

I

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**"CARACTERIZACION DEL DESAGUE INDUSTRIAL DE LA
PASTA DE POTA PARA LA REMOCION DE LA CARGA
ORGANICA UTILIZANDO UN SISTEMA COMBINADO DE
UASB Y LODOS ACTIVADOS"**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO SANITARIO

PRESENTADO POR:

**DE LA CRUZ MARTINEZ, LUIS ALBERTO
ORELLANA RIVAS, VICTOR HERLESS**

LIMA, PERU

2011

DEDICATORIA:

Esta tesis va para nuestros padres quienes nos inculcaron perseverancia y sacrificio para lograr nuestras metas; fruto del esfuerzo suyo y nuestro, presentamos esta tesis de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación no hubiese sido posible sin el apoyo incondicional y perseverante de nuestros padres, hermanos y familiares quienes estuvieron día a día transmitiéndonos ánimos para seguir adelante hasta culminar con la tesis.

Doy gracias a mis padres Luis Adrian de la Cruz de la Cruz y Soledad Martínez Villaverde por estar pendientes siempre de mi desarrollo personal y profesional a lo largo de mi vida; en gratitud a ello, plasmo todo mi esfuerzo y dedicación en esta tesis de investigación (Luis de La Cruz Martínez).

Gracias a mis padres Herless Orellana Quispe e Irma Rivas Reyes por apoyarme en todo momento, por sus consejos y por su aliento para que me supere día a día. También a mis hermanos quienes estuvieron siempre ahí apoyándome en los momentos más difíciles (Víctor Orellana Rivas).

Al Ing. Otto Rosasco por su paciencia y disponibilidad de tiempo para absolver nuestras dudas acontecidas durante la tesis de investigación y además de transmitir nuevas ideas que fueron obtenidas durante su larga trayectoria como profesional en la Ingeniería Sanitaria.

Al Sr. Ricardo Jara y a la Sra. Margarita quienes nos facilitaron equipos y reactivos para poder realizar nuestros análisis en el laboratorio y además, tuvieron paciencia para soportar los olores fuertes generados por el desagüe industrial de la pasta de papa.

A la Dra. .María Luisa Flores por apoyarnos durante la etapa de puesta en marcha de la planta piloto facilitándonos el ingreso, instalación de la planta y refrigerio.

A nuestros compañeros de la facultad que laboran en la empresa, Bach. Ernesto Martínez y Bach. Carlos Ochoa quienes nos facilitaron equipos para hacer las mediciones en el campo y los reactivos para hacer las mediciones de DQO.

RESUMEN EJECUTIVO

La presente tesis de investigación tiene como propósito evaluar y determinar la eficiencia de remoción en la carga orgánica expresada como DBO y DQO. Para ello se realizaron dos etapas de investigación.

La primera etapa de la tesis de investigación consistió en determinar la eficiencia en la remoción de la carga orgánica para el desagüe doméstico de UNITRAR. En ese sentido, se construyó un sedimentador primario, un tanque de aireación y un sedimentador secundario. Se midieron los parámetros de pH, turbidez, temperatura, sólidos totales, oxígeno disuelto y DBO de manera diaria de lunes a viernes, cabe resaltar que las muestras se tomaron durante el mediodía.

Esta primera etapa es también llamada “arranque del piloto” o “evaluación previa del piloto” ya que el objetivo principal es el de determinar la eficiencia de la planta piloto en la remoción de la carga orgánica de un desagüe industrial pesquero. Sin embargo, nos dimos con la sorpresa que existía una época de veda que no nos permitía disponer de un desagüe industrial pesquero de manera constante y así nuestro piloto pueda funcionar sin paradas de planta y sea lo más cercano a la realidad. Es por este motivo que realizamos una segunda etapa en la tesis de investigación.

En la segunda etapa de investigación, una empresa nos facilitó su efluente proveniente del proceso de elaboración de la pasta pota. Se caracterizó el efluente y nos dimos con la sorpresa de que la carga orgánica era muy elevada, la DBO sobrepasaba los 6000 mg/l y la DQO sobrepasaba los 18 000 mg/l; por tal motivo, creímos que usando solo el sistema de lodos activados no sería suficiente para tratar dicho efluente; es por ello que decidimos agregar el sistema de UASB ya que tiene una buena eficiencia en la remoción de la materia orgánica para cargas orgánicas elevadas.

Se construyó la unidad de UASB y también un sistema de pre-tratamiento (sedimentador primario) porque durante la caracterización, los valores de grasas y aceites y sólidos suspendidos eran muy elevados.

Otro parámetro limitante para disponer de un tratamiento del tipo biológico fue la del valor de su pH. Dicho valor era muy bajo en el desagüe industrial de la pasta de pota ya que no sobrepasa el valor de 6. Por tal motivo, basándonos en que el sistema de UASB trabaja con un rango de pH entre 6.5 y 7.5, se decidió hacer una dilución del desagüe industrial utilizando el desagüe doméstico que la empresa dispone. Se hicieron pruebas para determinar la dilución o concentración del desagüe industrial de la pasta de pota; como resultado de la prueba se concluyó que debía arrancar con un porcentaje del 25% de dilución y posteriormente ir aumentándolo gradualmente para evaluar y determinar la eficiencia en la remoción de la carga orgánica de cada unidad.

Cabe resaltar que en la segunda etapa de investigación se mejoró el tanque de lodos activados con el aumento del número de difusores y la capacidad de la bomba de inyección de aire. Además, se agregó una unidad de filtros que estaba compuesto por confitillo y una malla que tenía 0.05 mm de diámetro. Esta malla se colocó cada 3cm en la unidad de filtro.

Durante la segunda etapa evaluamos los parámetros físico-químicos de pH, oxígeno disuelto, temperatura, conductividad, sólidos totales, disueltos y volátiles, sólidos sedimentables, grasas y aceites, turbidez, DBO y DQO.

Para cuando la dilución fue del 100% (tratamiento del desagüe de pota puro), se realizó un análisis de fósforo total, nitrógeno amoniacal y de nitratos. Al final; para cumplir con el objetivo trazado de la tesis, se buscó determinar el porcentaje de eficiencia en la remoción de la carga orgánica expresada como DBO y DQO con la finalidad de que dicho desagüe industrial de pota pueda ser dispuesto al sistema de alcantarillado según las normas peruanas.

INDICE

Carátula	I
Dedicatoria	II
Agradecimientos	III
Resumen Ejecutivo	IV
Índice	VI
1. INTRODUCCION	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA CIENTÍFICO	2
2.1. Fundamento de la investigación	2
3. OBJETIVOS.....	3
3.1. Objetivo Principal.....	3
3.2. Objetivos Específicos	3
4. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS.....	4
5. HIPOTESIS.....	5
6. VARIABLES	5
6.1. Variables dependientes	5
6.2. Variables independientes	6
7. PROCEDIMIENTO DE LA TESIS DE INVESTIGACIÓN	8
7.1. Explicación de la división de la tesis de investigación	9
8. PRIMERA ETAPA DE LA TESIS DE INVESTIGACION	12
8.1. Componentes de la planta piloto	12
8.2. Materiales utilizados para la construcción de la planta piloto	13
8.3. Metodología de trabajo	20
8.3.1. Determinación del tiempo de saturación de oxígeno en el tanque de aireación	20
8.3.2. Cálculos y resultados de la prueba de saturación de oxígeno	23
8.4. Parámetros medidos en el laboratorio	30
8.5. Puntos de monitoreo en la planta piloto	36
8.6. Comparación visual de los puntos de monitoreo	40
8.7. Cálculos y resultados de la I etapa de investigación	41

9. SEGUNDA ETAPA DE LA TESIS DE INVESTIGACION.....	52
9.1. Componentes de la planta piloto	54
9.2. Materiales utilizados para la segunda etapa de investigación	55
9.3. Proceso de instalación de la planta piloto	68
9.4. Caracterización del desagüe industrial de la pasta de pota	71
9.5. Prueba para la determinación de la dilución del desagüe industrial	81
9.6. Resultados de la prueba de dilución	84
9.7. Porcentajes de dilución del desagüe industrial de la pasta de pota	85
9.8. Resultados de la caracterización del desagüe industrial	86
9.9. Explicación del funcionamiento de la planta piloto	92
9.10. Puntos de monitoreo de la planta piloto	109
9.11. Parámetros analizados en el Laboratorio	110
9.12. Muestra gráfica de la variación en los puntos de monitoreo	111
9.13. Cálculos y resultados de la II etapa de investigación	115
10. CRONOGRAMA DE TRABAJO	133
11. PRESUPUESTO Y FINANCIAMIENTO	134
12. OBSERVACIONES	135
12.1. Observaciones de la primera etapa de investigación	135
12.2. Observaciones de la segunda etapa de investigación	136
13. CONCLUSIONES	150
13.1. Primera etapa de investigación	150
13.2. Segunda etapa de investigación	151
14. RECOMENDACIONES	158
14.1. Primera etapa de investigación	158
14.2. Segunda etapa de investigación	159
15. BIBLIOGRAFIA	162
16. ANEXOS	164
16.1. Marco teórico	164
16.1.1. Tratamiento anaeróbico de UASB	164
16.1.2. Tratamiento aeróbico de lodos activados	180

1. INTRODUCCION

En nuestro país las industrias pesqueras no realizan un tratamiento de sus aguas residuales, generando así una contaminación de las aguas en la costa peruana. Además, las industrias tienen poco interés en tratar de investigar sobre nuevas alternativas de tratamiento para sus efluentes. Los efluentes de las industrias pesqueras tienen una elevada carga orgánica, sólidos suspendidos y grasas y aceites. Los olores emanados de la industria pesquera son fuertes dada la naturaleza de su materia prima.

Por ejemplo, es el caso de la Bahía Ferrol en Chimbote, en el que los desagües industriales han dañado el ecosistema hasta un punto crítico. Algunas especies de la fauna marina corren el riesgo de desaparecer debido a la contaminación. La evaluación de los impactos ambientales por las plantas pesqueras confirma la alta contaminación y el daño ambiental del ecosistema marino y por ende, los efectos a la calidad de vida de la población chimbotana. El Instituto del Mar Peruano (IMARPE) en el 2002 determinó la presencia de 54 millones de metros cúbicos de sedimento. La presencia de muelles abandonados, el desvío del río Lacramarca hacia el sur y el haberse destruido el Cerro Colorado localizado hacia el norte de la bahía para construir una plataforma (molón), han generado estas alteraciones ambientales como son, la dificultad en el desplazamiento de las corrientes marinas, una fuerte erosión hacia el norte y arenamiento hacia la zona sur y una ausencia casi total de la flora y fauna.

En la presente tesis de investigación se evaluará y determinará la eficiencia en la remoción de la carga orgánica expresada como DBO y DQO utilizando un sistema combinado (anaeróbico y aeróbico) de UASB y lodos activados para el desagüe industrial del proceso de pasta de pota para distintas concentraciones; siendo el material solvente un desagüe del tipo doméstico propio de la industria procesadora de la pasta de pota.

Se calculará el porcentaje de dilución del desagüe industrial de la pasta de pota efectiva para que una planta piloto pueda trabajar obteniendo una eficiencia que permita que el efluente pueda ser dispuesto en un sistema de alcantarillado.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA CIENTÍFICO

2.1. Fundamento de la investigación

En el Perú no todas las industrias pesqueras cuentan con un sistema de tratamiento de sus aguas residuales, tampoco existe un control interno adecuado por parte de las industrias. Debido al poco interés de las industrias para tratar sus aguas residuales como producto de sus procesos, se genera un problema de contaminación ambiental en el ecosistema afectando principalmente al Mar y el Litoral Peruano.

Los efluentes de las industrias pesqueras tienen elevada carga orgánica, grasas y aceites, sólidos suspendidos, además sus residuos líquidos están constituidos por sales. Los olores típicos emanados por este tipo de industria son fuertes, dada la naturaleza de la materia prima utilizada y al desprendimiento de gases de descomposición.

2.2. Formulación del problema

En el presente estudio se propone principalmente disminuir la alta carga orgánica que presenta las aguas residuales de la industria pesquera; particularmente para la industria procesadora de la pasta de pota. En ese sentido, se construirá una planta piloto en dos etapas: En la primera etapa se construirá un piloto de lodos activados y se evaluará el tiempo de saturación, concentración de saturación y además, la eficiencia en la remoción de la carga orgánica expresada en DBO de un desagüe del tipo doméstico con un determinado equipo de aireadores. En la segunda etapa se adicionará un sistema de pre-tratamiento y un sistema anaeróbico denominado UASB; juntos complementarán el tratamiento del agua residual de la industria de la pasta de pota; todo ello con la finalidad de disminuir la alta carga orgánica del desagüe industrial del proceso de pota que estará previamente diluido con un desagüe doméstico. Como resultado de esta segunda etapa, se espera obtener un efluente que cumpla los parámetros que permitan un vertimiento al sistema de alcantarillado.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Principal

- Determinar y evaluar la mejor eficiencia en la remoción de la carga orgánica para distintas concentraciones de dilución del desagüe de la industria de la pasta de pota con el desagüe doméstico propio de la empresa, utilizando el sistema de tratamiento anaeróbico y aeróbico o también denominado sistema combinado en una planta piloto instalada IN SITU.

3.2. Objetivos Específicos:

- Establecer el porcentaje de dilución adecuado para un eficiente tratamiento del desagüe de la industria de la pasta de pota.
- Lograr la remoción mínima del 50% de DBO y DQO en el sistema de tratamiento de la planta piloto.
- Obtener una Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en el afluente máxima de 250 mg/l según los límites máximos permisibles a las descargas de aguas residuales en los sistemas de recolección de alcantarillado.
- Obtener una Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el afluente máxima de 500 mg/l según los límites máximos permisibles a las descargas de aguas residuales en los sistemas de recolección de alcantarillado.
- Cumplir que los parámetros evaluados en la investigación no sobrepasen los límites máximos permisibles de las descargas de aguas residuales en los sistemas de recolección de alcantarillado.

- Evaluar el porcentaje de remoción de los aceites y grasas en el sistema combinado.
- Evaluar el incremento progresivo del pH a lo largo del proceso de tratamiento.

4. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS

Ante la necesidad de poder encontrar alternativas de tratamiento de las aguas residuales especialmente en aquellas de origen industrial, es indispensable investigar y desarrollar distintos tipos de tratamiento biológico que sean factibles y puedan aplicarse en el Perú. La tesis brindará datos con relación a la eficiencia en la remoción de la carga orgánica aplicando un sistema combinado de tratamiento que deberán ser considerados al momento de diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales.

Los resultados de la presente tesis de investigación podrán usarse para resolver problemas en el tratamiento de las aguas residuales con alta carga orgánica particularmente para aquellas provenientes del desagüe industrial de la pasta de pota. En ese sentido, se podrá utilizar un sistema combinado compuesto de: un sistema anaeróbico de UASB seguido de un sistema aeróbico de lodos activados para obtener una mayor eficiencia de remoción de la carga orgánica.

Además en la investigación se podrá determinar cuál es la máxima concentración del desagüe industrial de la pasta de pota en que se puede trabajar sin que afecte en la eficiencia de remoción de la DBO en la planta piloto con sistema combinado. El efluente a la salida de la planta piloto tendrá que cumplir con los límites permisibles vigentes en las normas peruanas para que puedan ser dispuestos en la red de alcantarillado.

5. HIPOTESIS

La hipótesis de trabajo indica que utilizando el proceso anaeróbico de UASB seguido de un proceso aeróbico de lodos activados para el tratamiento del desagüe industrial del proceso de pasta de papa; se obtendrá una apreciable eficiencia en la disminución de la carga orgánica en términos de DBO y DQO para lograr cumplir con los límites permisibles establecidos en las normas peruana y finalmente poder disponerlas al sistema de alcantarillado.

6. VARIABLES

Con respecto a los indicadores de evaluación en el tratamiento del desagüe industrial del proceso de la pasta de papa, se han considerado para el proceso de monitoreo, las siguientes variables:

6.1. Variables dependientes:

- ***Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)***: Es el parámetro de mayor importancia que nos indica el grado de contaminación en aguas residuales a partir de su contenido de sustancias biodegradables. Ese contenido se expresa en función de la demanda de oxígeno de los microorganismos participantes en la degradación de la materia orgánica.
- ***Demanda Química de Oxígeno (DQO)***: La demanda química de oxígeno (DQO) se refiere al oxígeno consumido en la degradación química de sustancias oxidables. Este consumo incluye las cargas orgánicas e inorgánicas. Se expresa en mg por litro de oxígeno equivalente a la cantidad de oxidante empleado. Un valor DQO elevado indica un agua residual con muchas sustancias oxidables (DQO).
- ***Sólidos Totales (ST)***: Permitirá cuantificar el contenido de materiales suspendidos y disueltos presentes en el efluente. Se obtienen después de someter al agua a un proceso de evaporación a temperaturas comprendidas entre 103 y 105 °C.

- **Sólidos Suspendidos Totales (SST):** Corresponde a la cantidad de material (sólidos) que es retenido después de realizar la filtración de un volumen de agua residual. Es importante como indicador puesto que su presencia disminuye el paso de la luz a través de agua evitando su actividad fotosintética, importante para la producción de oxígeno.
- **Aceites y grasas:** Son materiales flotantes constituido por partículas de grasa y/o películas de aceite que pueden dispersarse sobre una extensa superficie. Dan un aspecto estético desagradable y disminuyen el paso de la luz.
- **Potencial de Hidrógeno (pH):** Monitorear el pH del agua residual, ya que si llega a tener una concentración de iones hidrogeno muy bajo, son difíciles de tratar por medios biológicos.
- **Turbidez:** Monitorear la turbidez del agua residual para determinar si es necesario un tratamiento previo o posterior de filtración.

6.2. Variables independientes:

- **Dilución:** Proceso mediante el cual se disminuye de concentración agregando otra sustancia.
- **Tiempo:** Constituye la variable independiente de mayor incidencia, pues en función a esta se van a monitorear cada una de las variables dependientes descritas anteriormente, en ese sentido se elaborarán cuadros, cálculos y gráficas que van a reflejar el comportamiento de cada una de las variables dependientes durante el tiempo de duración del ensayo.

- **Caudal:** Es el flujo volumétrico que pasa a través de una área determinada por unidad de tiempo, en este caso será medido y controlado por medio de válvulas o graduando la potencia de la bomba antes del ingreso a la planta piloto.
- **Aireación extendida:** Es el flujo volumétrico de aire que pasa a través de un área determinada por unidad de tiempo, en este caso será medido y suministrado por bombas de aireación por un tiempo prolongado.

7. PROCEDIMIENTO DE LA TESIS DE INVESTIGACIÓN

La presente tesis de investigación se llevó a cabo en dos etapas:

- I. **Primera etapa:** *Construcción y adecuación del sistema de lodos activados mediante la determinación del tiempo de saturación del sistema de lodos activados y su eficiencia en la remoción de DBO empleando solo el desagüe de tipo doméstico de UNITRAR utilizando un determinado equipo de aireación.*
- II. **Segunda etapa:** *Determinación de la eficiencia en la remoción de DBO y DQO del desagüe de la industria del proceso de pasta de pota, empleando un sistema combinado de proceso anaerobio (UASB) y el piloto de lodos activados utilizado en la primera etapa.*

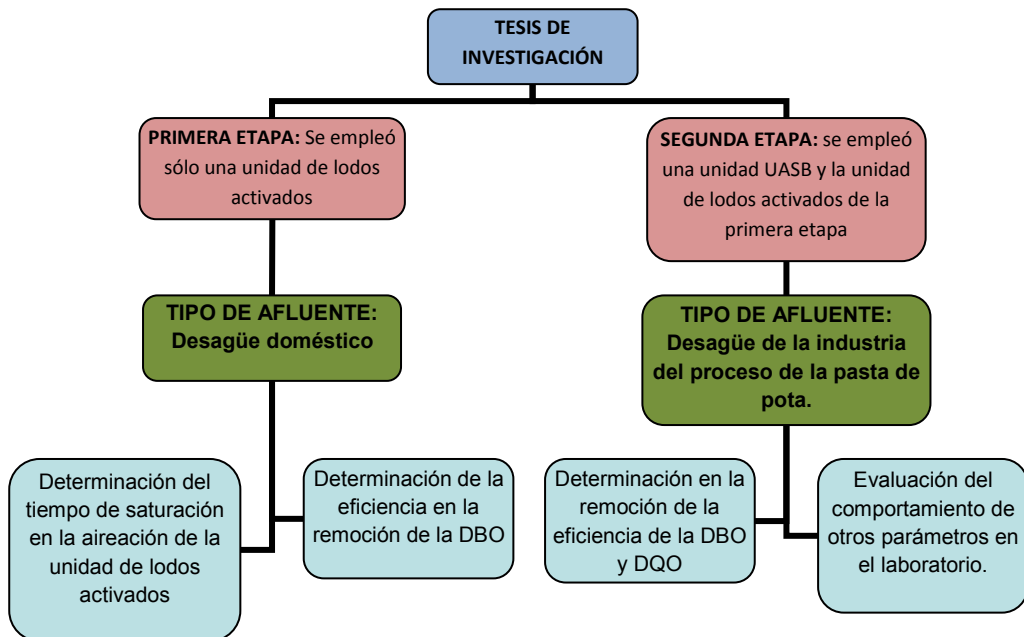


Gráfico 01

Diagrama de la tesis de investigación en sus dos etapas.

7.1. Explicación de la división del proceso de investigación en dos etapas

Al iniciar la tesis de investigación sólo se pensó utilizar la planta piloto de lodos activados para determinar su eficiencia en la remoción de la DBO y DQO de un desagüe de la industria pesquera pero diluida con un desagüe del tipo doméstico. Para ello, se hizo una “evaluación previa” al piloto de lodos activados tratando un afluente de tipo doméstico proveniente de UNITRAR; dicha evaluación fue determinando su comportamiento físico y biológico. A esta parte se le denominó “primera etapa de la tesis de investigación”, los parámetros a medir fueron:

- El tiempo de saturación de oxígeno que suministra un determinado equipo de aireación y la observación de la homogeneidad en la distribución del oxígeno dentro de la planta piloto de lodos activados empleando sólo agua potable.
- Evaluación de los parámetros físico-químicos tales como turbiedad, sólidos totales, pH y oxígeno disuelto.
- La eficiencia de remoción de la DBO en la planta piloto de lodos activados. Para ello se usó sólo un afluente de desagüe del tipo doméstico.

Después de determinar la eficiencia de remoción de la DBO y las características de aireación de nuestra planta piloto de lodos activados (culminación de la primera etapa de investigación), procedimos con la búsqueda de un desagüe de industria pesquera.

En un inicio teníamos planeado trabajar con un desagüe industrial que procesara únicamente pescado pero lamentablemente no encontramos empresas que tengan continuidad en el proceso de enlatado de pescado o de harina de pescado; debido a que era tiempo de veda y los lotes que procesaban eran demasiado bajos; es por ello que lo más próximo a elegir

fue el desagüe industrial de la pasta de pota. Cuando caracterizamos dicho desagüe, nos dimos con la sorpresa que tenía una DBO exorbitante comparado con un desagüe industrial pesquero, es por ello que investigamos en tesis de investigación extranjeras en la que recomiendan que la mejor alternativa para tratar un desagüe industrial con alta carga orgánica es empleando un sistema combinado anaerobio – aerobio; por consiguiente, debido a la alta carga orgánica que presentaba el desagüe industrial optamos por diluir el desagüe industrial de la pasta de pota con un desagüe doméstico propio de la industria y además, agregarle a nuestra planta piloto de lodos activados un sistema de pre-tratamiento como un sedimentador primario debido a la alta cantidad de sedimentos que presenta el desagüe industrial de la pasta de pota y un UASB como unidad de tratamiento para que posteriormente el afluente sea tratado por la unidad de lodos activados construido en la primera etapa de investigación.

A toda esta etapa se le denominó “segunda etapa de la tesis de investigación”, pero los parámetros a medir no fueron sólo la DBO; sino también: DQO, sólidos totales, fijos y volátiles, aceites y grasas, sólidos sedimentables, turbiedad, pH, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura; todo ellos debido a que es un desagüe del tipo industrial.

A continuación explicaremos el desarrollo de la tesis por etapas, empezando con la evaluación previa de la unidad piloto de lodos activados y continuando con el tratamiento del desagüe industrial de pota diluido con un desagüe doméstico propio de la industria.

