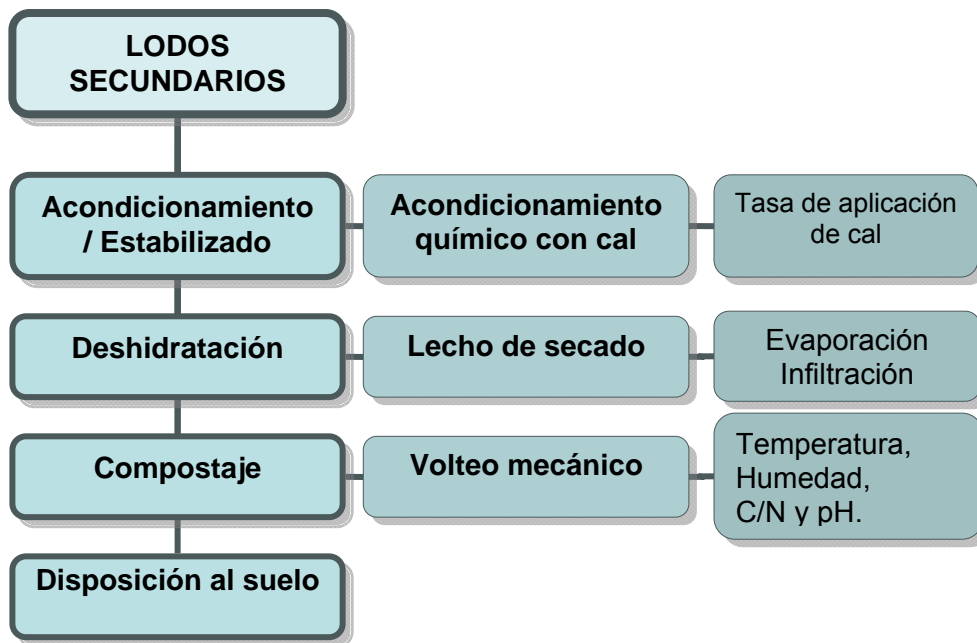


Figura No.14 Esquema de gestión biosólidos de PTAR.

- En cuanto el acondicionamiento y estabilizado será conveniente el acondicionamiento químico utilizando cal, añadiendo esta a razones menores a 100 Kg/ Tonelada de sólidos secos⁴. La operación debe realizarse una vez

⁴ Se refiere al lodo sin contenido de agua, el contenido de agua de lodos secundarios es del 95% en peso [1].

removidos los lodos de la PTAR conforme a lo estipulado en el cronograma de actividades (ej. semestral o trimestral). El acondicionamiento con cal es opcional pues el proceso de compostaje sirve como estabilizador; aunque su la no utilización de cal se vera reflejada en mayor tiempo del lodo en el proceso de secado.

- Lecho de secado: este proceso es óptimo para la deshidratación del lodo generado por el Jardín por sus ventajas ya descritas (fácil operación y bajo coste) y por la generación de lodos lo cual se traduce en poco área requerida. se recomienda que el lecho de arena se localice lo mas cerca de la PTAR (ej detrás del puesto de bombeo y filtración) de tal manera que se evite el trabajo y tiempo en aplicar el lodo al lecho. Se deberá podar la vegetación circundante de tal manera que no se produzca enfrascamiento de gases olorosos y se facilite la actuación de la radiación solar para favorecer la evaporación del agua en el lodo. El lecho de arena puede ser emplazado a un nivel de altura tal que pueda ser establecida una tubería de conducción de los lixiviados hacia el tanque de aireación o tanque de homogenización como se ha recomendado.
- Compostaje: seguido al proceso de secado este proceso, además de ser una alternativa de **estabilización** de la materia orgánica (mecanismo para reducir microorganismos patógenos), favorecerá la gestión de los biosólidos generados en la PTAR, El producto final con una buena operación de la pila será un humus con buena porosidad y nutrientes (fósforo y nitrógeno) que servirá como enmienda para los suelos del jardín botánico.

Se deben mantener en la operación los siguientes parámetros:

- pH: 6.5-9.5 unidades
- Temperatura: habitualmente en el proceso de compostaje se manejan temperaturas de 40-60°C
- Humedad: 50-80% de la capacidad de retención de agua se espera una reducción de la pila de 40% en masa.
- Relación C/N: 30-40% (optimo 30%).