PRIMERA ETAPA DE LA TESIS DE INVESTIGACIÓN

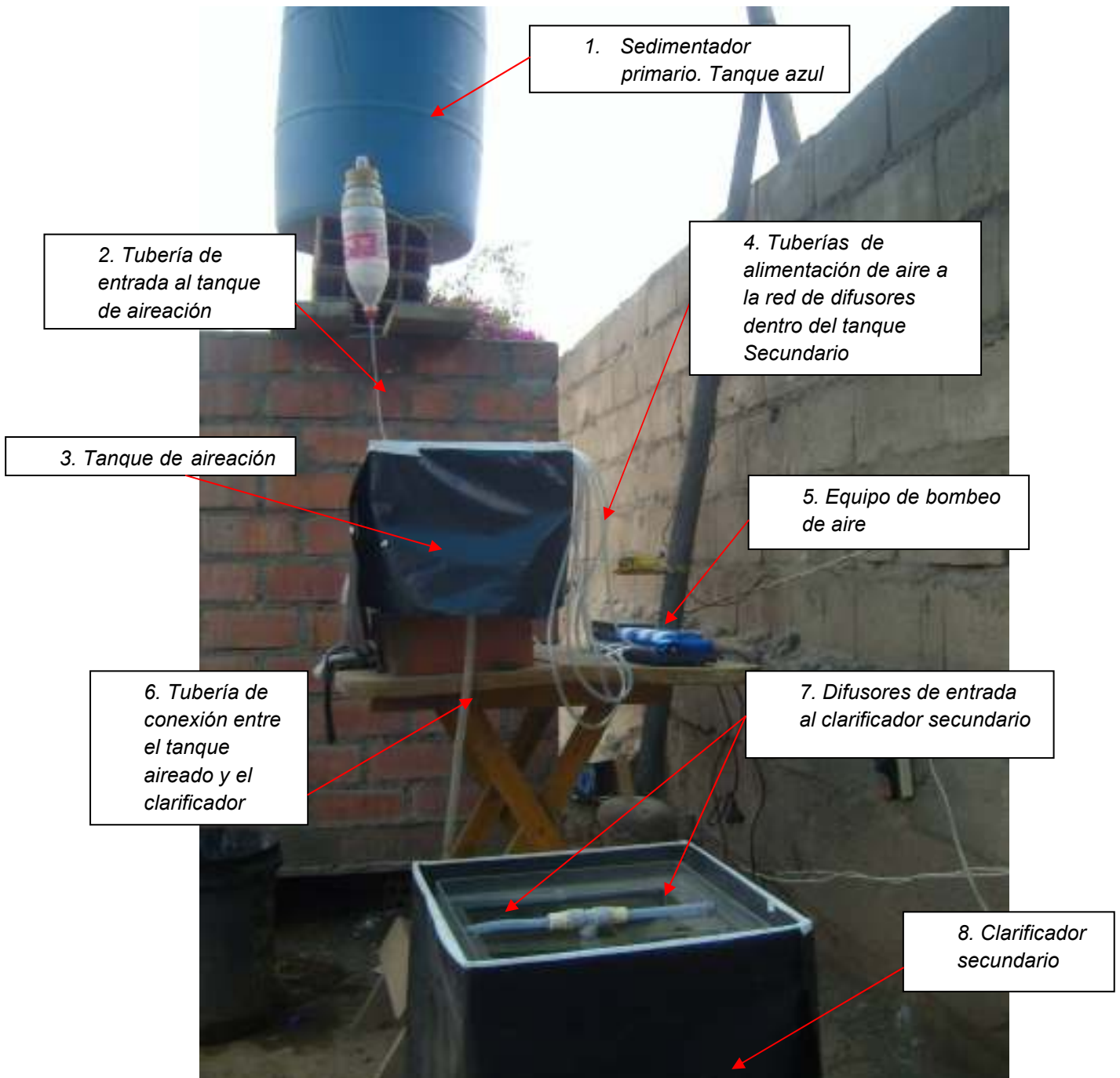
**(Evaluación previa de la unidad
piloto de lodos activados con
agua potable y desagüe
doméstico de UNITRAR)**

8. PRIMERA ETAPA DE LA TESIS DE INVESTIGACIÓN

8.1. Componentes de la planta piloto de lodos activados en la primera etapa de investigación.

A continuación se muestra la planta piloto de lodos activados que se utilizó en la primera etapa, cabe resaltar que esta planta piloto se encontraba en UNITRAR y el efluente a tratar fue el desagüe de tipo doméstico.

(Parte I)



8.2. Materiales utilizados para la construcción de la planta piloto en la primera etapa de investigación.

Los materiales que se utilizaron para la construcción de cada componente de la planta piloto en la primera etapa fueron:

8.2.1. Sedimentador primario

El sedimentador primario es el primer componente de la planta piloto, cuya función es la de remover en un porcentaje los sólidos sedimentables del desagüe doméstico o desagüe de la industria pesquera; según sea el caso, antes de entrar directamente al tanque de aireación.

A) Componentes

1. Una boya o flotador de plástico
2. Una manguera flexible de plástico de ½".
3. Tanque azul de 250L.

B) Instalación



Se utilizó un flotador amarrado con un alambre a un extremo de una manguera y el otro extremo de dicha manguera estaba conectado con el tubo de salida del tanque azul como se observa en la figura. Esto se realizó con la finalidad de que cuando se llene el tanque de 250L con el desagüe doméstico (o industrial posteriormente), la boya flote y mantenga el extremo amarrado de la manguera a una distancia de 10cm con respecto al espejo de agua, para que así no se tome el desagüe sedimentado del fondo del tanque, ni las partículas flotantes en el espejo de agua, ya que si estos salen del tanque, podrían atorar los conductos.

Además, ingresarían mas sedimentos a la unidad piloto de lodos activados pudiendo alterar la eficiencia del proceso. Es por ello que este tanque trabaja no sólo como un tanque de almacenamiento, sino también como un sedimentador primario.

8.2.2. Entrada al tanque de aireación

Consta de una tubería flexible transparente que une al sedimentador primario con el tanque de aireación. Al ingreso del tanque de aireación se realizó una distribución homogénea de la entrada del desagüe a lo ancho de dicha unidad.

A) Componentes

1. Tubería flexible transparente de 1/8"
2. Válvula esférica de bronce de 1/4"
3. Tee de PVC de 1/4".

B) Instalación



En la primera imagen se puede observar el tanque azul de 250L ya explicado anteriormente; a su salida se observa un caño de plástico seguido de una botella de plástico, dicha botella fue usada como una especie de embudo para poder disminuir el diámetro de salida del tanque azul hasta 1/8", a la salida de la botella de plástico se conectó una manguera de plástico de 1/8" que conecta al tanque azul con el tanque de aireación del piloto de lodos activados; a esta manguera de 1/8" fue instalada una válvula del tipo esférica de bronce de 1/4", con la finalidad de poder graduar fácilmente el caudal de entrada a la unidad piloto de lodos activados de 1.5ml/seg.

En esta válvula se presentaron problemas de atoros continuamente, por tal motivo se tuvieron que hacer constantes limpiezas para asegurar un caudal constante de entrada. Se recomienda buscar otros tipos de control de caudal.



En la imagen izquierda se encuentra la forma que elegimos como la entrada al tanque de aireación del piloto de lodos activados.

Tiene forma de "T" debido a que se quiso que el desagüe llegue por la parte superior y se distribuya equitativamente en el fondo del tanque, tanto a su lado derecho como al izquierdo.

En esta figura se observa que las ramificaciones de distribución a la entrada del tanque aireado presentan agujeros pequeños y además los extremos están taponeados, esto se realizó con la finalidad de la salida del desagüe sea hacia adelante y uniforme, y no por los extremos y salidas laterales. Esto ayudara a tener un mejor distribución a la entrada del tanque y por ende se espera una buena remoción de materia orgánica.

En esta figura se observa que el ingreso será sumergido y por debajo de los tubos difusores de aire; ello se eligió ya que se quiso que el desagüe tenga mayor tiempo de contacto dentro del tanque aireado partiendo desde el fondo del tanque hacia la superficie, además se pensó que si había una formación de lodo en el fondo del tanque, el desagüe pasaría primero por dicho lodo; como un tratamiento previo, para después ser mezclado con el oxígeno de los aireadores y continuar con su tratamiento.

8.2.3. Tanque de aireación

El tanque de aireación es la unidad más importante de la planta piloto de lodos activados, en ella ocurre es un proceso de tratamiento por el cual el agua residual y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque denominado reactor (la oxidación de la materia biodegradable en el tanque de aireación) formándose así los flóculos biológicos.

A) Dimensiones:

1. Se construyó un tanque en acrílico transparente, cuyas dimensiones son de 0.5 x 0.3 x 0.25 de alto, con un volumen útil de 30L.
2. La salida de dicho tanque es a través de una pantalla de rebose y recolectada en una caja adjunta a la unidad.
3. Se forró con un plástico negro en las paredes para evitar la formación de algas en la unidad.

B) Instalación



En la primera imagen se encuentra la unidad más importante del piloto de lodos activados: el tanque de aireación. Las dimensiones están hechas a escala de laboratorio. Se hizo en material acrílico transparente con la finalidad de poder ver lo que pasa dentro del tanque y además, ver la distribución homogénea del oxígeno dentro del tanque. En la imagen se encuentra llena de agua potable, ya que se está acondicionando para poder determinar el tiempo de saturación de oxígeno que va a suministrar mi equipo de aireación.

En la segunda figura se observa la salida del tanque de aireación, es una caja que recolecta el efluente por "rebose", en el fondo de dicha caja de recolección hay un agujero con una manguera que conecta dicha salida con la entrada del sedimentador secundario

8.2.4. Clarificador secundario

Esta unidad se encuentra después del tanque biológico o tanque de aireación. En ella ocurre la floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado. Son usados con el fin de reducir la DBO y el contenido de sólidos en suspensión de las aguas residuales previo tratamiento biológico principal.

A) Componentes

1. Esta unidad está construida con material acrílico transparente de 0.3x0.3x0.3m. (Ver planos en anexos)
2. El ingreso del desagüe tratado en el tanque de aireación es por el centro del clarificador y distribuido con difusores en la superficie de dicha unidad.
3. La salida de dicha unidad es por rebose y recolectada por canaletas perimetrales a la unidad.

B) Instalación



En esta imagen se encuentra el clarificador secundario; esta unidad se encuentra seguida del tanque de aireación. Fue construida con material de acrílico transparente con la finalidad de visualizar lo que ocurre dentro de la unidad, además tiene forma de pirámide invertida con la finalidad de que al sedimentar los flóculos se dirijan hacia el fondo-central de la unidad (ver los planos en anexos). La entrada es a través de una manguera flexible que viene de la caja de recolección del tanque de aireación e ingresa por debajo al clarificador secundario hasta la parte superior donde se encuentra una T y dos mangueras ubicadas a cada uno de sus extremos con orificios para poder distribuir equitativamente el caudal de ingreso y disminuir la velocidad de entrada al clarificador. La salida del desagüe tratado es recolectada por rebose a través de una canaleta ubicada perimetralmente en su parte superior y estas a su vez tiene dos mangueras de 1/8" conectadas a la base de la canaleta perimetral y recolectan el desagüe y lo llevan al drenaje.

8.2.5. Equipo de aireación

1. 03 Bombas de aireación "Aquarium air pump" de 5 W de potencia y 220-240 V y de doble salida. Cada bomba suministra 4 L/min con una presión de 0.02x2Mpa.
2. 06 tuberías difusoras de aire de material flexible marca "boyu – Air curtain" con una longitud de 45cm cada una.
3. Tuberías de flexibles de 1/4" que interconectan las tuberías difusoras con las bombas de aireación.

A) Bombas de aireación

Salida de aire del equipo de aireación



Se contó con un equipo de aireación que consistía en 03 bombas de aireación para pecera marca AQUAPUMP (chinas) de 5W de potencia de 220V y de doble salida cada bomba. Cada salida suministra 2L/min de aire, Se contó con este tipo de modelo debido a que la unidad de lodos activados era pequeña y además es un equipo rentable de aireación.

Tubería flexible de 1/8"

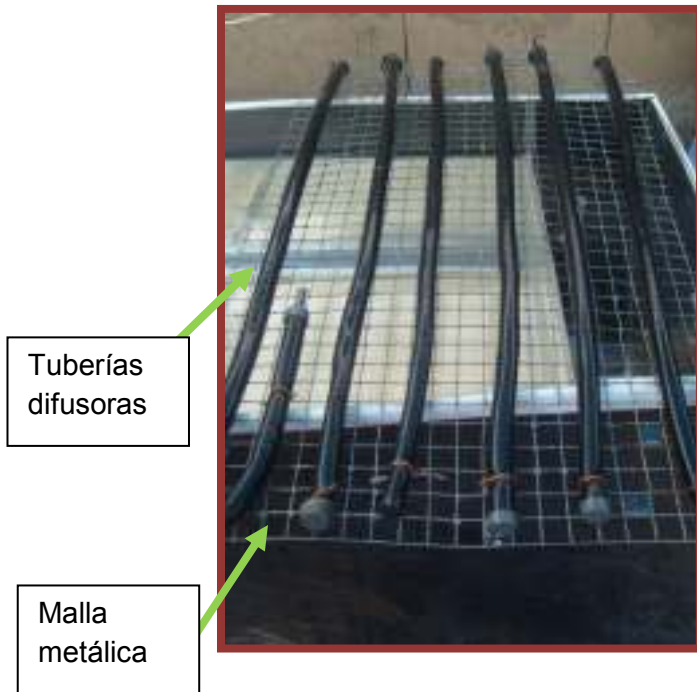


La imagen demuestra cómo se instaló el equipo de aireación en la unidad de lodos activados. Ahí se observan las tres bombas cuyos orificios de salidas de aire están conectadas con tuberías flexibles de 1/8", estas tuberías flexibles a su vez están conectadas con las tuberías difusoras de burbuja fina ubicadas dentro del tanque de aireación.

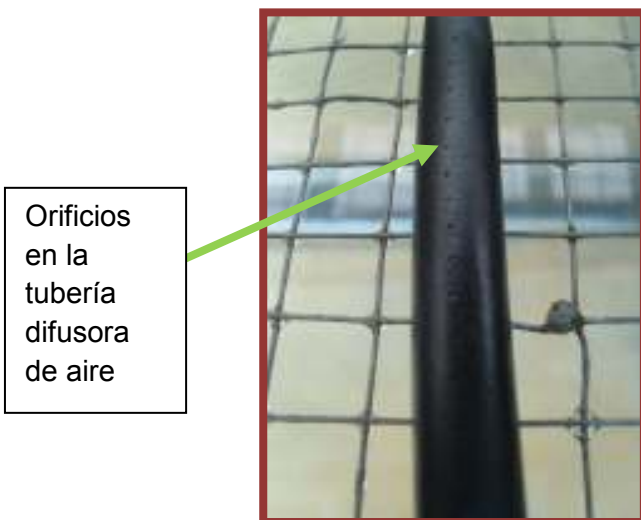


Cada bomba suministra 4L/min, trabaja con 220V, 5W de potencia y con una presión de 0.002x2Mpa

8.2.6. Tuberías difusoras



En esta imagen se muestra la forma de distribución de las tuberías difusoras de burbuja de aire finas de 45cm de largo (cortinas de aire). Se pueden preguntar en el mercado de venta de productos para piscinas como “tuberías flexibles de cortina de aire”. Elegimos este tipo de tuberías de aireación debido a que tiene orificios pequeños que hacen que el aire salga en forma de burbujas pequeñas como una cortina de aire, esto favorece a la transferencia de oxígeno y por ende, mejoraría la eficiencia de la unidad de aireación. Se decidió que la distribución de tuberías difusoras se haga encima de una malla metálica con la finalidad de darle a las tuberías difusoras mayor resistencia a la flotación y homogeneidad en la distribución de las tuberías en el fondo.



En esta imagen está el detalle de las tuberías flexibles de cortina de aire en donde se pueden apreciar los pequeños orificios de salida. Tener cuidado durante el funcionamiento del piloto, ya que por ser tan pequeños los orificios, estos podrían sufrir atoros; es por ello que es recomendable hacer una limpieza de las tuberías periódicamente.



En esta imagen se observa la forma de distribución de las 06 tuberías flexibles de cortina de aire en el fondo del tanque, son de 45cm de largo y están conectadas por uno de sus extremos a las mangueras transparentes que a su vez están conectadas a las bombas de aire listas para su funcionamiento.

8.3. Metodología de trabajo aplicada a la primera etapa de investigación

El primer paso de la evaluación de la eficiencia de la planta piloto de lodos activados fue el de determinar el tiempo de saturación y la concentración de saturación utilizando el equipo de aireación.

8.3.1. Determinación del tiempo de saturación de oxígeno en el tanque de aireación

En esta etapa del proceso de instalación de la planta piloto de lodos activados, se procedió con la determinación de la tasa de saturación de oxígeno en el tanque de aireación; para ello, se analizó la variación de la concentración de oxígeno en 05 puntos del tanque de aireación a través del tiempo. A continuación se describirán los componentes, procedimiento de instalación, medición y resultados obtenidos. Las imágenes nos mostrarán el proceso de aireación en el tanque aireado.

A) Funcionamiento del equipo de aireación y medición

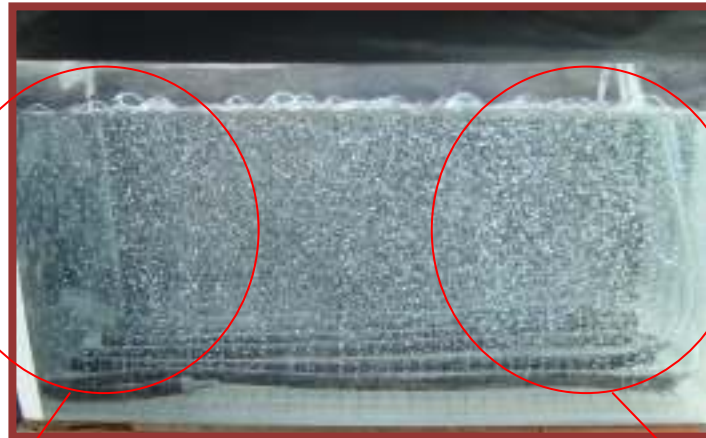
Con estas imágenes queremos mostrar la distribución de la aireación en el fondo del tanque aireado y además visualizar el tamaño de las burbujas de aire que se mezclan con el agua.



Esta imagen muestra una vista de planta del tanque de aireación, se observa la formación de burbujas en la superficie y no hay espacios muertos dentro del tanque. En el fondo se observan los tubos difusores del aire.

En estas imágenes observamos la formación de burbujas en el tanque de aireación, son uniformes y favorecen el proceso de aireación.

Las burbujas son pequeñas lo cual favorece en la transferencia de oxígeno dentro del tanque.



Tanque aireado en vista perfil



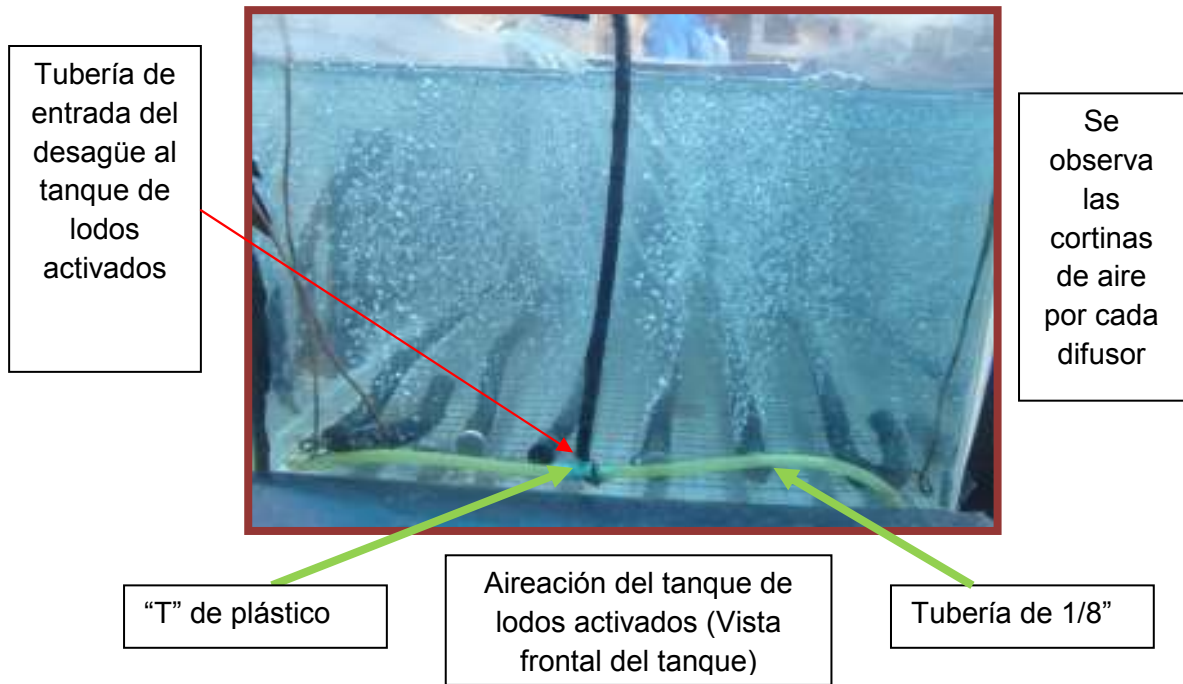
Ampliación del lado izquierdo



Ampliación del lado derecho

En esta imagen se muestra la forma de aireación del equipo en su totalidad y adicionalmente dos acercamientos, uno del lado izquierdo y otro del lado derecho del tanque, (vista lateral de la unidad de lodos activados) esto se hizo para poder observar mejor lo que ocurre dentro del tanque. Se puede observar una aireación homogénea y con burbujas pequeñas en forma de cortinas de aire a lo largo del tanque; además en las esquinas se trató de evitar en lo posibles espacios muertos para obtener una buena aireación en esos puntos también.

La distribución de las tuberías difusoras fueron de tal manera que eviten espacios muertos en el tanque de aireación.



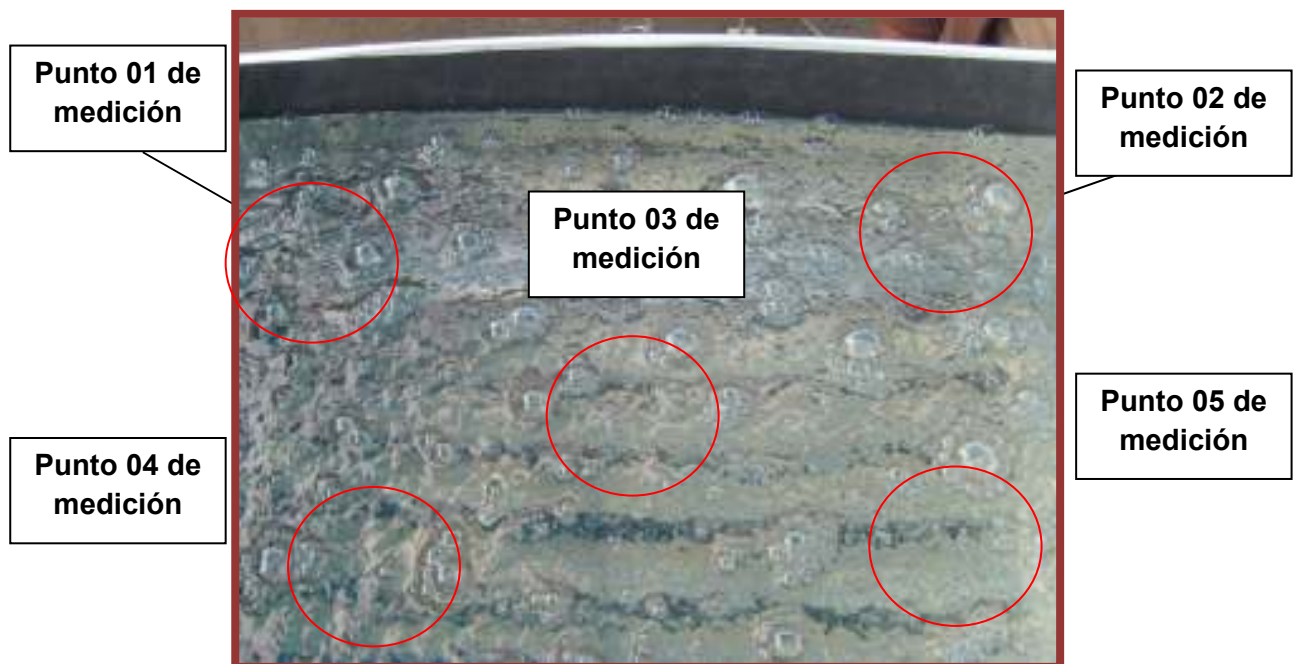
En esta imagen se muestra la aireación del equipo (vista frontal de la unidad de lodos activados) se puede observar también una aireación homogénea. Se forma las cortinas de aire que salen de los tubos flexibles difusores de aire de burbuja fina.

Se observa también la entrada del agua al tanque de aireación en forma de "T" por debajo de los difusores y por el fondo del tanque de manera ascensional, para que pueda distribuirse uniformemente en el fondo del tanque de aireación.

8.3.2. Cálculos y resultados de la prueba de saturación de oxígeno en el tanque de aireación

Para la determinación del tiempo de saturación de oxígeno dentro del tanque aireado se tomaron 05 puntos en el tanque de aireación para la medición de oxígeno disuelto, 04 puntos tomados en las esquinas del tanque y 01 punto tomado en el centro del tanque a diferentes intervalos de tiempo.

PUNTOS DE MEDICIÓN DE OXIGENO EN EL TANQUE DE AIREACIÓN



Los puntos en las esquinas fueron escogidos como punto de muestreo representativos debido a que en la mayoría de los casos; para tanques o lagunas rectangulares, el número de espacios muertos en la aireación se encuentran ahí. Es necesario saber en cuanto se llega a saturar esos puntos ya que si se quiere buscar mejor eficiencia en el proceso, el número de espacios muertos en la aireación debe ser cero. Se escogió también en el centro debido a que es el punto de mayor concentración de oxígeno y por ello queremos saber en ese punto a que concentración se llega y en qué tiempo, para poder ser usado como patrón y así ser comparado con los puntos ubicados en las esquinas.

A continuación se midió el oxígeno disuelto con ayuda del equipo oxímetro, y los resultados fueron los siguientes:

Medición del oxígeno disuelto en el laboratorio



Muestra de cada punto que se va a medir

Sensor del equipo de medición

Equipo que mide el oxígeno disuelto

Las muestras que se tomaron fueron al mismo tiempo en cada uno de los 05 puntos del tanque, además fueron tomados en intervalos de 15 minutos cada una de ellos. Debido al gran número de puntos y la necesidad de la rapidez en la medida de la concentración de oxígeno, se optó por usar el oxímetro y los resultados fueron anotados en tablas que a continuación se van a presentar.

Cada muestra se llevo al laboratorio de UNITRAR para hacer la respectiva medición del oxígeno disuelto y también de la temperatura.

DETERMINACION DEL TIEMPO DE SATURACION

Antes de la puesta en marcha de la planta piloto durante la primera etapa de investigación, se determinó el tiempo de saturación del oxígeno disuelto en el tanque de lodos activados para saber en que tiempo se alcanzaba el oxígeno disuelto de saturación en el tanque de aireación. Esta prueba se realizó con agua potable en el tanque de aireación.

Primero, se utilizó el bisulfito de sodio como reactivo para dejar el oxígeno disuelto en 0 mg/l en el tanque de aireación al inicio de la prueba.

Luego, se procedió a medir el oxígeno disuelto en el tanque para cada 15 min. Siendo el oxígeno inicial del agua potable 0,01mg/l.

A continuación se muestra los puntos en los que se realizó la prueba de saturación. Fueron 5 puntos de medición: un punto en cada esquina y un punto en el centro del tanque de aireación.



A continuación presentamos un diagrama de ubicación de los puntos en donde se realizó la medición del oxígeno disuelto.

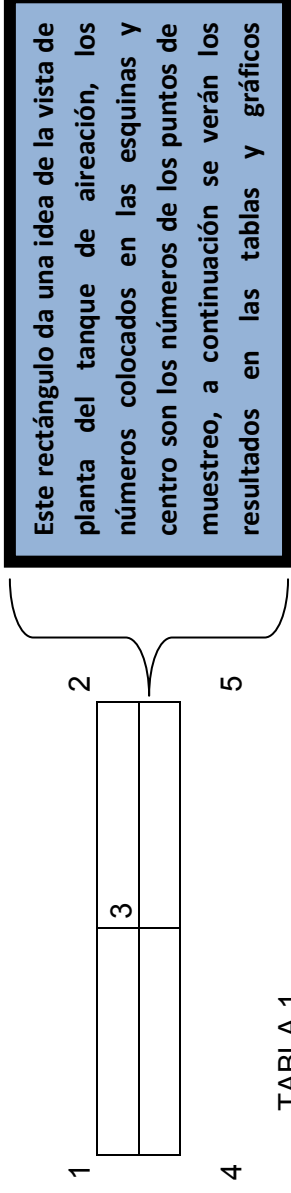


TABLA 1

TIEMPO(min)	TEMPERATURA(°C)	OXIGENO DISUELTO(mg/l)
0	20,7	0,08
15	20,5	3,40
30	20,5	4,36
45	20,5	4,78
60	20,3	5,11
75	20,4	5,58
90	20,5	5,86
105	20,5	6,17
120	20,8	6,42
135	21,1	6,85
165	20,7	7,61
195	20,6	7,93

La tabla 1 muestra la cantidad de oxígeno disuelto en el punto 01 de medición , se puede observar que inicialmente tenía 0 de oxígeno disuelto debido a que se adiciono bisulfito de sodio al tanque de aireación.

TABLA 2

TIEMPO(min)	TEMPERATURA(°C)	OXIGENO DISUELTO(mg/l)
0	20,7	0,08
15	20,5	3,65
30	20,5	4,08
45	20,5	4,84
60	20,3	5,18
75	20,4	5,62
90	20,5	5,94
105	20,5	6,21
120	20,8	6,46
135	21,1	6,89
165	20,7	7,69
195	20,6	7,95

Esta tabla indica la variación creciente del la concentración de oxígeno disuelto en el tanque aireado para el punto 02, observar que el intervalo de tiempo entre cada una de las tomas de muestras es de 15 minutos.

TABLA 3

TIEMPO(min)	TEMPERATURA(°C)	OXIGENO DISUELTO(mg/l)
0	20,7	0,08
15	20,5	3,86
30	20,5	4,23
45	20,5	4,78
60	20,3	5,13
75	20,4	5,58
90	20,5	6,09
105	20,5	6,50
120	20,8	6,99
135	21,1	7,37
165	20,7	7,89
195	20,6	8,05

Esta tabla indica la variación creciente del la concentración de oxígeno disuelto en el tanque aireado para el punto 03, observar que el intervalo de tiempo entre cada una de las tomas de muestras es de 15 minutos.

Estas tablas indican el oxígeno disuelto en los puntos 02 y 03. Se puede notar que después de 195 min el oxígeno disuelto tiende a ser constante.

TABLA 4

TIEMPO(min)	TEMPERATURA(°C)	OXIGENO DISUELTO(mg/l)
0	20,7	0,08
15	20,5	3,79
30	20,5	4,29
45	20,5	4,82
60	20,3	5,08
75	20,4	5,75
90	20,5	6,65
105	20,5	6,92
120	20,8	7,20
135	21,1	7,64
165	20,7	7,80
195	20,6	8,05

Esta tabla indica la variación creciente del la concentración de oxígeno disuelto en el tanque aireado para el punto 04, observar que el intervalo de tiempo entre cada una de las tomas de muestras es de 15 minutos.

TABLA 5

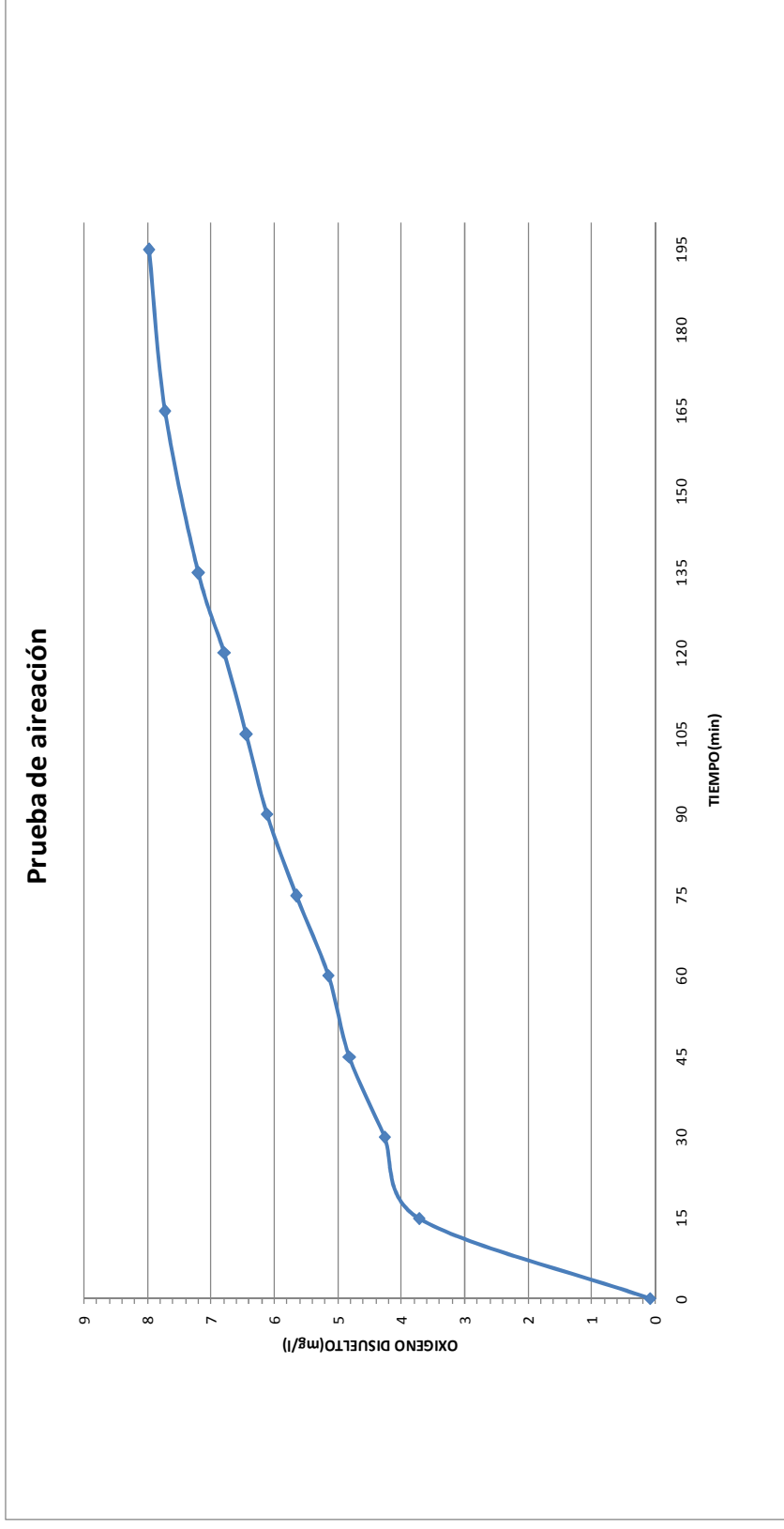
TIEMPO(min)	TEMPERATURA(°C)	OXIGENO DISUELTO(mg/l)
0	20,7	0,08
15	20,5	3,91
30	20,5	4,38
45	20,5	4,85
60	20,3	5,24
75	20,4	5,77
90	20,5	6,06
105	20,5	6,40
120	20,8	6,87
135	21,1	7,21
165	20,7	7,65
195	20,6	7,92

Esta tabla indica la variación creciente del la concentración de oxígeno disuelto en el tanque aireado para el punto 05, observar que el intervalo de tiempo entre cada una de las tomas de muestras es de 15 minutos.

En la tabla 5 se puede apreciar que luego de 195 min de realizar la prueba se obtuvo el valor mas bajo de oxígeno disuelto para el punto 05 de medición.

Esta gráfica es el resultado de la prueba de aireación para determinar el tiempo de saturación en el tanque. Se puede observar que la concentración de oxígeno va en aumento al transcurrir el tiempo, además sorprende que siga aumentando la concentración de oxígeno pasadas las 2h de aireación, ya que en promedio en este intervalo de tiempo se debe de llegar a la concentración de saturación de oxígeno en el tanque.

Al final se llegó a un tiempo de saturación de 2.5h con una concentración de saturación de oxígeno de 7.8mg/l. Concluimos que fue un buen resultado ya que se llegó a la saturación en un tiempo aceptable con una concentración de oxígeno óptima de trabajo.



8.4. Parámetros medidos en el laboratorio

Para esta primera etapa de la tesis de investigación se analizaron los siguientes parámetros físico-químicos:

Parámetros

1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).
2. Prueba de determinación de sólidos (totales, disueltos totales, suspendidos totales, fijos y volátiles).
3. Turbiedad.
4. pH.
5. Oxígeno disuelto (OD).
6. Conductividad.
7. Temperatura.

A. Determinación de la DBO

1. Para esta prueba se tomaron 1L de muestra para cada punto a analizar en la planta piloto.
2. Dejar airear el agua destilada con ayuda de una bomba de inyección de aire hasta obtener un OD de 8mg/L como mínimo.



3. Se preparó 2L de agua destilada (agua de dilución) con nutrientes: 2ml de ioduro de nitrógeno, 2ml de sulfato manganoso, 2ml de cloruro de calcio y 2ml de cloruro férrico.



4. Se vierte en los frascos para la prueba de DBO5 hasta la mitad. A continuación se le inocula la muestra del desagüe doméstico de cada punto del piloto según la tabla.

	P1	P2	P3	P4
Tanque azul	0.5ml	1ml	5ml	7ml
Sedimentador primario	0.5ml	1ml	5ml	7ml
Tanque aireado	0.5ml	2ml	5ml	10ml
Clarificador secundario	0.5ml	2ml	5ml	10ml



5. Se completan dichos frascos con el agua de dilución hasta el rebose, tapan el frasco y dejar el sello de agua como medida de seguridad. Dejar por 5 días en una incubadora a una temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$.



B. Determinación de sólidos

Para la prueba de sólidos totales y disueltos se necesitaron 8 cápsulas; son cuatro puntos de monitoreo y en cada punto se necesita dos cápsulas. De las dos cápsulas por cada punto, en una de ellas se agrega la muestra del desagüe sin filtrar para determinar los sólidos totales y en la otra cápsula se agrega la muestra filtrada para determinar los sólidos disueltos.

1. Pesar las 08 cápsulas (una para cada punto) en la balanza analítica y apuntar los valores. Son 04 cápsulas para determinar los sólidos totales y 04 cápsulas para poder determinar los sólidos disueltos.



2. En 04 cápsulas agregar 25ml de muestra filtrada con papel filtro Wattman N°40 para los sólidos disueltos y en las otras 04 cápsulas agregar 25ml de muestra sin filtrar para los sólidos totales. Llevarlas a la plancha de calentamiento para evaporar el líquido.



Filtrado de la muestra para determinar disueltos

3. Llevar las 04 cápsulas con la muestra sin filtrar (para los sólidos totales) al horno a una temperatura de 105°C por 60 minutos, luego dejar enfriar en el desecador y pesar.



Las cuatro cápsulas son puestas al horno.

Se colocan en el horno para determinar sólidos totales

4. Llevar las 04 cápsulas con la muestra filtrada (para los sólidos disueltos) al horno a una temperatura de 180°C por 60 minutos, luego dejar enfriar en el desecador y pesar.

5. Llevar las cápsulas sacadas del horno a 105°C y llevarlas a la mufla a una temperatura de 550°C por 25 min, lo mismo se realizó con las cápsulas que estuvieron a 180 °C. Dejar enfriar por una hora para luego pesar.



Se colocan en la mufla a 550°C para los sólidos volátiles.



Luego se pesan las capsulas en la balanza analítica.

Balanza analítica.

Desecador

C. Determinación de la Turbiedad

Llenar la celda del turbidímetro, limpiar bien asegurándose que no estén empañadas las paredes de dicha celda y leer en el turbidímetro.

Se lee la turbiedad con el Turbidímetro Nefelométrico.



Muestra de cada punto de monitoreo para la medición de la turbiedad.

D. Determinación del pH

Llenar el frasco de 50 ml y llevarlo al equipo para la realización de la lectura del pH.

El pH es medido con el potenciómetro, recordar que se debe calibrar el equipo antes de usar.



Muestra de cada punto de monitoreo para la medición del pH.

E. Determinación del Oxígeno disuelto

Determinación de la concentración de oxígeno disuelto

El método de Winkler permite determinar la cantidad de mg/l de oxígeno disuelto a través de una valoración química.

- Una solución de sulfato de manganeso (II) se añade a la muestra que se va a analizar.
- Después de tratarla con hidróxido sódico y yoduro potásico, el manganeso reacciona con el oxígeno para formar un compuesto estable de manganeso y oxígeno (el precipitado que se forma es hidróxido de manganeso (III) de color blanco).
- Luego se trata la solución con ácido, que disuelve el hidróxido y forma una cantidad proporcional de yodo libre (proporcional al oxígeno disuelto original).
- Luego se determina la cantidad de yoduro en la solución. Para esto se titula con una solución estandarizada de tiosulfato sódico hasta que todo el yodo libre (I₂) es cambiado a yoduro (I⁻).
- El almidón se torna púrpura en presencia de yodo pero es incoloro en contacto con yoduro. El almidón es el indicador de que todo el yodo se convirtió en yoduro. La cantidad de tiosulfato usado en la titulación es proporcional al yoduro, que es proporcional al O₂ disuelto, y se calcula, pues, determinando la cantidad de tiosulfato utilizado.

F. Determinación de la conductividad

Llenar el frasco de 50 ml y leer la conductividad con el conductímetro.

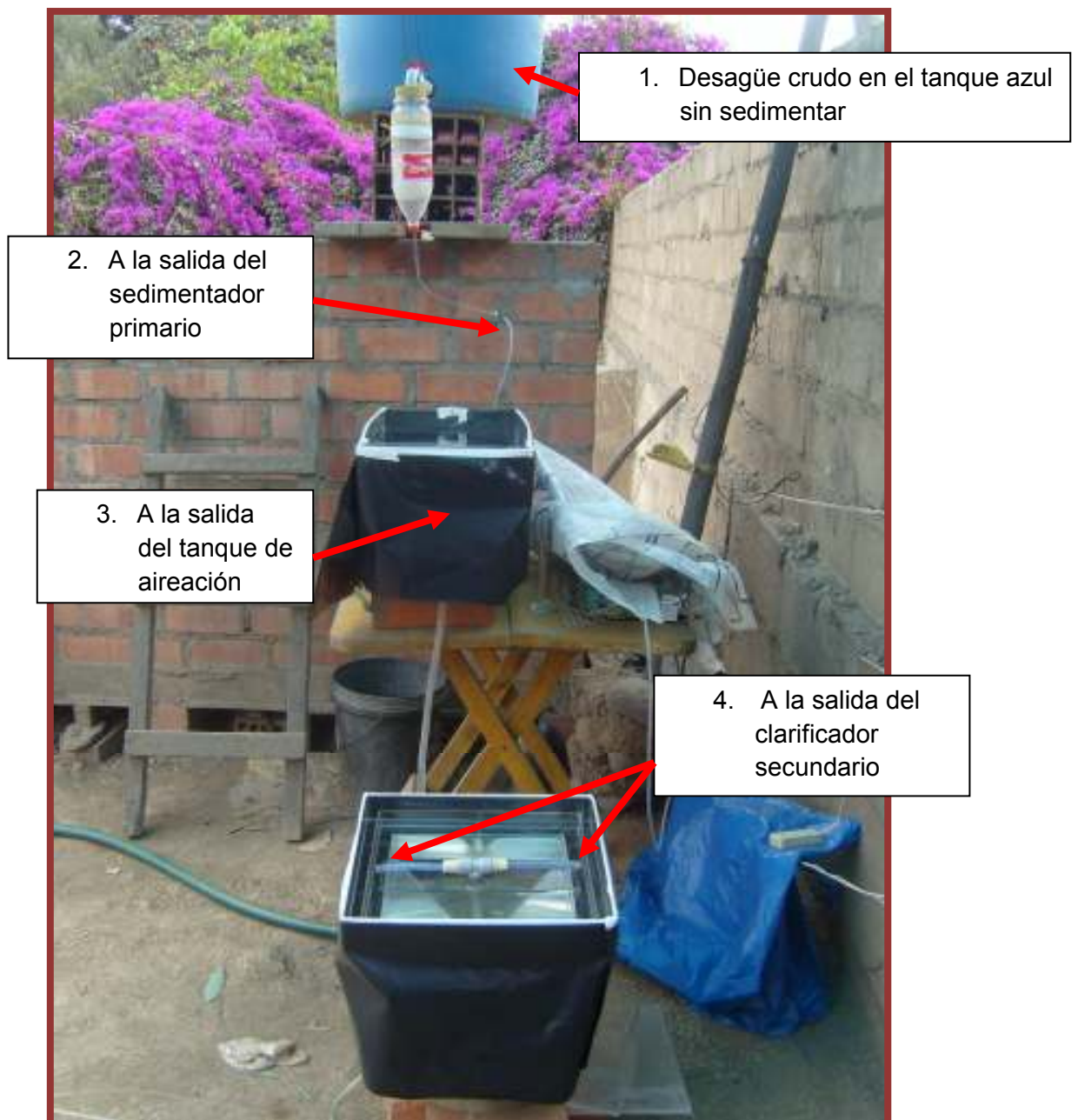
Muestra de cada punto de monitoreo para la medición la conductividad.



Se muestra la manera en que se realizó la lectura de la conductividad en el laboratorio.

8.5. Puntos de monitoreo en la planta piloto ubicada en UNITRAR durante la primera etapa de investigación

Se tomaron muestras de 04 puntos de la planta piloto. A continuación se muestra la imagen de la planta piloto de lodos activados señalando los cuatro puntos en donde se tomaron las muestras para medir los parámetros en el laboratorio; se escogieron estos puntos representativos debido a que ayudará a evaluar la eficiencia de cada unidad del piloto (sedimentador primario, tanque aireado, sedimentador secundario).



8.5.1. Imágenes de la toma de muestra en los cuatro puntos de monitoreo.

Punto 01: Desagüe crudo sin sedimentar



En esta imagen se muestra el tanque azul con el desagüe doméstico almacenado listo para arrancar el funcionamiento del piloto.

De aquí se toma el primer punto de análisis para determinar la carga con que ingresa al piloto. Se puede observar la boya que suspende un extremo de la manguera 10cm por debajo del espejo del agua y un desagüe con un color característico de un desagüe doméstico.



Se observa cómo se tomó la muestra en el tanque azul. Éste fue el primer punto de prueba en el piloto. Se sumergió el frasco de toma de muestra hasta una profundidad mayor a los 10cm de la boca de la manguera que se encuentra suspendida por la boya; esto se hizo con la finalidad de recolectar el desagüe con sedimentos que está por debajo de la boca de la manguera y poder compararla con el desagüe a la salida del tanque azul que se encuentra con menor cantidad de sólidos sedimentables.



Recordar que el tanque azul actúa como sedimentador primario ya que recolecta el desagüe a 10cm por debajo del espejo de agua.

Punto 02: Salida del sedimentador primario.



Se muestra la imagen del muestreo a la salida del tanque azul; esta muestra es captada a 10cm del espejo de agua dentro del tanque azul debido a la manguera suspendida por la boya dentro del tanque. Se observa un desagüe de mayor claridad comparada con la turbiedad que presentaba en las imágenes anteriores, dentro del tanque azul.

Punto 03: Tanque de aireación

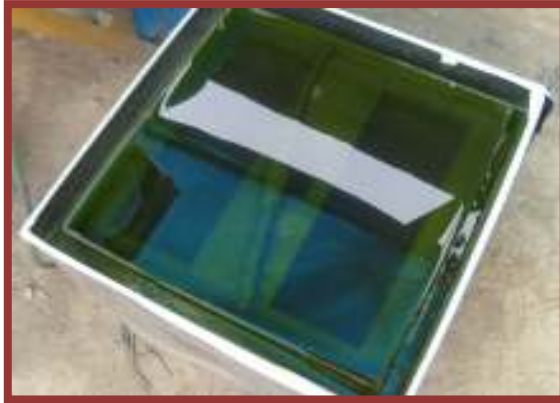


Se observa el muestreo en el tanque de aireación. Este proceso se realizó por medio de un SIFONAJE con ayuda de una jeringa y una tubería flexible.

Esto se realizó con la finalidad de captar el desagüe tratado del fondo del tanque en el punto cercano a la salida por rebose en el tanque aireado.

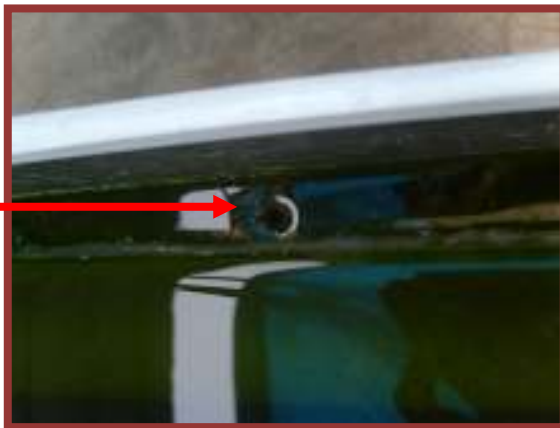
Toma de muestra a la salida del tanque de aireación, con una tubería de 1/8".