6. RECOMENDACIONES

- Se debe tener cuidado con el diseño de la aplicación al terreno de lodo; ya que esta limitada por las concentraciones de nitrógeno, elementos traza y patógenos, los cuales por percolación pueden entrar al suelo contaminando las aguas subterráneas [4].
- Como reemplazo a la grava que debe ser adicionado al lecho de secado, se podría reutilizar llantas de automóvil en desuso cortándolas de tal manera que tengan una geometría adecuada para reemplazar la capa de grava en el lecho de secado.
- Opcionalmente se puede someter el lodo después de compostaje a secado térmico por influencia de radiación solar. Sometiendo el lodo a disponer a jornadas de 5 horas en época seca (febrero a abril), para conseguir una reducción mas eficaz de patógenos y aplicarlo e terrenos mas restringidos.
- Para aumentar el potencial del compost producido con biosólidos, se recomienda considerar otros materiales que aumenten la relación C/N del producto final y evaluar procesos complementarios de higienización del material producido. El rendimiento del proceso de compostaje dependerá del tamaño de la pila. Esto para permitir que el calor generado exceda a las pérdidas de calor en la superficie. Para mejor biodegradación el material debe ser mezclado antes de formar la pila proporcionando mejor homogeneidad. Se voltea para controlar aireación y temperatura. Las pilas se voltean de una vez por día a una vez por mes según el objetivo.
- Se ha encontrado que el encalado de lodos se pierde al ser aplicado en el terreno de tal manera que se da un crecimiento de organismos indicadores (coniformes totales), de tal manera la patogenicidad del lodo esta enmascarada mientras dura el efecto del pH. Por otro lado el lodo tratado biológicamente al ser aplicado presento acidificación del suelo [11].
- Debe tenerse un control de IVL para monitorear la PTAR; ya que este solo parámetro puede decir la condición de la planta.
- La toma de muestras instantáneas de DBO y SST para caracterización de plantas de tratamiento de aguas residuales donde no hay flujo constante de agua, debe ser bien ajustada a las condiciones operacionales de cada planta en particular; ya que estas muestras pueden no ser representativas al estar afectada por el tiempo de retención hidráulico. Además se debe considerar disminuir la incertidumbre mejorando los métodos de muestreo localizando los puntos para muestreo y reconociendo con anterioridad el diseño de la planta a evaluar.

7. CONCLUSIONES

- ♦ El Jardín Botánico cuenta con unas condiciones óptimas para el manejo de los lodos puesto que sus suelos poseen buenas condiciones para su aplicación tales como la alta retención de humedad y la alta concentración de carbonatos que disminuyen la captación de metales pesados por las plantas. La misma vegetación a la que se aplica lodos y/o aguas tratadas pueden ser bioindicadores que revelen en la vegetación estrés por presencia de concentraciones elevadas de metales y elementos traza.
- ♦ Es necesario la implantación de sistemas pilotos de gestión ambiental de residuos especiales como se propone al Jardín Botánico, para crear una comprensión del reciclaje de materiales en las comunidades isleñas, donde se creen lineamientos para unas buenas practicas de manejo de residuos sólidos y aguas residuales tratadas desde la región que puedan ser replicadas en futuras PTAR's instaladas en el departamento de San Andes, Providencia y Santa Catalina.
- ♦ La búsqueda de alternativas propias para manejo de los diferentes problemas asociados a los residuos sólidos y líquidos en la región caribe, debería desarrollarse más; dado que se tienen condiciones especiales biofísicas, socioculturales, espaciales, económicas que deberían trabajarse y pensarse desde la misma región para dar mejores alternativas de manejo.
- ♦ Los sistemas de lodos activados son sistemas de tratamiento biológicos de aguas residuales bastante tecnificados y presentan problemas operacionales con frecuencia. Por lo cual será necesario que el encargado del manejo de la planta en el Jardín Botánico identifique estos para incluirlos en el protocolo expresado como un plan de control de impactos o plan de contingencias. Además del diseño de un protocolo o guía didáctica para entender la operación en una PTAR, un seguimiento periódico al operador por parte del ingeniero diseñador o quien haga sus veces en la etapa de arranque de la planta, puede ser ideal para un mejor entendimiento de las tareas que se deben realizar y así prevenir problemas operacionales.
- ♦ Según la modelación matemática realizada para el Jardín Botánico en conjunto con el ingeniero Elkin Trujillo, la producción de lodos del jardín será inferior a 1kg/día y sería innecesario la construcción de una infraestructuras para secado; mas sin embargo los procesos de secado, estabilización y compostaje deben realizarse para dar condiciones optimas a los lodos solo que podría ser realizadas en recipientes con una capacidad menor. Además se tuvo un volumen de diseño menor ($\approx 2m^3$) a la que esta instalado en el jardín ($3m^3$); por la cual podría ser necesario disminuir el volumen del tanque de aireación para evitar los problemas con la carga orgánica (F/M).