Punto 04: Salida del clarificador secundario



Esta es una imagen del clarificador secundario con presencia de formación de algas dentro de la unidad, este es un problema que tuvimos que lidiar siempre, ya que aumentaba la turbiedad y la concentración de oxígeno a la salida.

Salida del clarificador secundario



En esta imagen se muestra una de las salidas de la canaleta de recolección por rebose que se encuentra en la parte superior y de forma perimetral a la unidad.

Se observa como las algas son arrastradas hacia la salida y acumuladas en la canaleta.

Tuvimos que realizar operaciones de limpieza periódicamente.

Clarificador secundario



En esta imagen se observa la forma de cómo se tomó el cuarto y último punto de muestreo a la salida del sedimentador secundario. Se conectaron 02 mangueras flexibles a los agujeros de la canaleta de recolección y se unieron con una "Y".

"Y" de plástico, es el punto donde se tomó la muestra.

Es la toma cercana de cómo se recolectó el desagüe tratado a la salida del clarificador secundario. Las mangueras tienen presencia de algas y el efluente recolectado tiene un color medio verdoso característico debido a la presencia de algas.



"Y" de plástico, se nota la presencia de algas por el color verde.

Frasco de vidrio de 100 ml

8.6. Comparación visual de las muestras obtenidas en los cuatro puntos de monitoreo de la planta piloto.



En esta imagen se observa una remoción a simple vista de la turbiedad y color en el afluente. Se observa de manera gradual; punto por punto, cómo mejora la calidad del desagüe usando el sistema piloto de lodos activados. Podemos concluir que la aireación es suficiente para el tratamiento del desagüe doméstico.

Punto 1:
Desagüe crudo del tanque azul

Punto 2:
Salida del sedimentador primario

Punto 3:
Salida del tanque de aireación

Punto 4:
Salida del clarificador secundario

8.7. Cálculos y resultados de la I etapa de Investigación

En la primera etapa de la presente tesis de investigación se evaluó principalmente la eficiencia en la remoción de la carga orgánica expresada como demanda bioquímica de oxígeno (DBO), así como también la eficiencia en la remoción de la turbidez y sólidos totales de la planta piloto instalada en UNITRAR.

Cabe recordar que el efluente captado a nuestra planta piloto es aquel que proviene de la salida del tanque séptico de la planta de tratamiento de UNITRAR.

El día 22 de Noviembre del 2010 se dio inicio a la evaluación de la planta piloto, tomando muestras de manera diaria de lunes a viernes en los puntos: sedimentador primario, salida del sedimentador primario, tanque de aireación y salida del sedimentador secundario. El día 27 de Noviembre del 2010, finalizó la evaluación de la primera etapa.

Las muestras tomadas se identificaron de la siguiente manera:

Componentes	Descripción
Sedimentador primario	<i>Punto N° 1</i>
Salida del sedimentador primario	<i>Punto N° 2</i>
Tanque de aireación	<i>Punto N°3</i>
Sedimentador secundario	<i>Punto N° 4</i>

La medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno se realizó una vez por semana. Este valor esta expresado en mg/l para todos los puntos de monitoreo, se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 1. Se puede notar que el sistema operó con un rango de DBO en la entrada entre 72 y 138 mg/l. A la salida del sedimentador secundario, la DBO estuvo en un rango entre 15 y 21 mg/l.

La DBO a la salida del sedimentador secundario o clarificador (punto n°3) fue mayor que en el tanque de aireación (punto n°2) durante la primera etapa de investigación debido a la formación de algas en el clarificador, el cual se trató de disminuir cubriendo con plástico negro el contorno del sedimentador secundario pero aún así no se pudo evitar la formación de algas. Además, otro factor que contribuyó a la formación de algas fue la temperatura, que para el mes de noviembre y diciembre fue de 21°C.

Tabla 1

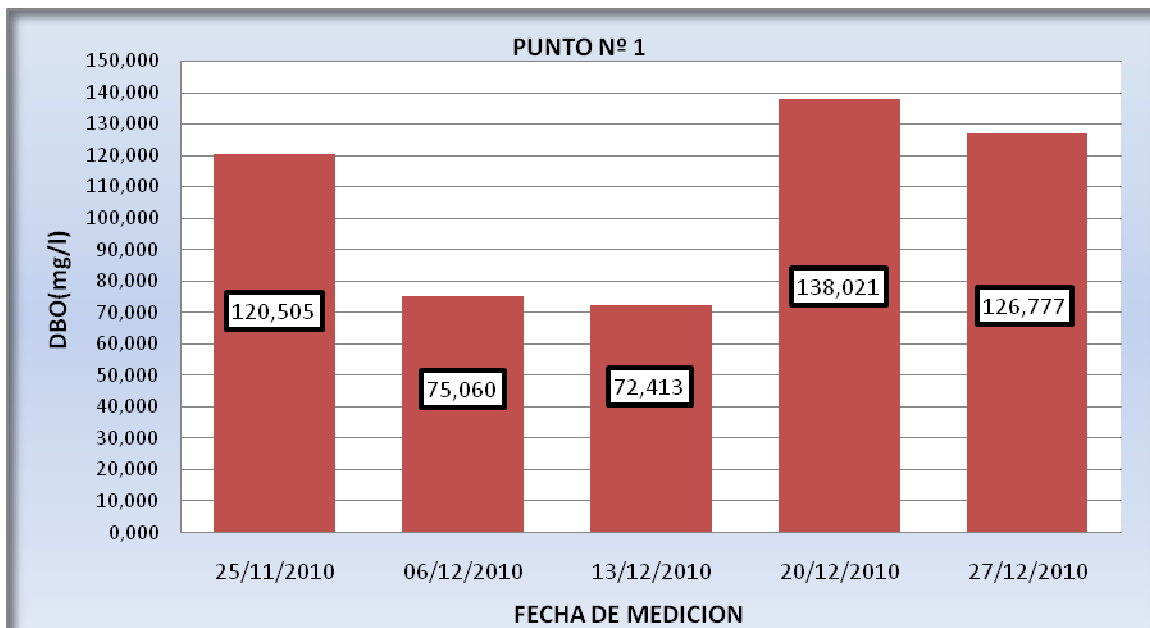
RESULTADOS DE LA DBO EN LA PLANTA PILOTO DE LODOS ACTIVADOS

	25/11/2010	06/12/2010	13/12/2010	20/12/2010	27/12/2010
PUNTO N° 1	120,505	75,060	72,413	138,021	126,777
PUNTO N° 2	117,420	72,405	70,093	136,267	125,360
PUNTO N° 3	15,140	10,924	23,242	10,405	18,306
PUNTO N° 4	19,947	15,561	21,998	16,176	19,156

En la *figura 1*, se muestra la variación de la demanda bioquímica de oxígeno en el sedimentador primario (punto n°1) durante la primera etapa de investigación, se puede observar que el valor más alto de la DBO fue de 138.021 mg/l (20/12/2010) y el valor más bajo fue de 72.413 mg/l (13/12/2010). Además, para el valor más alto de la DBO en el sedimentador primario (punto n°1) se obtuvo el valor más bajo de DBO en el tanque de aireación (punto n°2) tal y como se muestra en la *figura 2*.

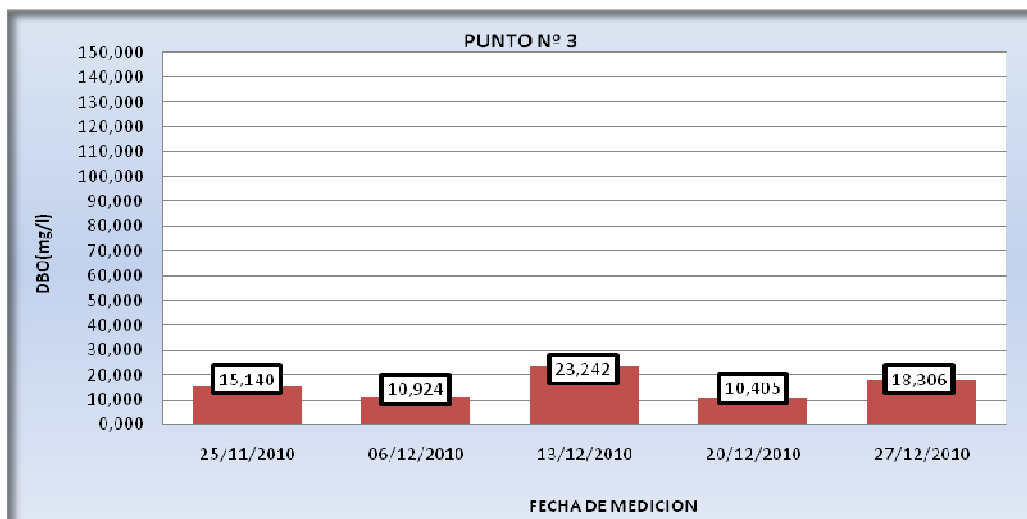
El tanque de aireación remueve mayor carga orgánica cuando ésta es mayor en el sedimentador primario.

Figura 1
VARIACION DE LA DBO EN EL PUNTO N°1 (SEDIMENTADOR PRIMARIO)



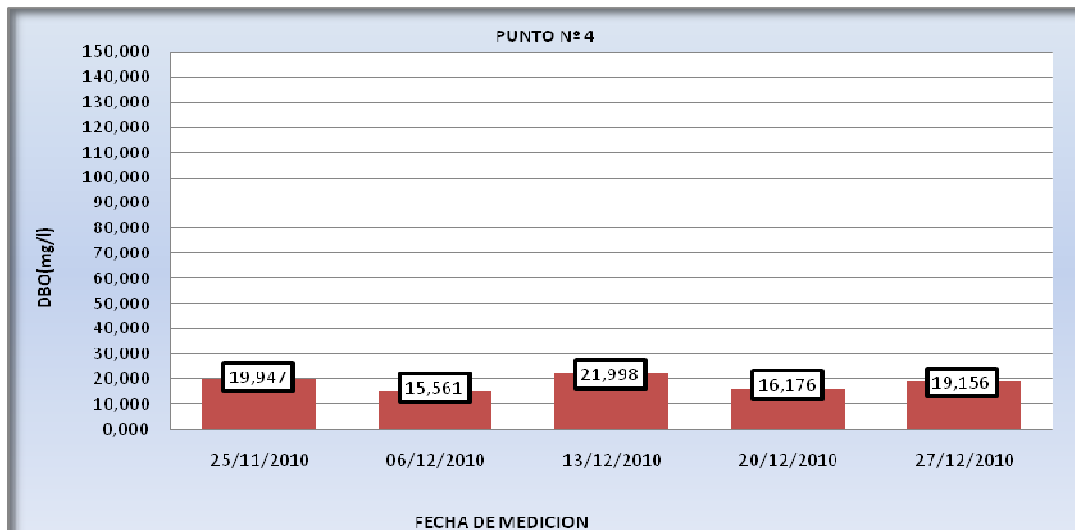
Comparando la figura 2 y la figura 3 se puede observar que la carga orgánica a la salida del sedimentador secundario (punto n°3) fue mayor que en el tanque de aireación (punto n°2) durante las 5 mediciones y esto se debió a que no se realizó la limpieza en el sedimentador secundario que se encontraba lleno de algas y también porque no se hizo el bombeo de lodos del sedimentador secundario hacia el tanque de aireación.

Figura 2
VARIACION DE LA DBO EN EL PUNTO N°3 (TANQUE DE AIREACION)



Como se mencionó anteriormente, los valores mas bajos de la DBO se obtuvieron en el tanque de aireación.

Figura 3
VARIACION DE LA DBO EN EL PUNTO N°4 (SEDIMENTADOR SECUNDARIO)

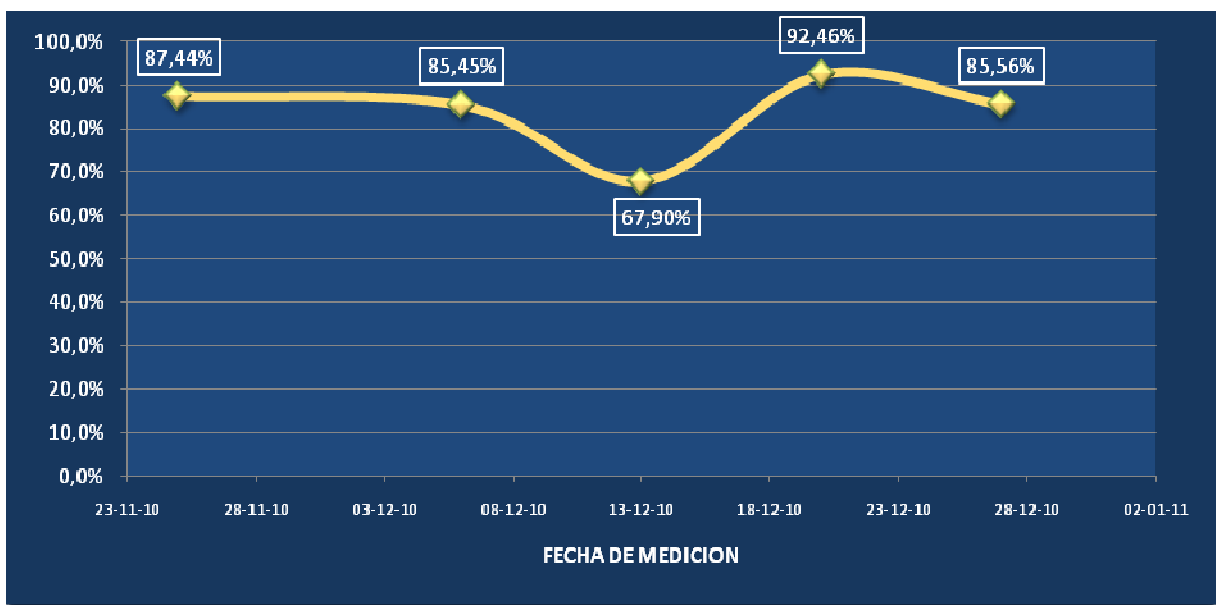


La eficiencia en la remoción de la carga orgánica expresada como DBO en el tanque de aireación estuvo en el rango de 68% a 92.4 % para las cinco mediciones que se hicieron durante la primera etapa de investigación. Si este rango lo comparamos con el que se encuentra en las Normas de Saneamiento OS 090 que nos dice que la eficiencia en la remoción de la carga orgánica de lodos activados debe estar entre 75% a 95%, podemos decir que estuvo funcionando dentro del rango excepto por el valor de la eficiencia que se obtuvo el 13-11-2010 que fue de 67.9%. Esta eficiencia tan baja se obtuvo porque la carga orgánica en el sedimentador primario fue la más baja de las cinco mediciones y su valor fue de 72.41 mg/l (figura 1, fecha 13-12-2010).

Además, en la figura 5 se puede apreciar que la máxima eficiencia de 92.46% se obtuvo para una mayor carga orgánica en el sedimentador primario que fue de 138.02 mg/l (figura 1, fecha 20-12-2010).

Con estos valores de eficiencia podemos comprobar que mientras mayor sea la carga orgánica que ingresa a la planta piloto mayor será la eficiencia porque al ser mayor la carga orgánica se podrá cumplir las necesidades de alimentación de los microorganismos encargados de la degradación de la materia orgánica.

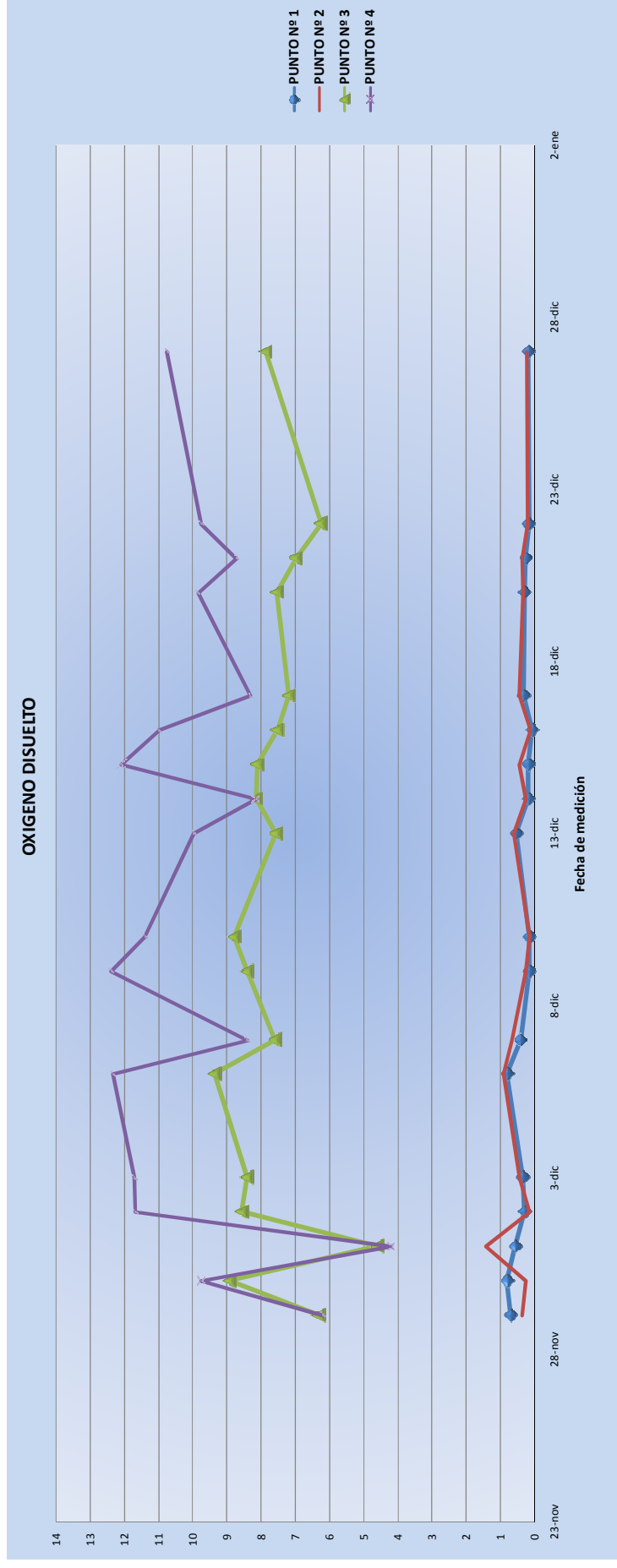
Figura 5
EFICIENCIA EN LA REMOCIÓN DE DBO DE LA PLANTA PILOTO DE LODOS ACTIVADOS



Uno de los parámetros físico-químicos medidos durante la primera etapa de investigación fue el oxígeno disuelto en cada punto de monitoreo tal como se muestra en la figura 6. En los puntos 1 y 2 (entrada y salida del sedimentador primario) se puede apreciar que el nivel de oxígeno disuelto se encuentra entre 0 a 1 indicando que se encuentra en condiciones anaeróbicas. De otro lado, la cantidad de oxígeno disuelto en el tanque de aireación (punto n° 3) fue menor que en el sedimentador secundario (punto n° 4) y esto tiene que ver con la poca profundidad en el tanque de aireación que no permite la transferencia de oxígeno.

La formación de algas en el clarificador trajo como consecuencia la producción de más oxígeno si a esto se le suma que se tomaron las muestras en la época de verano al mediodía que es la hora de mayor producción de oxígeno favoreciendo la fotosíntesis que realizan las algas.

Figura 6
VARIACION DEL OXIGENO DISUELTO EN CADA PUNTO DE MONITOREO



El pH fue otro parámetro físico-químico que se midió durante la primera etapa de investigación, en la figura 7 se muestra la variación del pH para cada punto de monitoreo. En el tanque de aireación (punto n° 3) el pH trabajó en un rango de 7.5 a 8.5, en el sedimentador secundario (punto n° 4) el pH varió entre 8 y 9.5. Además, el pH aumentó en cada punto de monitoreo de la planta piloto debido a que parte del CO₂ involucrado en la respiración es convertido a iones bicarbonatos.

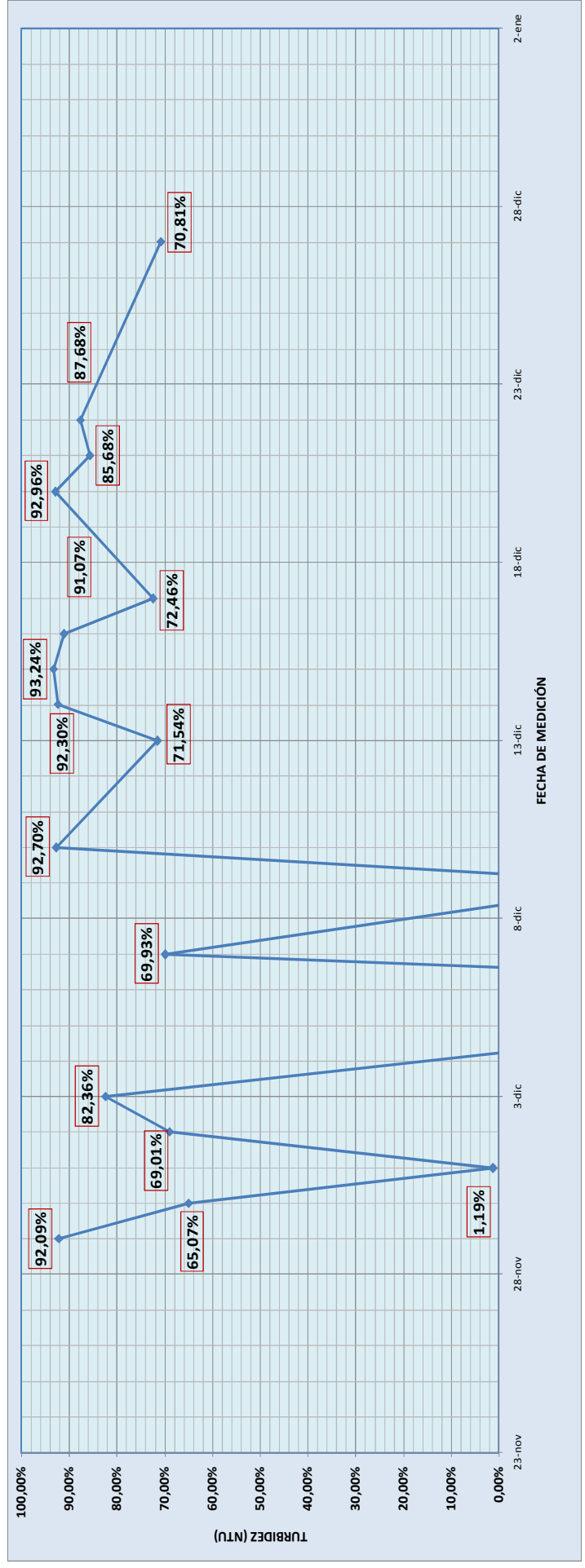
En la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento es importante controlar que el pH en el tanque de aireación no sea ácido porque elimina los microorganismos encargados de degradar la materia orgánica.

Figura 7
VARIACION DEL pH EN CADA PUNTO DE MEDICION



Durante la primera etapa de investigación, se midió la eficiencia en la remoción de la turbidez de la planta piloto que se encontraba en UNITRAR y los resultados se muestran en la figura 8. La eficiencia en la remoción de la turbidez no fue constante debido a la formación de algas en el clarificador lo cual aumentó la turbidez haciéndolo mayor que en el tanque de aireación. En algunos días de medición, la turbidez en el tanque de aireación que es una unidad anterior al clarificador resultaba menor que en el clarificador. Para la eficiencia de 93.24%(la más alta en la primera etapa) se obtuvo la turbidez más baja a la salida del clarificador 11.5 NTU. Sin embargo, para los días 01,06 y 09 de Diciembre del 2010 se obtuvieron las eficiencias más bajas o mejor dicho no hubo remoción de la turbidez porque en esos días realizamos la limpieza del sedimentador secundario por la excesiva formación de algas; después del 09 de Diciembre del 2010 se procedió a cubrir la parte externa del sedimentador secundario con un plástico negro para así evitar el paso de la luz solar que favorezca la formación de algas. No se logró llegar a una turbidez menor a 5NTU.

Figura 8
EFICIENCIA EN LA REMOCION DE LA TURBIDEZ



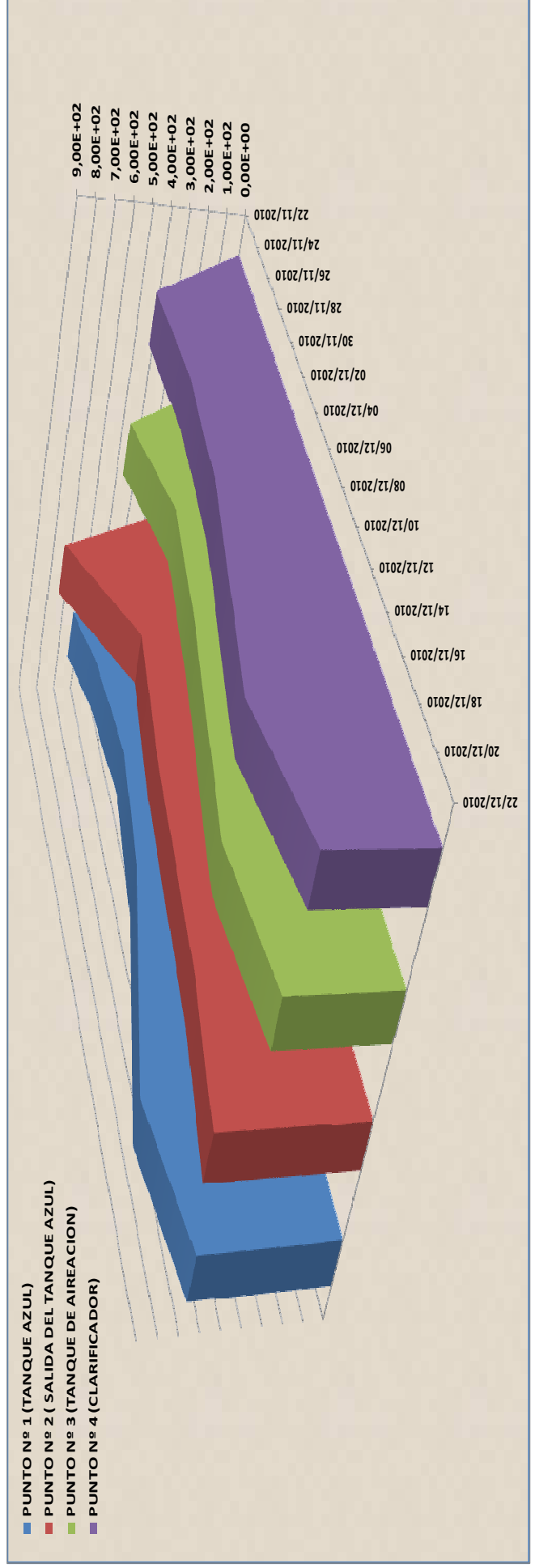
En cuanto a los sólidos totales (STT), de acuerdo a la tabla 2, el % de eficiencia en la remoción de sólidos totales fue aumentando con el paso del tiempo obteniendo un valor máximo de 24.86% al final de la primera etapa de investigación. Los sólidos totales aumentan cuanto mayor es la concentración de la materia orgánica.

Los sólidos totales en el tanque de aireación llegaron a un valor máximo de 0.64 kg/m³ y este valor se encuentra por debajo del rango de recomendado en las Norma OS 090, esto es debido a que no se recirculó el lodo del sedimentador secundario al tanque de aireación.

Tabla 2
EFICIENCIA EN LA REMOCION DE SOLIDOS TOTALES

	25/11/2010	30/11/2010	06/12/2010	16/12/2010	22/12/2010
% EFICIENCIA EN LA REMOCION DE STT	7,09%	7,69%	13,61%	18,41%	24,86%

Figura 9
SOLIDOS TOTALES EN LOS PUNTOS DE MEDICION



SEGUNDA ETAPA DE LA TESIS DE INVESTIGACIÓN

(Adición de la unidad de pre-tratamiento y UASB al piloto de lodos activados de la primera etapa para el tratamiento del desagüe industrial de pota diluido con desagüe doméstico propio de la empresa en estudio)

9. SEGUNDA ETAPA DE LA TESIS DE INVESTIGACIÓN

En esta etapa de la tesis, se trasladó la planta piloto de lodos activados que se encontraba en UNITRAR a una empresa que procesa la pasta de papa. El motivo del traslado fue porque se quería trabajar lo más cercano posible al lugar donde se encontraba el agua residual, y además porque el desagüe presentaba una altísima carga de DBO, DQO, GRASAS Y ACEITES, un pH ACIDO, baja temperatura y demasiada cantidad de material sedimentable.

Otras de las razones por las cuales se trasladó la planta piloto de UNITRAR hasta la empresa fueron:

1. Tendríamos un desagüe fresco (sin refrigerar ni guardado) para poder tratar y evaluar la eficiencia de nuestra planta piloto.
2. La facilidad de disponer del desagüe, ya que el llevarlo hasta UNITRAR resultaba demasiado costoso e incómodo.

Entonces, luego de conocer las características físico-químicas del agua residual proveniente de la industria de la pasta de papa, se decidió agregar tres unidades adicionales a las que existían en la primera etapa de investigación: una unidad de pre-tratamiento de sedimentador primario debido a la elevada cantidad de sólidos sedimentables, una unidad de UASB porque la carga orgánica era muy alta y una unidad de filtros para disminuir la turbidez del agua residual.

Estas tres unidades más se pusieron con la finalidad de mejorar la eficiencia de nuestra planta piloto de lodos activados de la primera etapa de investigación,

A continuación describiremos los nuevos materiales utilizados, el funcionamiento de la planta piloto, los puntos de monitoreo y los parámetros a medir, teniendo como objetivo la determinación de la eficiencia en la remoción de DBO y DQO en nuestro piloto para el desagüe de una industria que se encarga del proceso de pasta de papa.

Como antecedentes de la primera etapa de investigación podemos mencionar que:

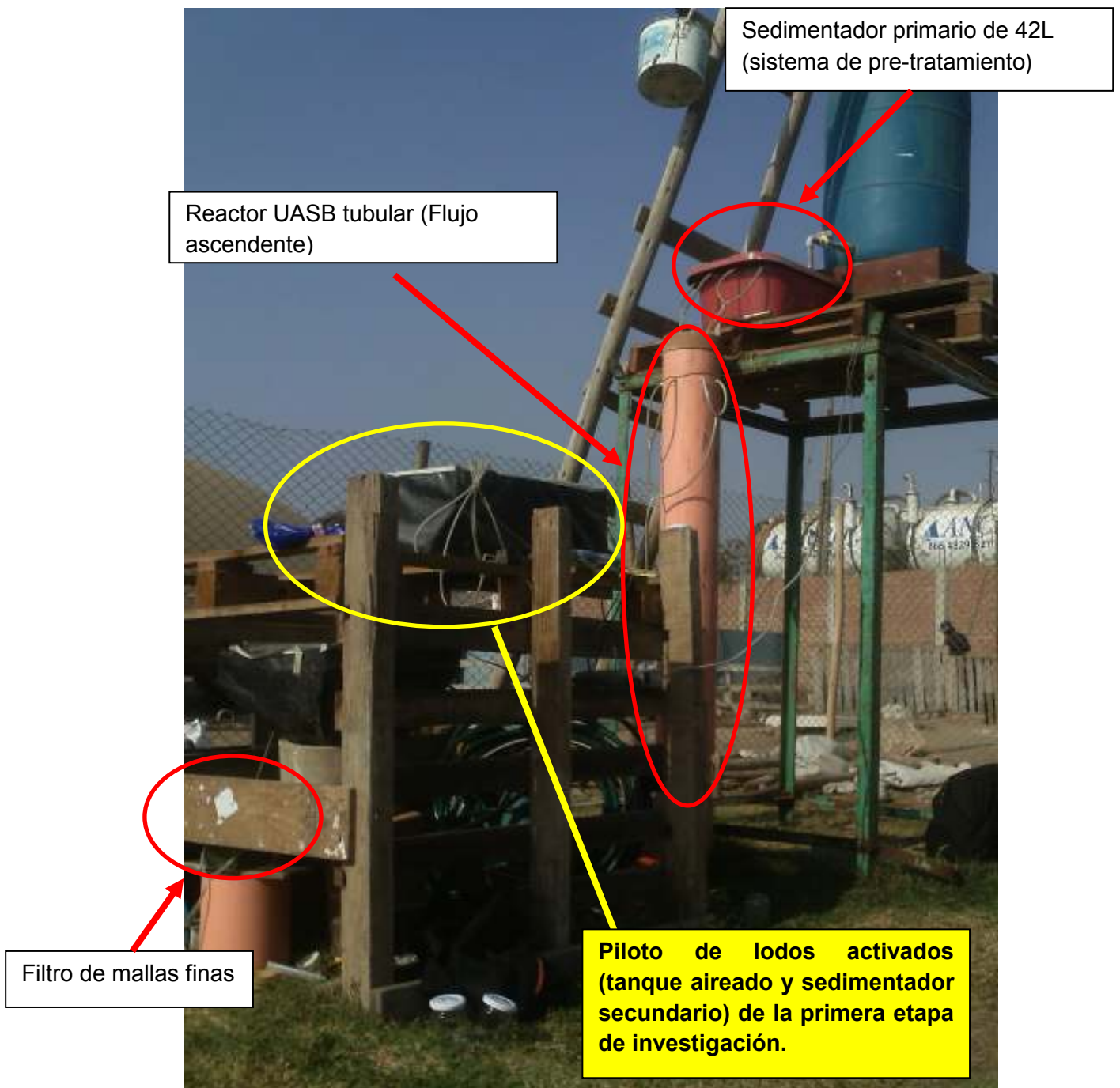
- Se determinó la eficiencia de remoción de la DBO en tanto porcentaje del piloto de lodos activados, teniendo como afluente el desagüe doméstico de la planta de UNITRAR.
- Se tiene la variación de los parámetros de turbiedad, conductividad, pH, oxígeno disuelto y temperatura de la planta piloto de lodos activados.

Básicamente la primera etapa de investigación se realizó para determinar la eficiencia en la remoción de la carga orgánica de la planta piloto para un desagüe doméstico y para conocer la variación de los parámetros físico-químicos que se midieron.

9.1. Componentes de la planta piloto con un sistema combinado de lodos activados y UASB en la segunda etapa de investigación.

(Parte II)

Imagen de la planta piloto instalada en la empresa evaluada. Se indican las unidades adicionales antes y después del piloto de lodos activados



9.2. Materiales para la segunda etapa de investigación

Después de caracterizar el desagüe del proceso de pota y el desagüe doméstico propio de la industria, nos damos con la sorpresa de que cuenta con una DBO, turbiedad, sólidos, DQO y aceites y grasas demasiado alta comparado con el desagüe doméstico de UNITRAR; por ello tomamos la decisión de agregar nuevas unidades más ; dos unidades antes de nuestra planta piloto de lodos activados de la primera etapa (constituido por el tanque biológico o aireado y el sedimentador secundario) y otra unidad después del sedimentador secundario; para así asegurar una buena remoción de la alta carga y turbiedad que se presenta.

Las unidades adicionales fueron:

- 1.-Un sedimentador primario como unidad de pre-tratamiento.
- 2.-Un UASB (reactor anaerobio de flujo ascendente).
- 3.-Un Compresor de aire y una bomba de aire.
- 4.- Un filtro como unidad de post-tratamiento.

9.2.1. Sedimentador primario

Se adicionó esta unidad debido a la gran cantidad de sólidos sedimentables y aceites y grasas que estaban presentes en el desagüe industrial de la pasta de pota.

Las dimensiones de dicho sedimentador se determinaron con las pruebas de sedimentación en el laboratorio para el desagüe de la pasta pota, se realizaron a diferentes tiempos.

El volumen de la tina es de 42L, de material de plástico con salidas por rebose a través de 04 mangueras al otro extremo opuesto a la entrada de esta unidad y para un tiempo de retención de cinco horas.

Tina de
42 litros



Salidas del
sedimentador
primario



Como sedimentador primario decidimos usar una tina de plástico de 42L. Este volumen calculado se obtuvo luego de las pruebas de sedimentación que se realizaron en el laboratorio usando una probeta de 1L para el desagüe industrial de la pasta de pota durante su caracterización en el laboratorio.

Esta unidad se ubicó a la salida del tanque azul y antes del UASB. La finalidad de esta unidad fue para que el desagüe que sale del tanque azul tenga un pre-tratamiento de sedimentación antes de ingresar a la unidad del UASB, ya que es recomendable que a la entrada de un UASB, se debe asegurar un desagüe sin partículas sedimentables ni grasas. La entrada a esta unidad es por caída libre a la salida del tanque azul ingresando un caudal constante de 1.5ml/seg. La salida de este sedimentador es por rebose y se recolecta por 4 tuberías de plástico de 1/4" que conducen al desagüe pre tratado hacia el UASB.

9.2.2. Reactor anaerobio de flujo ascendente

Es un tratamiento anaerobio eficiente para cargas altas y constituye una tecnología muy utilizada. El UASB puede convertir el 70-95% de la materia orgánica biodegradable en una corriente de biogás valorizable.

Tubería PVC-SAL-P de 8"

Materiales:
Embudo de 8" (para el fondo del UASB).
Embudo de 6" para atrapar el gas.

En esta imagen se puede observar los materiales a usar para la construcción del UASB: tubería de 8" PVC-SAL-P, un embudo de 8" para ser usada en el fondo del UASB, un embudo de 6" como campana extractora del gas metano, un tapón para desagüe de 8" de PVC para hermetizar la unidad en la parte superior del UASB y Jebe para cocina de 1½" para ser usada como deflector dentro del UASB.

Jebe para colocarlo como deflector.

Tapón de PVC de 8".

Ingreso del desagüe al UASB.

Embudo de plástico

Tapón de 8" para sellar la parte superior

Manguera de salida por

El funcionamiento es el siguiente: el desagüe que sale del sedimentador primario ingresa por la parte superior a través de las mangueras hasta el fondo del UASB, en donde asciende progresivamente y atraviesa el lodo hasta salir por la parte superior por rebose a través de 3 orificios, este efluente es trasladado por medio de una manguera de salida por rebose flexible que conduce el desagüe tratado desde salida del UASB hasta la entrada del tanque aireado.

Se tomó lodo de UNITRAR para utilizarlo en el UASB de la planta piloto, este lodo se tomó a una altura de 1.5 m del RAFA debido a que hay investigaciones asegurando que a dicha altura la eficiencia del lodo es la mejor.



Lodo a una altura de 1.5m del RAFA.



Llenado del lodo al bidón.

La primera imagen muestra las salidas de purga de lodos a diferentes alturas en el UASB de la planta de UNITRAR, Se decidió tomar el lodo de esta planta a una altura de 1.5m, debido a que hay antecedentes de que a esa altura el lodo presenta mayor eficiencia en la producción de metano y por ende es la más eficiente. En la figura de la derecha se observa cómo se recolectó el lodo en bidones, se tomó 45L de lodo y se llevó hasta la empresa donde procesan la pasta de pota ya que ahí está instalada nuestra planta piloto. Luego de construido el piloto de UASB, se procedió con el llenado del lodo y posteriormente con el arranque del piloto.

Se agregó una gran cantidad de canicas en el fondo del UASB, para enterrar un extremo de la tubería de entrada al UASB en el fondo y así el lodo no ingrese en la tubería y no obstruya el paso del desagüe en el fondo del UASB.

Canicas usadas para colocarlas en el fondo del UASB.



Las canicas en el fondo del UASB evitan que el lodo ingrese a las tuberías por la parte de abajo y no obstruya el paso del desagüe de ingreso, esto se hizo esto debido a que cuando no había canicas en el fondo del UASB, el lodo acuoso ingresaba a la tubería por la parte de abajo y atoraba la entrada del desagüe al UASB.

Se instaló en su interior un jebe que hizo el papel del deflector y en la tapa de la tubería se instaló un embudo que hizo el papel de campana recolectora del gas. La entrada es a través de la tubería de PVC flexible.



Tubería flexible que ingresará al UASB y estará en la parte inferior ya que la entrada al UASB es por la parte de abajo.

Tapa de la tubería con el embudo que se colocarán en la parte superior del UASB.

En esta imagen se ve la tubería que ingresará al UASB y conducirá el desagüe pre tratado desde la salida del sedimentador primario hasta el fondo del UASB para que así tenga un flujo ascensional. En la parte derecha se observa el embudo de 6" de diámetro unido al tampón de 8" de diámetro que actuará como campana para gases.

El caudal con que trabajará el UASB piloto será con 1.5ml/seg que en días es 129.6 litros/día, el periodo de retención es de 8h teniendo un volumen total de lodo de 43.2L.

A continuación se presenta una tabla en donde se encuentran los datos de los parámetros de diseño para el UASB piloto: el caudal de diseño, tiempo de retención, volumen útil del reactor, velocidad de ascenso y carga hidráulica. Todos estos datos nos sirvieron para calcular las dimensiones de la campana de extracción, el ancho y longitud de los deflectores.

DISEÑO DEL UASB

Zona de Lodos

CAUDAL DE INGRESO	Q	129.6	litros/dia
PERIODO DE RETENCION	PRH	8	hrs
VOLUMEN DEL REACTOR	V	0.0432	m ³
VELOCIDAD ASCENDENTE	v	0.172	m/h
AREA TRANSVERSAL DEL REACTOR	A	0.03	m ²
ALTURA EFECTIVA DEL REACTOR	Hs	1.38	m
DIAMETRO	D	0.2	m
CARGA HIDRAULICA	Ch	0.172	m ³ /m ² *hr
VELOCIDAD DE FLUJO EN LA CAMPANA	Vf	0.69	m/hr

SEPARADOR GAS-LIQUIDO-SOLIDO

AREA DE ABERTURA A abertura 0.007854 m²

AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL DE LA CAMPANA A campana 0.02 m²

RADIO DE LA CAMPANA Rc 0.09 m

ANCHO DE LA ABERTURA Wa 0.01 m

Se asumieron para el diseño, tanto el ancho mínimo interno de la campana (Ht) y la altura tope del separador GLS, sobre la superficie Del líquido iguales a 2cm. Por lo tanto:

Wg 0.08 m

7.66 cm

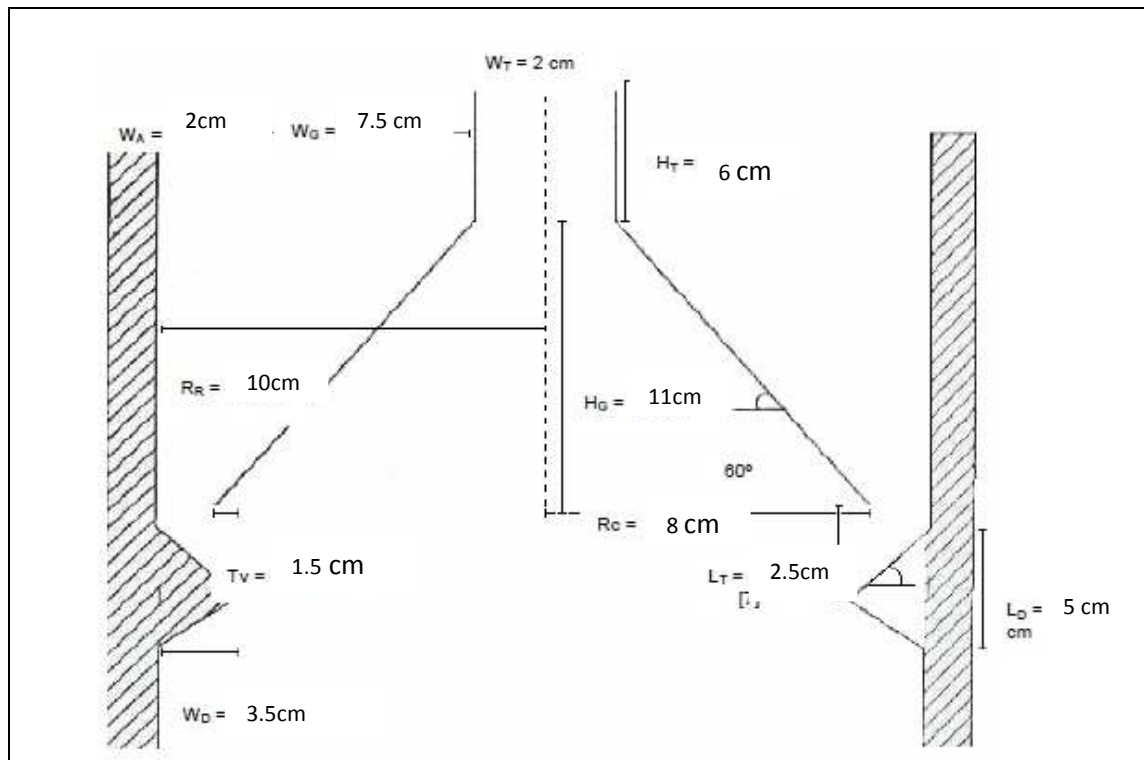
Angulo de inclinación de la campana: El ángulo elegido de la campana fue de 60° debido a que se acomodaba mejor a las condiciones de diseño, tanto de la campana de la tubería

ALTURA DE LA CAMPANA Hg 13.27 cm

TRASLAPO Tv 2.01 cm

ANCHO DE LOS DEFLECTORES Wd 3.35 cm

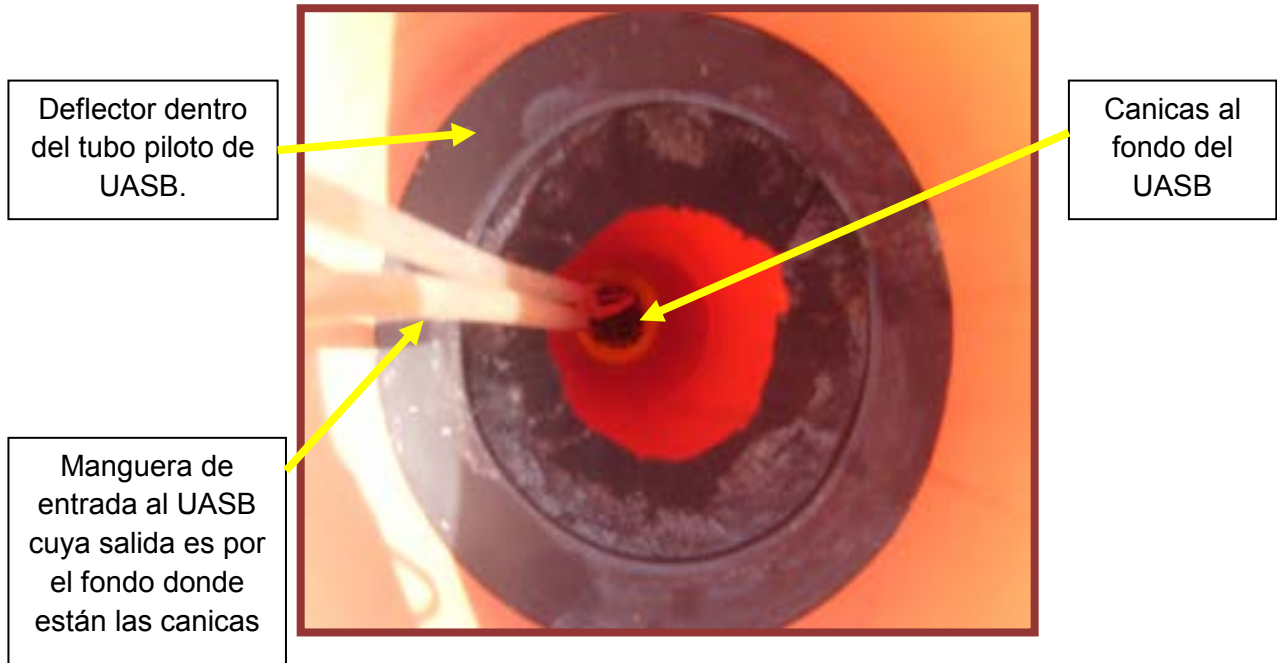
LONGITUD DE LOS DEFLECTORES Ld 6.70 cm



- R_r = Radio de reactor
- R_c = Radio de la campana
- W_a = ancho de la abertura
- H_g = altura de la campana
- H_t = ancho interno de la campana (mínimo 2cm)
- T_v = traslape ($1.5 W_a$)
- W_d = Ancho de los deflectores
- L_d = longitud de los deflectores.

En esta imagen se muestra el corte interno del perfil del tanque UASB, aquí están plasmados los datos obtenidos en la tabla de cálculos anteriores para el diseño del UASB, además el lugar y dimensiones que les corresponden a cada parte del reactor anaerobio.

**VISTA INTERNA DEL
UASB**



En esta figura se muestra la vista interna del UASB desde la parte superior de la tubería. Aquí queremos explicar los componentes internos del UASB.

En el lado izquierdo se observa las mangueras de plástico que conducirán el desagüe pre tratado (a la salida del sedimentador primario) hacia el fondo del reactor anaerobio, en el fondo se puede observar las canicas que entierran un extremo de la tubería de entrada evitando que el lodo; después de ser vertido al reactor, se introduzca en la manguera y obstaculice el ingreso del desagüe por la parte inferior del tubo. El aro negro pegado en la tubería cumple el papel de deflector dentro del UASB.

9.2.3. Unidad de filtros

Es una unidad agregada con la finalidad de remover turbiedad al efluente (post-tratamiento). Es una caja de acrílico de 0.10 x 0.10 m de sección transversal y 0.15m de altura.