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Kiely Gerard, Ingeniería Ambiental “Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión.”, volumen II y III, editorial Mc Graw Hill España, 1999.
- [2] Plaster Edward, La ciencia del suelo y su manejo, editorial Paraninfo, España, 1997.
- [3] Eweis, Juana B, Principios de Biorrecuperación, editorial Mc Graw Hill, España, 1999.
- [4] Corbit, Manual de la ingeniería medioambiental, editorial Mc Graw Hill, México,
- [5] <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v27n1/21.pdf>
- [6] Instituto de Geografía Agustín Codazzi (IGAC), Estudio semidetallado de suelos de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Subdirección Agrológica. Bogotá, 1975.
- [7] http://www.coralina.gov.co/archivos/Sigam_CAPITULO%20I_Perfil_Ambiental_1.pdf
- [8] <http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/resol.pdf>
- [9] <http://www.ingenierosindustriales.net/cast/01%20enero%20febrero/45.pdf>
- [10] Cuevas José, efecto de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencia a la adición de lodos urbanos, J.Soil Sc. Plant.Nutr.6 (2), 2006.
- [11] <http://www.femisca.org/publicaciones/XIVcongreso/XIVCNIS158.pdf>
- [12] Orozco Alvaro, Tratamiento biológico de las aguas residuales, universidad de Antioquia facultad de ingeniería, Colombia, 1985.

ANEXO 1

DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

- Materiales y equipos

Filtro millipore o de fibra de vidrio

Equipo de filtración

Horno (hasta 250°C)

Desecador

Balanza analítica

- Reactivos

Agua desionizada

- Procedimiento general para determinación de SST

Preparación del filtro

- Colocar el filtro en un equipo de filtración y aplicar vacío.
- Lavar con 3 porciones sucesivas de 20 ml de agua destilada.
- Secar durante una hora a 103 - 105 °C hasta obtener peso constante.
- Colocar en desecador durante 30 minutos.
- Pesar el filtro antes de usarlo.

Tratamiento de la muestra

- Colocar el filtro en el equipo de filtración y pasar un volumen conocido (ml) de muestra, aplicando vacío.
- Enjuagar el embudo y el filtro con agua destilada.
- Remover y secar el filtro en un horno a 103 - 105 °C.
- Llevarlo al desecador durante 30 minutos y pesar hasta alcanzar peso constante.

Calculo

$$SSTmg/l = \frac{(A - B) * 10^6}{ml(muestra)}$$

Donde

A: es el peso del filtro + residuo (g)

B: peso filtro (g)

ANEXO 2

PARÁMETROS EMPÍRICOS DE DISEÑO DE LODOS ACTIVADOS (RAS 2000).

Tipo de proceso	Carga orgánica (F/M) [kgDBO5/kgSSVLM/día]	Carga volumétrica [kgDBO5/m3/día]	Tiempo de retención hidráulica (θ) [horas]	Tiempo de retención de lodos (θ_c) [día]	SSLM (X) [mg/l]	Retorno (R) fracción
Convencional	0.2-0.5	0.3-1	4-8	5-15	1500-3000	0.25-0.5
Completamente mezclado	0.2-0.6	0.8-2	4-8	5-15	3000-6000	0.25-1
Alta tasa	0.4-1.5	0.6-2.4	0.25-3	1-3	4000-5000	1-5
Aireación extendida	0.05-0.25	<0.4	18-36	15-30	3000-6000	0.75-1.5
Oxígeno puro	0.4-1	2.4-4	1-3	8-20	6000-8000	0.25-1.5
Aireación escalonada	0.2-0.5	0.6-1	3-5	5-15	2000-3500	0.25-0.7

ANEXO 3

PROTOCOLO PARA GESTIÓN AMBIENTAL DE LOS SUBPRODUCTOS DERIVADOS DE LA PTAR-COMPACTA EN EL JARDÍN BOTÁNICO Y DETERMINAR PRODUCCIÓN DE LODOS.