Es de flujo ascendente, se encuentra colocado a la salida del sedimentador secundario y cuenta con 20 capas de una malla filtrante separada con una capa de material confitillo. La salida es a través de canaletas colocadas en la parte superior.



Salida del filtro

Malla filtrante cortado



Canaleta de recolección

Material de confitillo

Esta imagen muestra una vista de planta del filtro, aquí queremos mostrar las canaletas de recolección (de color blanco) colocados de manera perimetral en la parte superior del filtro. El caudal tratado es recolectado por rebose a través las canaletas que cuentan con orificios para luego ser conducido por mangueras flexibles de plástico de 1/8" hacia una caja de desagüe y desecharlo. En el centro se observa una malla de color verde porosa de aproximadamente 0.05mm de abertura, cuya área coincide con el área trasversal del filtro.

Se colocaron 20 mallas a lo largo de la altura del filtro y separadas cada una de ellas con una capa de confitillo; sólo con la finalidad de separar una malla de la otra.

En la imagen inferior se observa la formación de algas en el filtro. También se observa el material de confitillo en la parte superior. Se tuvieron que realizar operaciones de limpieza de manera constante ya que las algas eran arrastradas durante la toma de muestras y aumentaban la turbiedad a la salida del desagüe tratado de pota.

Entrada (salida del sed. secundario) e ingresa de manera ascendente a la unidad del filtro.



Salida del filtro, manguera de PVC

Es la imagen de perfil del filtro. Se puede observar la entrada al filtro por la parte inferior izquierda, es una manguera flexible que une las salidas del sedimentador secundario con el filtro. La salida del filtro es por rebose a través de canaletas y mangueras en los laterales; que llevan el desagüe tratado hacia una caja de desagüe para finalmente tomar muestra o desecharlo.



En esta imagen se muestra la malla filtrante de 0.05mm de porosidad, éste se cortó en 20 capas con área trasversal semejante al área transversal del filtro y se fueron colocando a lo largo de la altura del filtro

9.2.4. Adición de un compresor de aire de 20w, una bomba de aire 5w y dos mangueras de cortina de aire y bomba de recirculación de lodos.

Se adicionó un compresor de aire de 04 salidas de 20W, una bomba de 5W y dos mangueras más de burbuja fina, para que así se logre que cada difusor o manguera trabaje con una bomba de aire que equivale a 5W de potencia y aumentar así el flujo de aire en cada tubería.

Primera etapa

6 aireadores



Segunda etapa

8 aireadores



Con estas dos imágenes queremos demostrar los cambios que se le hicieron al número de difusores; estas imágenes muestran la red de difusores del antes y después; es decir, la imagen izquierda muestra los números de difusores de la primera etapa y en el lado derecho muestra el número de difusores de la segunda etapa.

Recordemos que en la primera etapa sólo se trabajó con desagüe del tipo doméstico, y en la segunda etapa con un desagüe industrial de pota con mucha mayor carga comparado con el desagüe del tipo doméstico. El aumento del número de difusores se hizo debido a que no llegábamos a saturar el tanque aireado con oxígeno, prueba de ello fue que al medir la concentración de OD en el tanque aireado de la segunda etapa no se llegaba a sobrepasar las 3pm de oxígeno disuelto.



Con esta imagen queremos mostrar los equipos de la primera etapa y los nuevos que se agregaron en la segunda etapa. Las bombas de aire de color azul ubicadas en la parte superior de la imagen son las de la primera etapa, y el compresor de color gris con la bomba gris en la parte inferior de la imagen son los nuevos equipos ingresados en la aireación. El compresor contiene 04 salidas de 5W para cada una y la otra bomba es de doble salida de 5W en total.

Además hubo una nueva distribución de oxígeno a los tubos difusores; en la primera etapa se unía cada uno de los 06 tubos difusores a cada salida de la bomba, pero en la segunda etapa se unen dos salidas de cada bomba con un tubo difusor; es decir, cada uno de los 08 aireadores trabaja con el doble de la aireación que recibía en un inicio.



En esta imagen observamos la vista de planta del sedimentador secundario a medio llenar (después del clarificador secundario), en donde se observa una pequeña bomba de impulsión para pecera que lo usamos como “bomba recirculadora de lodos”, esa bomba impulsa 30ml/seg, pero para nuestro caudal de ingreso de 1.5 ml/seg es demasiado; es por ello, que decidimos bombear el material sedimentado solo periódicamente y por tiempos cortos, nuestro periodo fue interdiario por un tiempo de 1min por día. Si usáramos mayores tiempos de bombeo tendríamos el problema que el sedimentador secundario se vaciaría rápidamente. La idea de instalar esta bomba fue la de asemejar el funcionamiento de lodos activados lo más real posible. Recomendamos tratar de usar bombas peristálticas ya que bombas de impulsión para caudales menores a 30ml/seg no existen en el mercado.

9.3. Proceso de instalación de la planta piloto

Esta segunda etapa del proceso de investigación consiste en la evaluación de la eficiencia de nuestro piloto en la remoción de la DBO y DQO para el tratamiento del desagüe de la industria del proceso de pasta de pota.

En nuestro caso, debido a la gran variedad de producción pesquera en nuestro litoral, optamos por trabajar con un desagüe pesquero, específicamente aquel proveniente de la producción de la pasta de pota de una empresa. Dicha empresa nos dio las facilidades de instalación de nuestra planta piloto dentro de su propiedad y la inmediata disposición del desagüe de producción de pasta pota.

Decidimos instalar nuestra planta piloto cerca a la salida de la caja de recolección que existe en la empresa por dos razones:

1. Tendríamos un desagüe fresco (sin refrigerar ni guardado) para poder tratar y evaluar la eficiencia de nuestro piloto.
2. La facilidad de disponer del desagüe, ya que el llevarlo hasta UNITRAR resultaba demasiado costoso e incómodo.

La caja de recolección tiene dos compartimientos, un compartimiento es donde se junta el desagüe doméstico propio de la empresa, el segundo compartimiento es donde se junta el desagüe proveniente de la industria de la pasta de pota.

El hecho de contar con estos dos compartimientos fue importante ya que como se verá mas adelante no se podía trabajar solo con el desagüe de la industria de la pasta de pota porque la carga orgánica era muy elevada, por tal motivo era necesario diluir este desagüe con otro desagüe doméstico propio de la empresa.



Con esta imagen queríamos dar a entender visualmente la cercanía de las cajas de recolección de los desagües doméstico como industrial que se encuentran a la salida de la planta de producción de pota (en la parte inferior de la imagen). Al fondo observamos el tanque azul en lo alto. La rutina interdiaria fue el de bombear los desagües desde las cajas de recolección hasta el tanque azul, los volúmenes fueron los necesarios para diluir en diferentes proporciones el desagüe de pota con un desagüe doméstico.

Antes de iniciar con la instalación de la planta piloto, procedimos con la caracterización del desagüe de la industria de la pasta de pota para así saber qué tipo de desagüe es el que vamos a tratar; y para determinar si era necesario agregar otras unidades de tratamiento con el fin de mejorar la eficiencia de remoción de la carga orgánica.

La empresa nos proporcionó un informe de ensayo de laboratorio acreditado por INDECOPI el 28 de mayo del 2010. Los resultados fueron los siguientes:

PARAMETROS	AGUA RESIDUAL DE PROCESO DE POTA
Demanda química de Oxígeno (mg/L)	24 218
Sólidos totales en suspensión (mg/L)	6 950
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	13 320
Aceites y grasas (mg/L)	5.8
Turbiedad (NTU)	4 640

Como podemos observar los valores de DBO, DQO, sólidos totales y turbiedad son muy altos comparados con un desagüe doméstico.

Sin embargo, nosotros quisimos corroborar estos resultados proporcionados por la empresa haciendo los análisis físico-químicos respectivos en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental, además hicimos ensayos adicionales tales como diluciones, pruebas de sedimentación con la finalidad de tener una mejor caracterización del desagüe de la pasta de pota.

9.4. Caracterización del desagüe industrial de la pasta de pota y del desagüe domestico propio de la empresa.

Los parámetros físico-químicos que se midieron en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental para el desagüe industrial proveniente de la pasta de pota fueron los siguientes y el desagüe domestico de la empresa:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- Aceites y Grasas.
- Sólidos sedimentables.
- Sólidos totales, disueltos, fijos y volátiles.
- Color.
- Turbiedad.
- pH.
- Oxígeno disuelto.
- Conductividad.
- Temperatura.
- Prueba para la determinación de la dilución del desagüe industrial de la pasta de pota con el desagüe domestico propio de la empresa que basado en conseguir un valor de pH que esté en el rango de trabajo de un UASB.



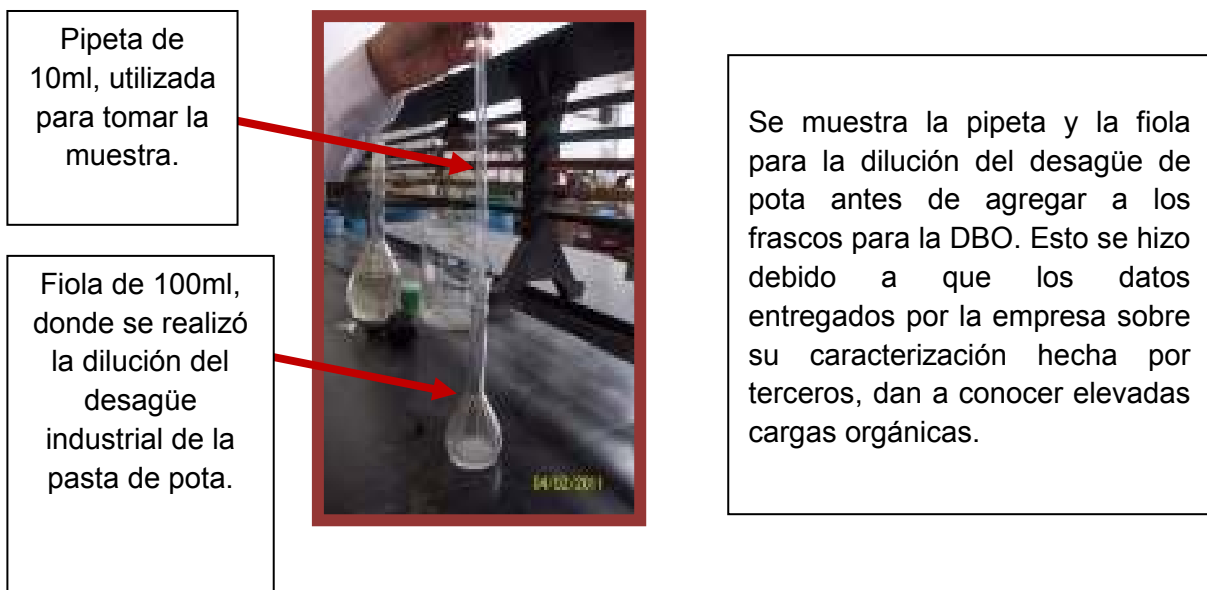
En esta imagen podemos comparar visualmente la diferencia en la concentración de sedimentos que presenta el desagüe doméstico comparado con el desagüe industrial de pota. El desagüe doméstico se ve más diluido que el desagüe industrial de pota, es por ello que a primera vista se debe pensar en un sedimentador primario antes de ingresar al piloto de tratamiento.

A. Prueba de la DBO

- 1.- Se procedió con la preparación del agua destilada y la aireación de la misma hasta llegar a la saturación dejándola airear por una hora.



- 2.- Debido a la alta concentración de DBO que presentaba la muestra del desagüe del proceso de pota, optamos por diluir la muestra 1/10 con ayuda de una fiola de 100ml. Para el desagüe doméstico propio de la empresa no fue necesaria la dilución.



3.- Luego de la aireación del agua destilada, se prepara 2L de ésta agua con los nutrientes (2ml de cada uno / 2L). Después de la preparación de la dilución de la muestra en la fiola, procedemos a verterlos en los frascos para DBO (las dosis tomadas se encuentran en la parte de cálculos). Cerramos y dejamos encubar por 5 días, para después proceder con la medición del oxígeno disuelto.

Proceso en el que se vierte la muestra de la fiola a los frascos que contienen los nutrientes.



Incubadora y lectura de oxígeno disuelto.



B. Aceites y grasas

1.-Para esta prueba, se toma 1L de cada una de las muestras y se vierte en las peras de decantación. Luego se agregan 3ml de ácido clorhídrico (HCl) por cada litro de muestra.

Desagüe industrial de la pasta de pota.



Desagüe propio de la empresa.

2.- Se le agrega una pequeña cantidad de hexano en cada pera de decantación, luego se agita la pera y se abre la válvula de la misma para que escape el gas, el procedimiento se repite hasta que ya no salga gas por la válvula. Se cierra y se deja reposar por un día.

3.- Después que se observe la separación de fases entre el hexano y las muestras, se procede a abrir la válvula y botar el excedente de muestra, dejando dentro de la pera solamente el hexano.



Izquierda: Desagüe industrial de la pasta de pota.

Derecha: Desagüe doméstico propio de la empresa.



Se presenta una emulsión en la pera del desagüe de pota.



4.- Acondicionar los balones de 250 ml cada uno antes de pesarlos, después colocarlos debajo de la pera de decantación y filtrarlos a través de un embudo y un filtro, hacer pasar sólo el hexano excedente.

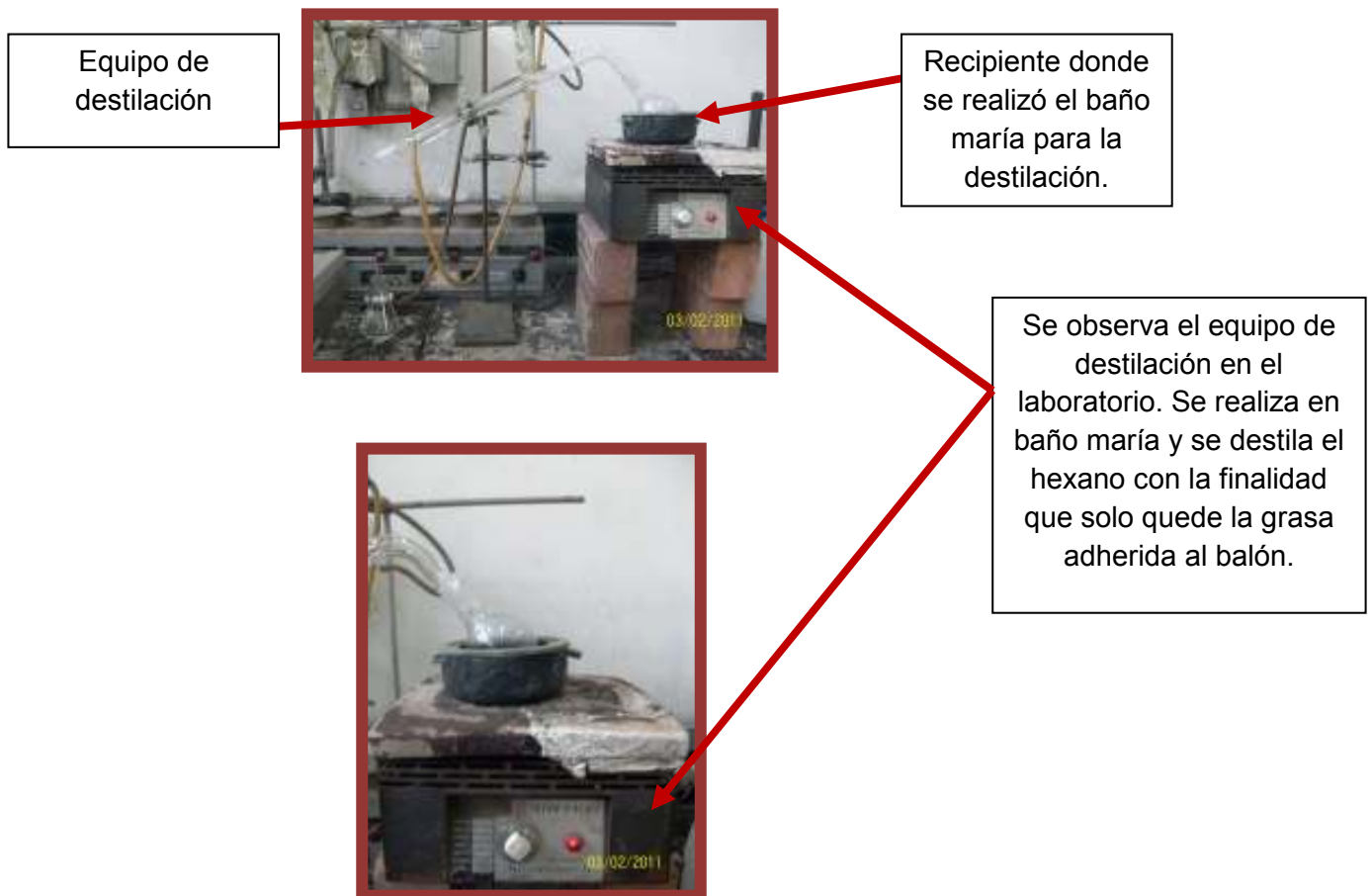


Se muestran los balones acondicionados y previamente pesados.



Proceso de acondicionamiento de los balones a 105°C en el horno por 30 min antes de ser pesados.

- 5.- Se procede a destilar el hexano mediante el baño maría. Terminado ello, se pesa y por diferencia de pesos (final e inicial) se determina las grasas en cada muestra.



C. Sólidos sedimentables

1.-En este caso, se determinó con ayuda de una probeta de 1L, la cantidad de sólidos (en ml) que se sedimentaban en 1 hora para ambos tipos de desagües e independientemente. Esto se determinó con la finalidad de saber que volumen usaríamos para nuestro sedimentador primario.

Se llenó las probetas de 1L y se controló en tiempos 1 hora, 2 horas, 3 horas, 4 horas y a 5 horas; y en cada uno de esos intervalos de tiempo se observó el comportamiento de la sedimentación.

Desagüe de la pasta pota en sedimentación.



Desagüe domestico propio de la empresa en sedimentación.



Se quiere mostrar el proceso de sedimentación que ocurre en una probeta de un litro para cada uno de los desagües a diferentes intervalos de tiempo. En el lado izquierdo se observa al desagüe de pota a las 5h de haberlo dejado en reposo y en el lado derecho, al desagüe domestico de la empresa a las 5h de haberlo dejado en reposo; se puede observar que el material sedimentable a ese tiempo es mayor en el desagüe de pota que el doméstico; esto nos lleva a la conclusión que es necesario un sistema de pre-tratamiento antes de tratar dicho desagüe, debido a la alta cantidad de sólidos sedimentables. Con este tiempo de 5h, se diseñó el volumen del sedimentador primario ubicado antes del UASB.

D. Determinación de sólidos totales, disueltos, fijos y volátiles.

1.- Se condicionan las cápsulas ya rotuladas en la mufla a 650°. Luego se dejan enfriar en el desecador y se pesan.

Mufla utilizada para esterilizar las cápsulas.



Se muestran a las cápsulas previamente rotuladas dentro de la mufla. La finalidad es esterilizarlas a 650°C antes de pesarlas.



Balanza en donde se llevo a cabo la medición del peso de cada cápsula.

Después de esterilizar las cápsulas se pesan y se anotan dichos valores.

2.- Para la determinación de los sólidos totales se toman 25 ml de cada muestra (desagüe de pota y desagüe doméstico), y se vierten en las cápsulas y se lleva al horno por 105°. Para la determinación de sólidos disueltos, se toman 25 ml de cada muestra y se filtran, Luego se llevan al horno a 180°. A la salida del horno, se pesan.

Muestra del desagüe de la pasta de pota.

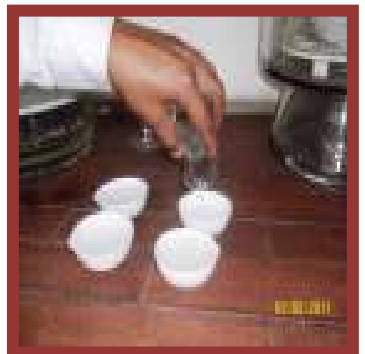


Muestra del desagüe doméstico de la empresa.

Se muestran las cápsulas, los embudos y los matraces para realizar el filtrado de la muestra para determinar los sólidos disueltos.



Se procede con el filtrado de los desagües utilizando el papel Wattman N°40.



Luego del filtrado, se vierten en las cápsulas para luego meterlos al horno a 180°C.

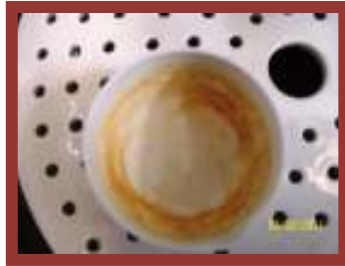
A continuación se muestran las imágenes de los resultados obtenidos para determinar sólidos totales, disueltos, fijos y volátiles.

Sólidos disueltos

Para los sólidos disueltos, las cápsulas son colocadas en el horno a 180°C.



Desagüe de pota



Desagüe domestico

Se observa una mayor cantidad de sólidos disueltos en el desagüe de pota en comparación con el desagüe doméstico (muestra filtrada)

Sólidos totales

Para los sólidos totales, las cápsulas son colocadas en el horno a 105°C.



Desagüe de pota



Desagüe domestico

Se observa mayor cantidad de sólidos totales en el desagüe de pota que en el desagüe doméstico (muestra sin filtrar)

Sólidos volátiles.

Desagüe de pota

Desagüe domestico



Sólidos disueltos a 550°



Sólidos totales a 550°

En esta imagen se quiere mostrar la cantidad de sólidos fijos y volátiles que se presentan después de calcinar cada muestra a 550°C. Hay una mayor cantidad de sólidos volátiles en el desagüe de pota comparado con el desagüe doméstico.(muestra calcinada a 550°C)

E. Determinación de color real

Se toman los frascos para cada muestra (desagüe de pota y desagüe doméstico) para centrifugar, se lleva a la centrifugadora por unos 15 minutos y se lleva al colorímetro para determinar su color.

Centrifugadora



Se muestra uno de los tubos con la muestra de desagüe colocándose en la centrifuga; durante 15min, para determinar el color



Se hace la comparación de los desagües después de centrifugarlos. A la derecha el desagüe domestico y a la izquierda el desagüe de pota. Se observa en el fondo del tubo del desagüe de pota mayor cantidad de sedimentos.

F. Determinación de la turbiedad

La determinación de la turbiedad se realiza con ayuda de un turbidímetro Nefelométrico.

Celda del turbidímetro.



Se muestra vertiendo la muestra de uno de los desagües a la celda del turbidímetro.



Turbidímetro nefelométrico.

Se introduce la celda en el turbidímetro y se anotan los resultados.

G. Determinación del pH

El pH se determina con ayuda de un lector automático de pH.

Muestra del
desagüe de la
pasta de pota.

Lector de pH



Se toma 50ml de desagüe de pota y se procede con la lectura del pH con el potenciómetro.



Se toma 50ml de desagüe domestico y se procede con la lectura del pH con el potenciómetro.

H. Determinación de la concentración de OD

El método de Winkler permite determinar la cantidad de mg/l de oxígeno disuelto a través de una valoración química.

- Una solución de sulfato de manganeso (II) se añade a la muestra que se va a analizar.
- Después de tratarla con hidróxido sódico y yoduro potásico, el manganeso reacciona con el oxígeno para formar un compuesto estable de manganeso y oxígeno (el precipitado que se forma es hidróxido de manganeso (III) de color blanco).
- Luego se trata la solución con ácido, que disuelve el hidróxido y forma una cantidad proporcional de yodo libre (proporcional al oxígeno disuelto original).
- Luego se determina la cantidad de yoduro en la solución. Para esto se titula con una solución estandarizada de tiosulfato sódico hasta que todo el yodo libre (I^2) es cambiado a yoduro (I^-).

- El almidón se torna púrpura en presencia de yodo pero es incoloro en contacto con yoduro. El almidón es el indicador de que todo el yodo se convirtió en yoduro. La cantidad de tiosulfato usado en la titulación es proporcional al yoduro, que es proporcional al O₂ disuelto, y se calcula, pues, determinando la cantidad de tiosulfato utilizado.

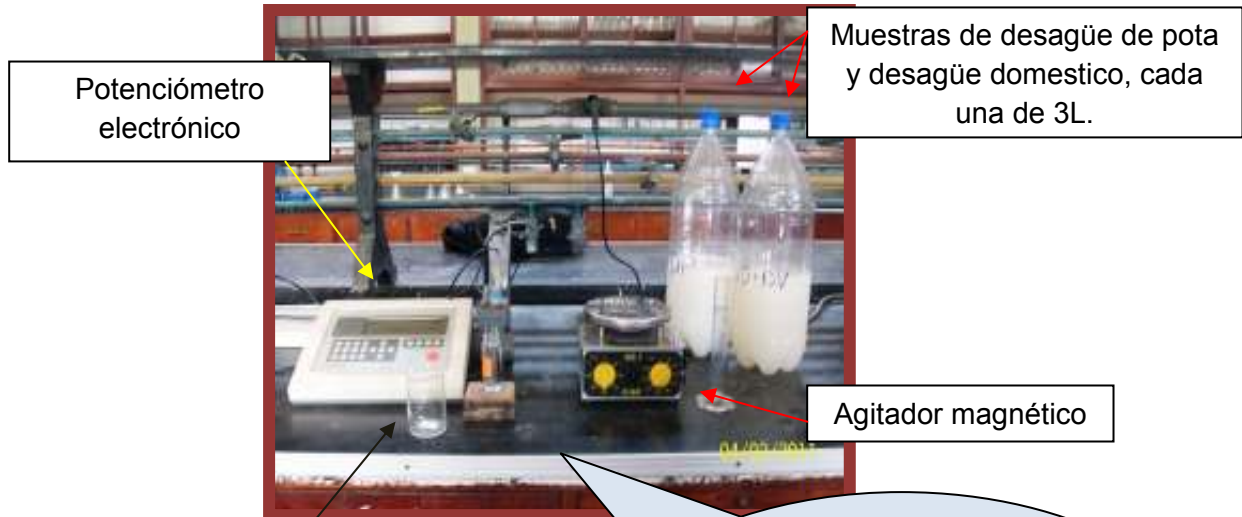
9.5. Prueba para la determinación de la proporción del desagüe de pota y el desagüe doméstico para la dilución.

Esta es la prueba más importante en el inicio de la segunda etapa de la tesis de investigación. El resultado nos dará la dilución efectiva para poder empezar con el arranque de la planta piloto; es necesario conocer el “porcentaje de dilución correcta” (que permita tener buenas características de pH) para empezar con la evaluación de la eficiencia del piloto.

Como sabemos, es necesaria la dilución de la muestra del desagüe de pota debido a la alta carga orgánica que posee. Para dicha dilución contamos con el desagüe doméstico de la empresa.

El porcentaje de dilución del desagüe industrial del proceso de pota que tomamos, lo seleccionamos de acuerdo al pH de la mezcla. El procedimiento se realizó VARIANDO LA PROPORCION DE VOLUMENES entre el desagüe de pota y el desagüe doméstico. Esto se hizo debido a que el pH de la pota es demasiado bajo, llegando a estar entre 5 a 6 de pH y de acuerdo a datos teóricos; la unidad de lodos activados y UASB deben de trabajar en un rango de pH 6.5 a 8.5. El procedimiento para la determinación de la dilución fue el siguiente:

1.- En un agitador magnético, se agregó el desagüe del proceso de la pasta de pota y el desagüe del frigorífico en diferentes proporciones (1:1, 1:2, 1:2.5, 1:3, 1:3.5, 1:4, 1:4.5, 1:5) respectivamente en un vaso de 150 ml.



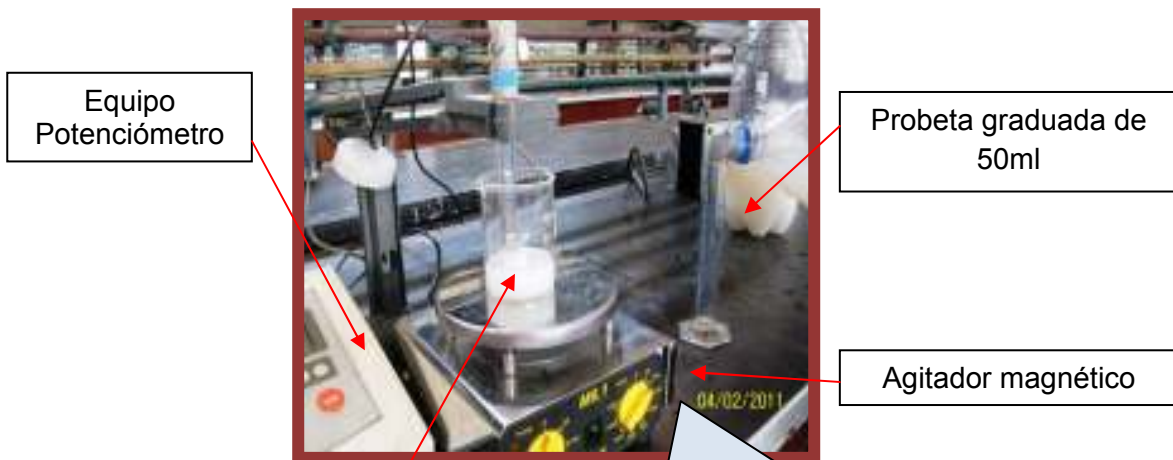
Potenciómetro electrónico

Muestras de desagüe de pota y desagüe domestico, cada una de 3L.

Agitador magnético

Vaso de 250ml para realizar las mezclas de desagües.

En esta imagen se observa todo el equipo a utilizar para esta prueba de dilución. Se encuentra el potenciómetro, agitador magnético, probeta graduada y vaso de 250ml.



Equipo Potenciómetro

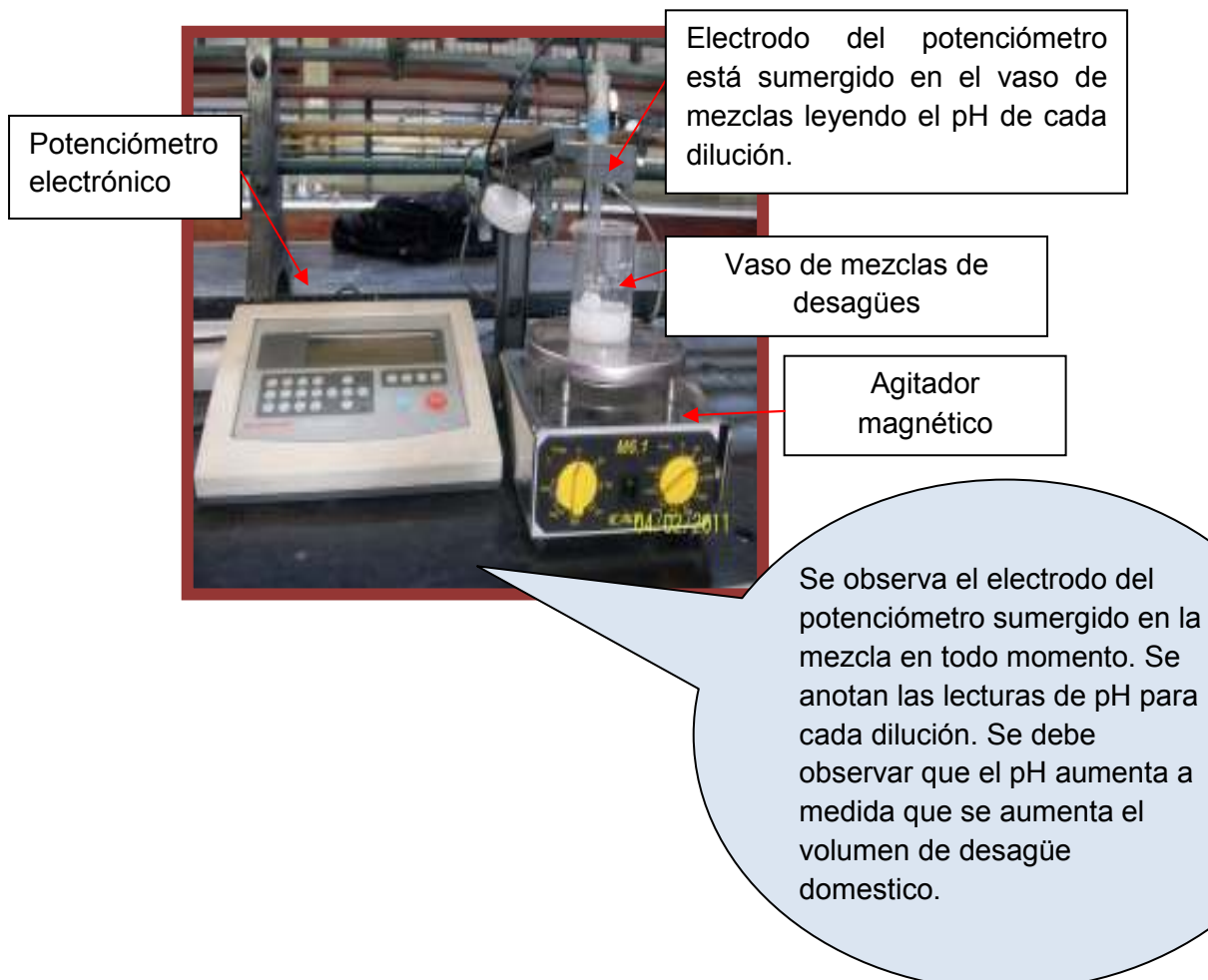
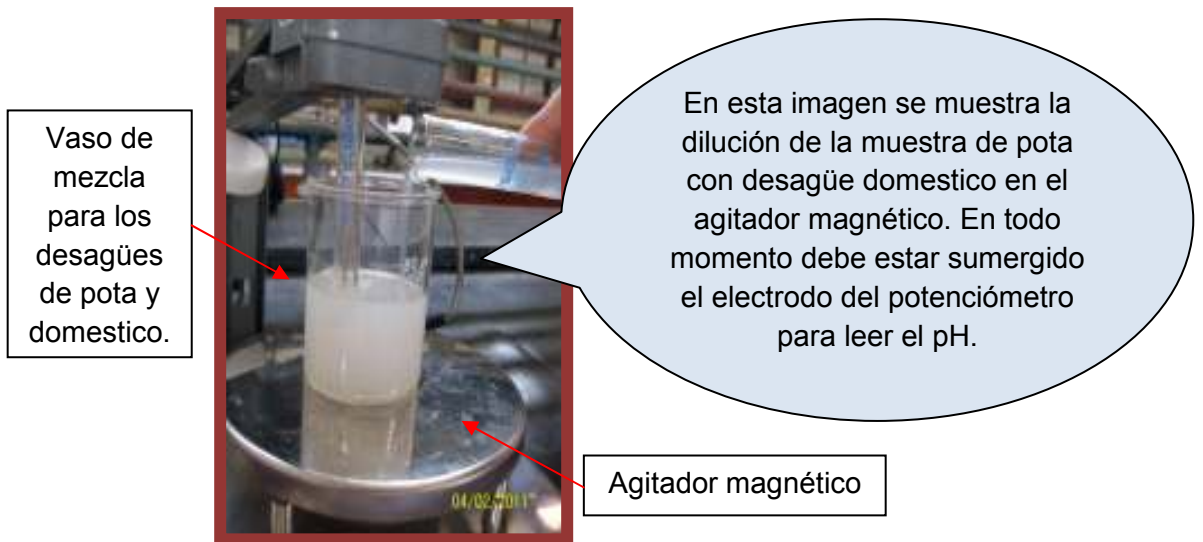
Probeta graduada de 50ml

Agitador magnético

Vaso de mezclas de desagües

En esta imagen se muestra el procedimiento a seguir. Se coloca el vaso de 250ml sobre el agitador magnético. Luego se mide un volumen determinado de desagüe de pota y otro de desagüe domestico considerando las proporciones de dilución descritas anteriormente. Se mesclan en el agitador magnético y se va midiendo el pH de la mezcla. Se continúa sucesivamente variando las proporciones de dilución y se van anotando las variaciones de pH para cada dilución.

2.-Durante la agitación de la mezcla, evaluamos como varia el pH y anotamos que pH corresponde para una determinada proporción de dilución.
(Ver tabla de resultados de la prueba de dilución)



9.6. Resultados de la prueba de dilución

Prueba de mezcla de las muestras del desagüe de la pasta de pota y el desagüe doméstico hasta obtener un pH dentro del rango 6.5 - 8.5.

En esta prueba se hizo una mezcla de las muestras con distintas proporciones para obtener un pH de trabajo para el UASB.

Los equipos que se utilizaron fueron el lector de pH y el agitador magnético para una buena mezcla. A continuación los resultados para distintas proporciones y el pH de la mezcla obtenido.

PROPORCIÓN DE LA MEZCLA <u>DA:DB</u>	PH
1:1	5,804
2:1	6,328
2,5:1	6,537
3:1	6,692
3,5:1	6,879
4:1	6,993
4,5:1	7,094
5:1	7,187

Donde:

- **DA= DESAGUE INDUSTRIAL**
DE LA PASTA DE POTA
- **DB= DESAGUE DOMESTICO**
- pH inicial de **DA= 4.943**
- pH inicial de **DB= 7.117**

Como resultado de esta prueba se concluye que la proporción de mezcla aceptada para trabajar inicialmente podrá ser de 2.5 a 1 (25% de pota por 75% de desagüe doméstico) debido a que se obtiene un pH de 6.5 y se puede trabajar en el UASB. Se pudieron tomar diluciones mayores para arrancar el piloto pero se escogió este porque es la dilución mínima y con un pH dentro del rango.

Desde esta dilución se irá incrementando gradualmente y se analizará el desempeño de la planta piloto en la remoción de materia orgánica.

9.7. Porcentajes de dilución del desagüe industrial de la pasta pota con el desagüe doméstico.

Para el arranque de la planta piloto, se contó con diferentes porcentajes de dilución. Fuimos trabajando de menor a mayor concentración del desagüe de la pasta de pota. Las concentraciones de dilución fueron las siguientes para un volumen de tanque de 250L.

	<i>DESAGUE INDUSTRIAL DE POTA (Litros)</i>	<i>DESAGUE DOMESTICO DE LA EMPRESA (Litros)</i>	<i>PORCENTAJE TOTAL</i>
<i>PRIMERA DILUCION</i>	62.5	187.5	25%
<i>SEGUNDA DILUCION</i>	100	150	40%
<i>TERCERA DILUCION</i>	175	75	70%
<i>CUARTA DILUCION</i>	250	0	100%

Como se mencionó anteriormente, la primera dilución tomada para el arranque del piloto (al 25% del volumen total) fue escogida debido a las pruebas de pH que se realizaron para poder definir un rango entre 6.5 a 8.5 y así poder empezar a hacer las pruebas en el Laboratorio, con la finalidad de determinar la eficiencia de la planta piloto con una cantidad de muestra lo más próximo a la realidad.

Las siguientes diluciones (40%, 70% y 100%) fueron tomadas a nuestro criterio para poder determinar la eficiencia de la planta piloto, hasta llevarlo al límite con la finalidad de determinar la concentración del desagüe de pota en la que se obtiene la mejor eficiencia en la remoción de la carga orgánica.

9.8. Resultados de la caracterización del desagüe industrial de la pasta de pota y el desagüe doméstico de la empresa.

Se caracterizaron los desagües con la finalidad de conocer los parámetros físicos-químicos y determinar el tipo de tratamiento que se le debe dar.

1. Desagüe industrial de la pasta de pota
2. Desagüe doméstico de la empresa.

A. Metodología empleada

Parámetros	Métodos a emplear	
Aceites y Grasas	APHA 5520 D Pág. 5-40, 21st Edition 2005	Soxhlet Extraction Method
Demanda Bioquímica de Oxígeno	APHA 5210-B Pág. 5-2, 21st Edition 2005	5-Day BOD Test – Azide Modification
Demanda Química de Oxígeno	APHA 5220 D Pág. 5-18, 21st Edition 2005	Closed Reflux, Colorimetric Method
pH	APHA 4500-H+ B Pág. 4-90, 21st Edition 2005	Electrometric Method
Oxígeno Disuelto	APHA 4500-0 C Pág. 4-138, 21st Edition 2005	Azide Modification
Sólidos Suspendidos Totales	APHA 2540 D Pág. 2-58, 21st Edition 2005	Total Suspended Solids Dried at 103 °C – 105°C
Turbiedad	APHA 2130 B Pág. 2-9, 21st Edition 2005	Nephelometric Method

Para las pruebas de cada parámetro usamos la metodología que se encuentra en la APHA (American Public Health Association) en la edición del 2005.

B. Resultados de la caracterización del desagüe industrial de pota

De acuerdo al cuadro mostrado, los valores de DBO, DQO, aceites y grasas, sólidos totales y turbidez son altos comparados con un desagüe doméstico, por tal motivo creímos conveniente diluirlo con un desagüe doméstico propio de la empresa, además adicionamos unidades como el UASB porque trabaja mejor para cargas orgánicas altas y de una unidad de post-tratamiento como el filtro para remover la alta turbidez del desagüe industrial. Otro parámetro que nos llamó la atención fue el pH cuyo valor fue de 4.943, basándonos en que la unidad de UASB y los lodos activados trabajan en un rango de pH entre 6.5 y 8.5, hicimos la prueba de dilución para determinar la concentración inicial del desagüe industrial a trabajar.

MUESTRA N°1 : DESAGUE INDUSTRIAL DE POTA

PARÁMETROS	RESULTADO
Aceites y grasas	2589,2 mg/l
Color real	5
Conductividad	32,6 mS
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	13561,82 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	16200 mg/l
Oxígeno Disuelto	9,74 mg/l
pH	4,943
Sólidos Sedimentables	100 ml/l/h
Sólidos Fijos totales (SFT)	1,74E+04 mg/l
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	9,00E+03 mg/l
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	2,73E+04 mg/l
Sólidos Totales (ST)	3,63E+04 mg/l
Sólidos volátiles totales (SVT)	1,89E+04 mg/l
Temperatura	24,7 °C
Turbidez	2868 NTU

C. Resultados de la caracterización del desagüe doméstico

En cuanto a los resultados del desagüe doméstico de la empresa, observamos que los parámetros medidos se encuentran dentro del rango propio de un desagüe doméstico excepto por el valor de la DQO que es muy elevado debido a que el desagüe doméstico de la empresa esta compuesto por el desagüe del lavado de verduras y el desagüe doméstico de los baños. Éste desagüe fue utilizado para la dilución del desagüe industrial de pota porque el valor de la DBO es bajo comparado con la DBO del desagüe industrial.

MUESTRA N° 2: DESAGUE DOMESTICO DE LA EMPRESA

PARÁMETROS	RESULTADO
Aceites y grasas	19,7 mg/l
Color real	0
Conductividad	8,27 mS
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	185,386 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	2292 mg/l
Oxígeno Disuelto	3,05 mg/l
pH	7,117
Sólidos Sedimentables	40 ml/l/h
Sólidos Fijos totales (SFT)	4,24E+03 mg/l
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	1,76E+03 mg/l
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	4,24E+03 mg/l
Sólidos Totales (ST)	6,00E+03 mg/l
Sólidos volátiles totales (SVT)	1,76E+03 mg/l
Temperatura	24,2 °C
Turbidez	149 NTU

D. Prueba de sólidos sedimentables en la probeta de 1 litro

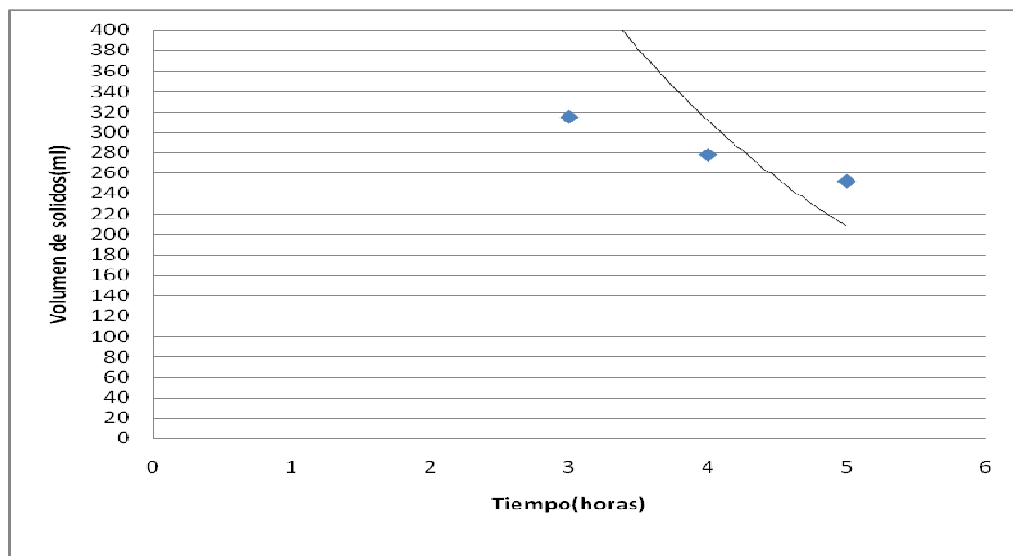
La siguiente prueba fue realizada en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental, los materiales utilizados fueron la probeta de 1 litro y un cronómetro.

Se determinó el volumen de sólidos a cada hora en un tiempo total de cinco horas obteniéndose distintas alturas tanto para la muestra del desagüe industrial de la pasta de pota y el desagüe doméstico así como también para la dilución al 25% del desagüe industrial de pota.

MUESTRA N° 1: DESAGÜE INDUSTRIAL DE PASTA DE POTA

TIEMPO (horas)	VOLUMEN DE SOLIDOS(ml)
1	No se diferencia
2	No se diferencia
3	315
4	278
5	252

VELOCIDAD DE SEDIMENTACION: $6.9 \cdot 10^{-3}$ cm/s

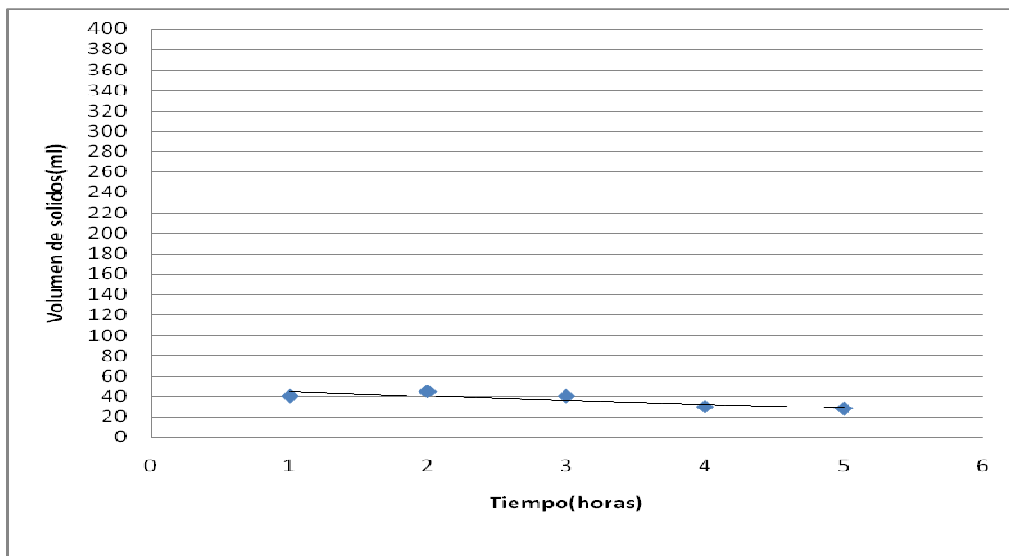


Para esta prueba de sedimentación del desagüe industrial de pota se puede observar que a las dos horas de realizada la prueba no se podía distinguir la cantidad de sólidos que sedimentaban debido a que habían muchas partículas en suspensión.

MUESTRA N° 2: DESAGÜE DOMÉSTICO DE LA EMPRESA

TIEMPO (horas)	VOLUMEN DE SOLIDOS (ml)
1	40
2	45
3	40
4	30
5	28

VELOCIDAD DE SEDIMENTACION: $1.3 \cdot 10^{-2}$ cm/s



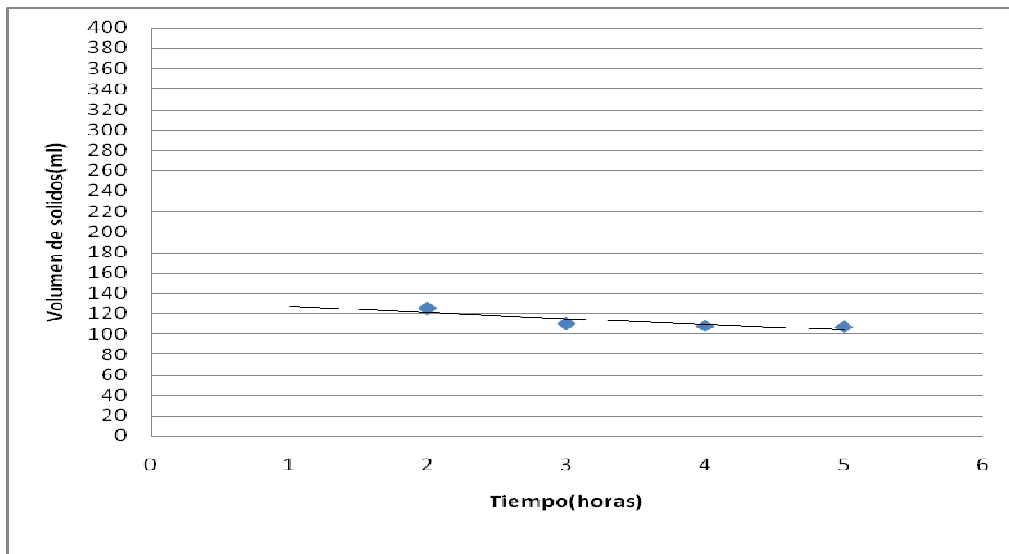
Para el desagüe doméstico de la empresa se puede observar que al cabo de una hora se diferencia la fase sólida y líquida ya que a partir de la primera hora y al transcurrir el tiempo la cantidad de sólidos sedimentados se encuentra constante.