A continuación se presentan los pasos para la determinación de lodos producidos, el diseño de la estructura de secado y otras actividades complementarias para el manejo de los subproductos de la PTAR:

Se plantea un programa que puede ser montado en una hoja de calculo (Excel) donde a partir de una serie de algoritmos y de diferentes parámetros determinados en campo o coeficientes (empíricos) establecidos en el RAS, se pueda calcular el tiempo de retención celular y de este la producción de lodo expresado en volumen.

1. Medición en campo de caudal (Q) para 24 horas con método volumétrico utilizando un recipiente graduado y con un cronometro tomando el tiempo en que se llena un volumen determinado del recipiente. Procurar que la medición de caudal sea en días de baja y alta temporada para ver los picos y hacer una buena estimación del caudal que recibirá la PTAR. La medición puede ser con frecuencias de 20 minutos y se requiere realizar 3 replicas por aforo como mínimo.
2. Medición de DBO preferiblemente por método Winkler, a la entrada y a la salida del tanque de aireación (realizar replicas, mínimo 3). Si el caudal es constante realizar muestreo compuesto repartiendo el volumen de la muestra (1litro) en el tiempo de muestreo. Por ejemplo si tenemos 12 horas de medición y un litro para tomar la muestra tenemos que el volumen de muestra a tomar por hora es:

$$M_{\text{uestra}} / \text{hora} = 1000 \text{ ml} / 12 \text{ horas} = 83.3 \text{ ml/cada hora}$$

Si el flujo no es constante en la PTAR realizar muestra instantánea teniendo en cuenta el tiempo de retención hidráulica con el caudal promedio y volumen de la planta (ver numeral 6 del presente protocolo); ya que este parámetro influye en el tiempo de toma de muestra. Por ejemplo si tenemos un tiempo de retención hidráulico de 2 horas en la planta y flujo de agua por 3 horas, tendremos que tomar muestra a la salida dos horas después de haber tomado la muestra a la entrada para que sea representativo del proceso.

Nota: Si no se posee reactivos para realizar medición de oxígeno disuelto con Winkler puede realizarse por medio de un oxímetro (sonda).

3. Medición de sólidos suspendidos en el tanque de aireación (SSLM) mediante determinación en laboratorio de SST. Realizar replicas para disminuir la incertidumbre.

Para determinación de sólidos suspendidos se debe tomar la muestra en campo a la entrada superior de inspección del tanque de aireación ECOPAC con un instrumento tal que permita el muestreo a una o varias profundidades. Se toman

3 muestras instantáneas como mínimo en frasco de plástico y se conserva a 4°C tanto en campo como en laboratorio por máximo 5 días para posterior análisis.

4. Determinación de F/M para cerciorarse de qué tipo de sistema esta operándose a partir de los parámetros hallados en los muestreos en campo de SST en tanque de aireación, DBO en el afluente y caudal medio.

$$F/M = \frac{DBO_{\text{afluente}}[\text{kg/m}^3] * Q_{\text{afluente}}[\text{m}^3/\text{día}]}{SSLM[\text{kg/m}^3] * \text{Volumen reactor}[\text{m}^3]} = \frac{S_0 Q_0}{X * V}$$

5. Determinar eficiencia para comparar con normativa la cual es de 85-95% de remoción para DBO [8].

$$E = \frac{DBO_{\text{afluente}}[\text{kg/m}^3] - DBO_{\text{efluente}}[\text{kg/m}^3]}{DBO_{\text{afluente}}[\text{kg/m}^3]}$$

6. Determinar tiempo de retención hidráulica: tomar el volumen del tanque que según especificaciones técnicas es 3m³.

$$\theta = \frac{\text{Volumen reactor}[\text{m}^3]}{Q_{\text{afluente}}[\text{m}^3/\text{día}]} = \frac{V}{Q}$$

7. Determinar tiempo de retención de lodos.

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{Y}{\theta X} \left(\frac{S_0 - S}{1 + k_d \theta_c} \right)$$

Proceso Iterativo: proponer un θ_c hasta que se igualen los dos términos de la ecuación (Excel). Cerciorarse de que el tiempo de retención de lodos este acorde con los mostrados en el anexo 2. en caso de que no este acorde con los tiempo de retención de lodo de anexo 2 considerar punto 9 del presente protocolo.

K_d = coeficiente de tasa de mortandad endógena típico RAS 0.06.

Y= fracción de sustrato convertida en biomasa típico RAS 0.6.

8. Determinar producción de masa diaria del lodo.

$$M_{\text{lodo}} = \frac{VX}{\theta_c}$$

9. En caso de que no se pueda llevar a cabo la metodología propuesta anteriormente se puede determinar la producción de biosólidos teniendo en cuenta el alcance de depuración de la PTAR de la siguiente manera:

Biosólido por día = Eliminación de sólidos suspendidos X caudal [kg/día]

Δ SST= SST entrada – SST salida [kg/m³]

Caudal medio = Q [m³/día]

10. Determinación de densidad media de lodo: tomar muestras del fondo del sedimentador secundario y realizar un pesado con un recipiente de peso y volumen conocido (beaker), depositar el lodo hasta un volumen definido y tomar peso. Luego realizar cálculo según la siguiente ecuación:

$$\rho_{lodo} = \frac{M_{lodo}}{V_{lodo}}$$

Donde:

M_{lodo} es la masa del lodo sin el peso del recipiente

V_{lodo} es el volumen que ocupó el lodo en el recipiente.

11. Calcular volumen de lodo que se va a tratar al día, mes y año. A partir de estos volúmenes se escoge la cantidad que será mejor trabajar considerando los costos por mano de obra y costos por espacio para infraestructura de secado, compost, entre otros.
12. Tiempo de extracción de lodo. Puede ser trimestral o semestral según la producción de lodo y la dimensión del sedimentador. Para esta determinación puede utilizarse el IVL como indicador del tiempo de extracción [12].
13. Determinar infraestructura de secado (área de secado) teniendo en cuenta que el espesor del lecho de secado debe ser ≤ 30 cm. Determinada el área de secado se deberá levantar el lecho de secado de tal manera que puedan ser conducidas las lixiviados de los lodos al registro y de esta manera retornarlos a la planta.
14. Con la infraestructura necesaria ya montada lo primero es tomar el lodo el tiempo que se determine en el numeral 12 de este protocolo por succión mecánica (bombeo) o manual con recipientes aptos para tal fin como lo puede ser un listón con un recipiente rectangular amarrado en uno de sus extremos haciendo barridos muy suaves en toda la superficie interior del sedimentador secundario.
15. Se puede aplicar opcionalmente cal para estabilización a razones <100 kg/Tonelada [4] y alumbre a razón de un kilogramo de alumbre por cada 800-2500 litros para control de gases [8].
16. Una vez determinado la producción además de calcular el lecho de secado para deshidratación, se determina el área para compostar según producción y el tiempo para realizar la operación de estos procesos. A partir del volumen a disponer en el lecho de secado se determinará el número de pilas y espacio según las dimensiones de las pilas (altura, ancho y largo). Área para desarrollo del proceso.
17. Cronograma de actividades: deberá ser diseñado con referente en la producción de lodo la cual podría ser anual, semestral o trimestral.
18. Para la aplicación de lodos se debe medir algunos constituyentes del suelo antes de realizar la aplicación de lodo de tal manera que se tengan los niveles regulares de algunos de ellos en el suelo tales como Niquel, Zinc,

hierro, Aluminio, Calcio, sodio entre otros. Basados en los parámetros anteriores y el rango de velocidades para aplicación al suelo de biosólidos recomendadas (1-225 Mg/ha/año) [4], se puede definir dicha aplicación de los lodos dado. Para el caso del jardín botánico a manera experimental esta puede ser tomada en un rango de 1-5 Mg/ha/año y aplicarla a especies ornamentales por 3 años para ver sus efectos tanto en las plantas como en el suelo.

19. El operario deberá llevar registro de las condiciones generales de la planta y los procesos de secado y compost tales como: presencia de olores y vectores, cantidad producida, entre otras. Se debe hacer divulgación de los tópicos más representativos en donde quede claro los objetivos que se esperan del sistema de gestión de los subproductos generados de la PTAR para mantener a la comunidad del jardín informada de su importancia para el Jardín Botánico y la misma comunidad.

20. Corresponde a la dirección del Jardín Botánico de la Universidad Nacional de Colombia la aceptación y delegar el cumplimiento de este protocolo a personal capacitado para coordinar lo mencionado en este protocolo. En caso de aprobado el presente protocolo podrá ser ajustado anualmente presentando las justificaciones que soporten los cambios. Además el protocolo será retroalimentado con la comunicación de problemas que el operario entregue al ingeniero encargado de la planta o quien haga sus veces.

ANEXO 4

MEMORIAS DE MODELACIÓN MATEMÁTICA PTAR JARDÍN BOTÁNICO

A continuación se describe el procedimiento de recalculation y modelación matemática de la PTAR del Jardín Botánico manteniendo los parámetros de diseño por el ingeniero Elkin Trujillo.

<u>Coeficientes</u>	<u>Parámetros asumidos</u>
<p>Coeficientes cinéticos ecuación Lawrence y Mcarty</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ K₀= tasa de máximo crecimiento=5 ♦ K_m= constante de saturación de sustrato=50 <p>Coeficientes estequiometricos</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ K_e = 0.05 ♦ Y = 0.5 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ <i>Tiempo de retención celular en tanque de aireación, (θ_c) = 12 horas</i> ♦ <i>Sólidos suspendidos volátiles influentes= 50 mgssv/l</i> ♦ <i>Sólidos efluentes=20 mg/l (70% biodegradables)</i> ♦ <i>DBO5 a la entrada=200 mg/l con variaciones de 50%</i> ♦ <i>100 personas</i> ♦ <i>Producción agua residual per capita=50l/persona/día</i> ♦ <i>Sólidos filtrables influente (X_{ii})= 50 mg/l no biodegradables de origen orgánico y inorgánico.</i>

Algoritmos de diseño:

1. calculo de DBO efluente
$$S = \frac{K_m * [1 + K_e \theta_C]}{\theta_C (Y K_o - K_e) - 1}$$

2. calculo de sólidos suspendidos totales volátiles en tanque de aireación, asumir valor de SSLM:

$$0.8 * SSLM = SSLVM$$

3. calculo de tiempo de retención hidráulico:
$$\theta = \frac{\theta_C}{X} \frac{Y(S_o - S)}{1 + K_e * \theta_C}$$

4. producción de lodo
$$P_x = Q \left[\frac{Y(S_o - S)(1 + 0.1 * K_e * \theta_C)}{1 + K_e * \theta_C} + X_{ii} \right]$$

Nota: Estas ecuaciones están desarrolladas y el procedimiento modelado matemático esta en una hoja de cálculo que es anexo a este documento.

A continuación se muestran los datos utilizados en hoja de cálculo (Excel) para determinación de geometría de la infraestructura para tratamiento de lodos, producción de lodos y material vegetal para compost.

PTAR JB		
Parametro	valor real	Rango de valores para lodos activados tipo mezcla completa (RAS 2000)
poblacion (personas)	100	
consumo (litro/person/dia)	50	
Qaf (l/seg)	0,06	
VTA (m3)	1,54	
CML o X (mg/l)	3200	3000-6000
DBO5 afluente (mg/l)	200	
DBO5 efluente (mg/l)	20	
F/M(dia-1)	0,20	0.2-0.6
Y	0,6	
Km	50	
K0	5	
kd	0,06	
densidad lodo	1,05	
solidos salida	20	
TRC- θ_c [dia]	10	5-15 dias
E	0,90	
TRH- θ [dia]	0,31	4-8 horas
So(mg/l)	2,82	
Stotal(mg/l)	16,82	TRH- θ [hora]
produccion lodo(g/dia)	840,65	7,41
Oxigeno(g/dia/m3)	435,71	
dS/dt	1444,03	
ΔO_2	1,54	
carga volumetrica	0,97	0.8-2

lecho secado	
Parametro	valor real
masa de lodo producido a 6 meses [kg]	151,317
densidad lodo [kg/m3]	1050
volumen de lodo producido [m3]	0,144
espesor de lodo en lecho de secado[m]	0,2
area requerida[m2]	0,721

Compost ⁵ (base de calculo 1kg)	
masa de residuo vegetal [kg RV/6 meses]	490,268

⁵ Basado en humedad, C/N, %N establecidos [1] para residuos vegetales y lodo.