En la tesis de investigación el desagüe industrial de pota será diluido con el desagüe doméstico para disminuir la cantidad de sólidos sedimentables. La velocidad de sedimentación es alta y esto favorece para que un menor tiempo sedimenten las partículas de mayor tamaño.

**MUESTRA N° 3: DESAGÜE INDUSTRIAL DE LA PASTA DE POTA DILUIDO AL
25%**

TIEMPO (horas)	VOLUMEN DE SOLIDOS (ml)
1	No se diferencia
2	125
3	110
4	108
5	107

VELOCIDAD DE SEDIMENTACION: $9.2 \cdot 10^{-3}$ cm/s



En cuanto al desague industrial de pota diluido al 25% , observamos que a la primera hora de prueba no se pudo diferenciar la fase líquida y la fase sólida debido a la cantidad de sólidos suspendidos del desague diluido.

A la segunda hora se pudo observar un volumen de sólidos sedimentados que fue constante hasta el final de la prueba que duro cinco horas. Debido a esto surgió la necesidad de colocar un sistema de pre-tratamiento del tipo sedimentador primario para aumentar la eficiencia en la remoción de la materia orgánica y además para que no afecte las unidades de UASB y lodos activados.

9.9. Explicación del funcionamiento de la planta piloto

Luego de conocer los resultados de la caracterización del desagüe industrial de la pasta de pota se procedió a la adición de las unidades y el funcionamiento de la planta piloto es como sigue:

Primero ubicamos las cajas de recolección del desagüe industrial y el desagüe doméstico de la empresa.

La caja de captación del desagüe del proceso de pota se encuentra a 20 metros de nuestro piloto, dicha caja tiene una longitud de 2 m x 1.5m de ancho y una profundidad de 3 metros, dicha caja cuenta con dos compartimentos, uno para el desagüe del proceso de pota y el otro para el desagüe doméstico. El compartimiento del desagüe del proceso de pota cuenta con una bomba sumergible que bombea a un pozo de almacenamiento para posteriormente ser dispuesto por TERCEROS que se llevan el desagüe para tratarlo de manera particular; esta operación se hace exteriormente a la empresa que procesa la pota.



La planta piloto se encontraba a 25m de la caja de recolección de los desagües industrial y doméstico.



Ubicación de las cajas de recolección de desagüe de pota y doméstico. En esta foto se tiene la vista de dichas cajas desde la parte alta del piloto.

Los compartimentos se encuentran aproximadamente a 25m del piloto

En esta imagen se muestra una vista panorámica de la ubicación de las cajas de recolección de desagüe desde la parte alta del tanque azul. La idea es mostrar el trayecto de la línea de impulsión desde las cajas de recolección de desagüe hasta la entrada al tanque azul del piloto.

Vista de la caja de recolección del desagüe de pota

Bomba sumergible para terceros; se bombea hacia tanques de sedimentación para que terceros lo traten fuera de la empresa procesadora de pota

Cribas para el desagüe de pota.



En esta imagen se observa el interior de la caja de recolección del desagüe de pota. Se observa un desagüe de color blanquecino característico de la pota. Se indica la ubicación de la bomba sumergible a una esquina de la caja, esta bomba succiona el desagüe de pota y lo lleva a un tanque de almacenamiento para después ser dispuestos por terceros. También la imagen muestra que hubo días de parada de la planta procesadora de pota; en donde teníamos que sacar el desagüe con nuestras propias manos hacia un tanque para así poder bombearla hacia el piloto.

Color blanquecino característico de la pota

Quando no había desagüe de pota, teníamos que baldear a un tanque.

Bombeo Del Desagüe De Pota Con Una Bomba De 0.5HP...

Tanque donde se almacenaba el desagüe cuando había parada de planta de proceso de pota. Luego era bombeado hasta el tanque azul ubicado al inicio del piloto.



....para después bombear al piloto.

Manguera de impulsión hacia el piloto

En esta imagen se muestra un tanque azul el cual usábamos para poder bombear el desagüe de pota cuando había parada de proceso de pota en la planta. Se baldeaba el desagüe hacia este tanque y luego con ayuda de la bomba de 0.5HP se impulsaba hasta el tanque azul colocada al inicio del piloto. Esta operación se realizaba para tener un afluente continuo en el piloto aún cuando no había proceso de pota en la planta; y así, no detener el funcionamiento de la planta. La manguera de impulsión que usamos es de 1/2".

Observación: Cuando hay proceso de pota y se quiere bombear el desagüe del proceso de pota, se tiene que apagar a la bomba sumergible y dejar que se llene la caja para así poder bombearla.



Bomba de impulsión del desagüe de pota hacia el piloto.

Tanque de almacenamiento del desagüe de pota cuando había parada de proceso en la planta de la industria de pota.

En esta imagen se muestra la manera de succión de la bomba hacia el tanque azul del piloto.

El otro tipo de desagüe es el desagüe del tipo domestico, este es recolectado en una caja ubicado justo al lado de la caja de recolección del desagüe de pota. Cada caja cuenta con sus mallas de cribado que son limpiados diariamente por un operario.



En esta imagen se muestra el interior de ambas cajas de recolección de desagües. Al lado izquierdo se observa la caja de recolección del desagüe de pota, es descargado con una tubería de 8" y cuenta con mallas de cribado que atrapan la grasa o nata que salen junto con el desagüe. En el lado derecho se observa la caja de recolección del desagüe domestico, es descargado con una tubería de 8" y cuenta con dos mallas de cribado para retener el material flotante de las verduras picadas que salen del área de verduras. Desde estas dos cajas se impulsaron ambos tipos de desagüe en diferentes volúmenes, todo ello con la finalidad de obtener una determinada concentración de la dilución en el tanque azul, a la entrada de la planta.

Detalles de los interiores de las cajas de recolección de desagüe de pota y desagüe doméstico (salida)



En esta imagen se muestra las salidas de las cajas de recolección de los desagües. A la derecha se encuentra la salida del desagüe de pota por intermedio de la bomba sumergible que lo impulsa hacia un tanque de almacenamiento para ser dispuesto por terceros. A la izquierda se encuentra la salida del desagüe doméstico a través de un tubo de 8" que conduce al desagüe doméstico hacia otra unidad de almacenamiento para luego ser tratada por unidades propias de la empresa.

Caja de recolección del desagüe doméstico



En esta imagen se muestra la forma de instalación de la bomba de impulsión de 0.5HP en la caja de recolección de desagüe domestico.

Para el caso de la caja de recolección del desagüe de pota, se tuvo que apagar por un tiempo la bomba sumergible con la finalidad de que se llene la caja de recolección del desagüe de pota para así poder sumergir la tubería de succión de nuestra bomba de 0.5HP y poder bombearla hacia el taque azul del piloto.

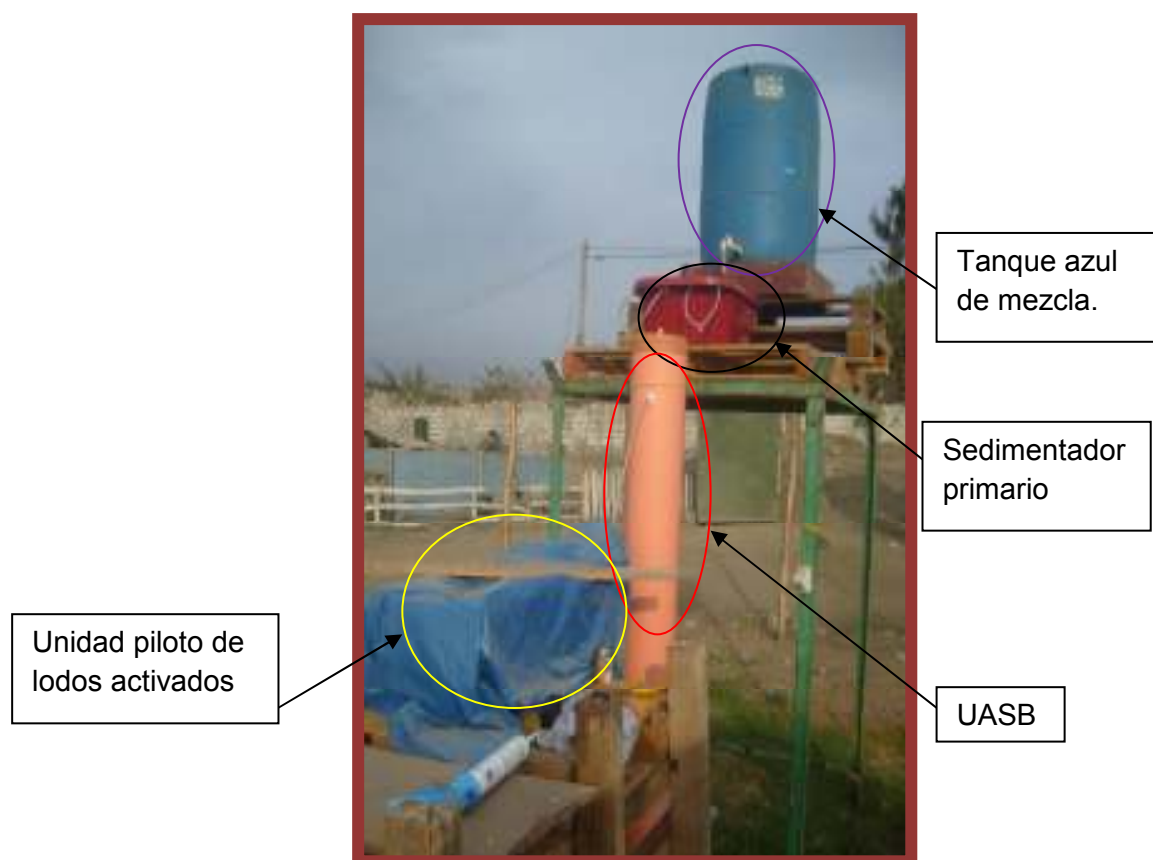
El desagüe de pota es bombeado y captado en el tanque azul de 250L, ahí es diluida en distintas concentraciones de dilución con el desagüe del frigorífico. Cabe recordar que la proporción de dilución al 25% para el arranque del piloto fue debido a que es la mejor mezcla para mantener un pH cercano a 7 (prueba para determinar la concentración de dilución).

Llenado del tanque azul con los desagües domésticos y de pota a la entrada del piloto



Esta imagen muestra la mezcla de los desagües en el tanque azul. Aquí se ve un desagüe de pota diluido con el desagüe doméstico.

Se inició con un porcentaje de dilución al 25% de pota, las demás diluciones fueron del 40%, 70% y al 100% de pota.



Aquí se observa la instalación del piloto dentro de la empresa en estudio. Se observa el tanque azul donde se diluye el desagüe de pota, el sedimentador primario (tina guinda), el UASB (tubería de 200mm) y la unidad piloto de lodos activados (tapado con la bolsa azul). Luego de llenar el tanque respetando la dilución del desagüe de pota se procede con el llenado de las unidades por gravedad y arranque del piloto.

La salida de dicha dilución en el tanque esta a 10cm del espejo de agua estática dentro del tanque, esto funciona con ayuda de un flotador que mantiene a dicha manguera en esa posición. Debido a ello, dicho tanque azul funciona como una trampa de grasas.

**Llenado del tanque azul
(tanque de mezcla)**

Llegada de la manguera de impulsión: de la caja de salida del desagüe de pota y frigorífico hasta el tanque de mezcla.

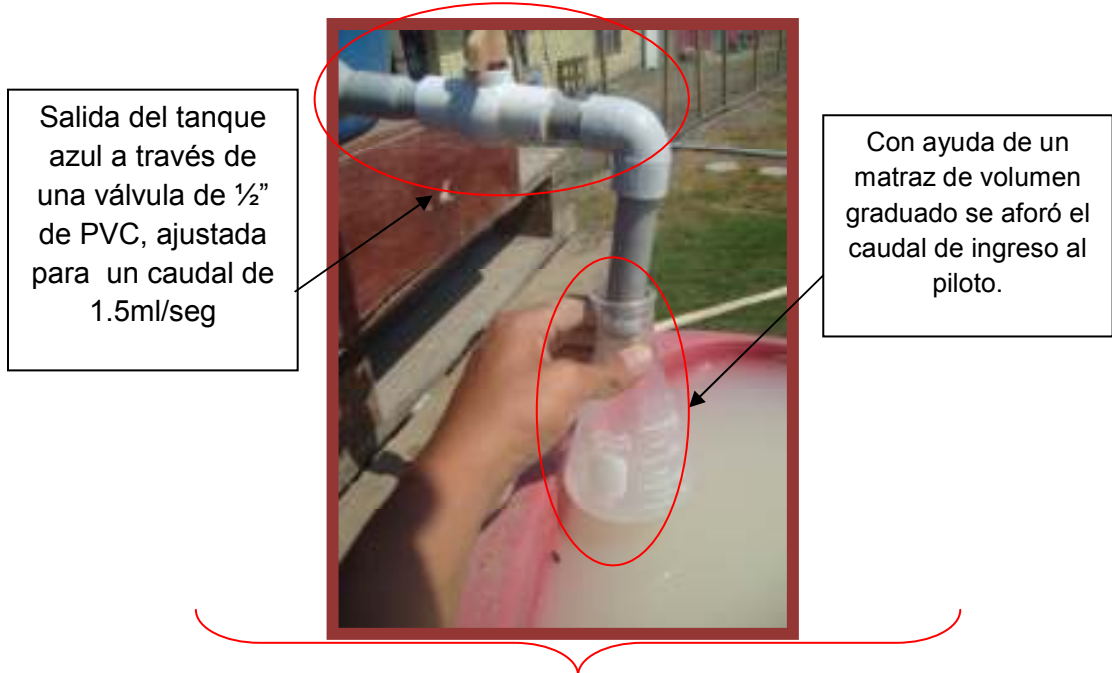


Flotador que mantiene la manguera a una altura de 10 cm del espejo de agua.

En esta imagen se quiere mostrar la forma de llenado del tanque. Se observa la llegada del desagüe a través de la manguera de 1/2" hacia el tanque azul, se observa también la boya flotante que mantiene a la manguera suspendida a 10cm del espejo de agua con la finalidad de tomar el desagüe en ese punto; por tal motivo, el tanque azul también trabaja como una unidad de sedimentación y como un retenedor de grasa, ya que el desagüe se encuentra estático, la grasa flota y no pasa a la siguiente unidad.

Se puede concluir que el tanque azul tiene tres funciones: almacena el desagüe diluido, funciona como sedimentador y retiene grasas características del desagüe de pota.

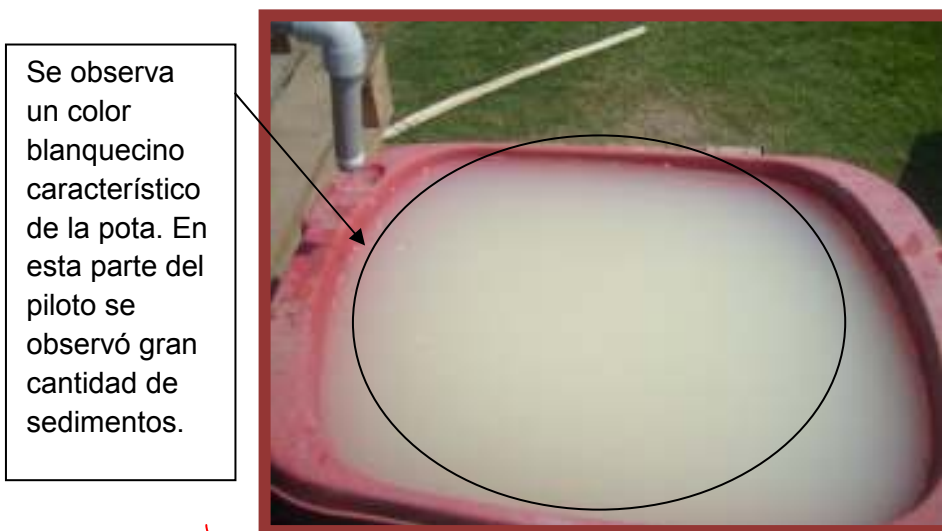
A la salida del tanque azul, con un caudal de 1.5 ml/seg, se encuentra el sedimentador primario, cuyo volumen es de 42 L. A la salida de dicho sedimentador cuenta con 04 puntos de salida que se dirigen al UASB, entrando solo 02 mangueras a este.



Salida del tanque azul a través de una válvula de $\frac{1}{2}$ " de PVC, ajustada para un caudal de 1.5ml/seg

Con ayuda de un matraz de volumen graduado se aforó el caudal de ingreso al piloto.

Se muestra una imagen del proceso de aforo a la salida del tanque azul, fue complicado intentar mantener un caudal constante de 1.5ml/seg, ya que ocurrían continuamente atoros debido a los sedimentos presentes en el desagüe de pota. Es por ello que los aforos se tienen que realizar continuamente usando un matraz y un cronometro.



Se observa un color blanquecino característico de la pota. En esta parte del piloto se observó gran cantidad de sedimentos.

En esta imagen en vista de planta muestra al sedimentador primario lleno con el desagüe que sale del tanque azul. El caudal de ingreso es de 1.5ml/seg; se observa el material suspendido de color blanco. Aquí debe ocurrir la sedimentación de las partículas de mayor peso en el desagüe.



Salida del Tanque de sedimentación y entrada al UASB (entran 02 mangueras al UASB)

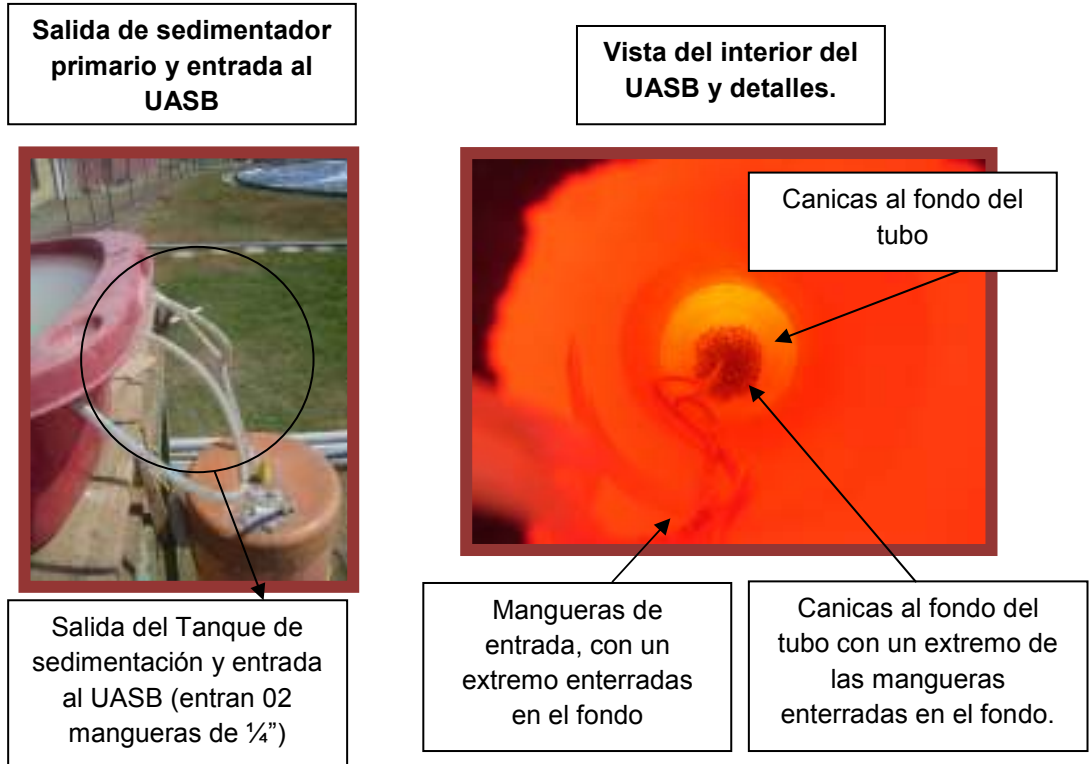
Esta es una foto de la salida del Tanque de sedimentación y entrada al UASB. La salida del tanque de sedimentación es por rebose y recolectado a través de 04 mangueras que a su vez se unen formando solo 02, de las cuales estas ingresan al reactor UASB.

Esta imagen muestra otra vista de la salida del sedimentador secundario y entrada al UASB. Se puede observar al sedimentador primario de rojo y la unidad de UASB en la parte inferior. Este tramo tuvo complicaciones con los atoros debido a las grasas que flotaban en el sedimentador y eran arrastrados hacia la salida y se introducían en las tuberías obstaculizando el paso.



Salida del Tanque de sedimentación y entrada al UASB (entran 02 mangueras al UASB)

Entran 02 mangueras a la unidad de UASB, llegan hasta el fondo (donde se encuentran las canicas) y desde ahí comienza a emerger de manera ascendente. Dicho UASB tiene dos salidas del desagüe tratado que se unen formando una sola que entra al tanque biológico.



Se presentan dos imágenes: en la izquierda se muestra como las tuberías salen del sedimentador primario e ingresan al UASB, en la derecha se muestra una imagen interna del UASB; se observa las dos tuberías que llegan hacia el fondo en donde es enterrado en las canicas, estas canicas tienen la finalidad de evitar que el lodo del UASB ingrese a las tuberías y las obstruya. El flujo del desagüe es ascendente y la salida es por rebose a través de orificios y recolectado por tuberías de plástico.



Tuberías (1/4")
de salida del
UASB y
entrada al
tanque
biológico

En esta imagen se muestra la vista externa del UASB, las tuberías señaladas son las que conducen el desagüe tratado que rebose del UASB hacia el tanque aireado.

A la salida del UASB, se encuentra el tanque biológico o laguna de aireación. En la primera etapa contaba con 3 bombas de 5W cada una y seis mangueras difusoras de aire (cortinas de aire). Pero ahora, debido a que la carga es mucho mayor en el desagüe, requiere mayor aireación, por tal motivo se agregó un compresor de aire de 20 W y una bomba más de 5W, además, el número de mangueras difusoras se incrementó a 08 (cada bomba para cada difusor de aire).

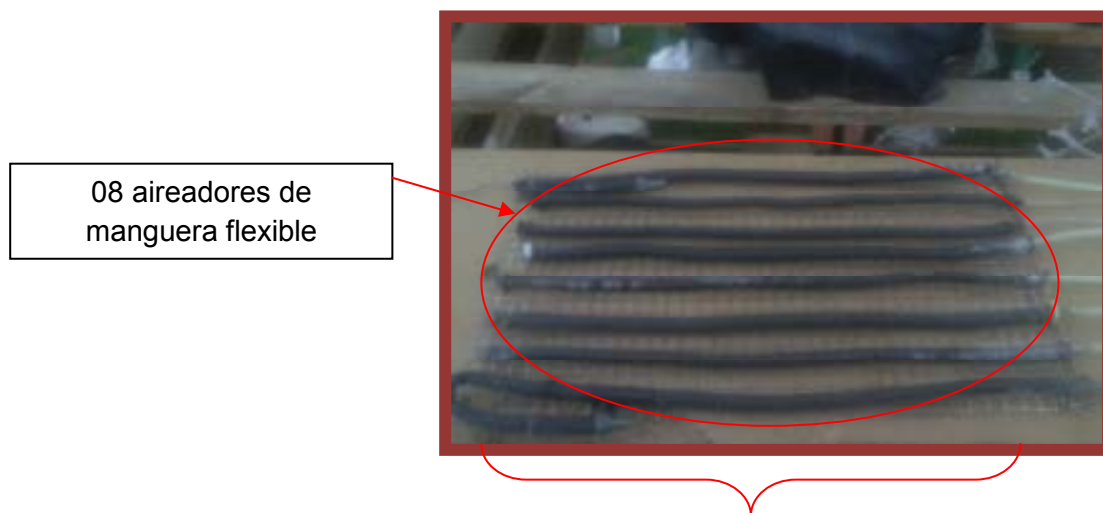


Equipo de bombeo usado en la segunda etapa. Se observa el compresor de aire de color plomo y los aireadores de peceras de color azul.

Compresor de aire de 20W de potencia. 4 veces más que los aireadores de color azul.

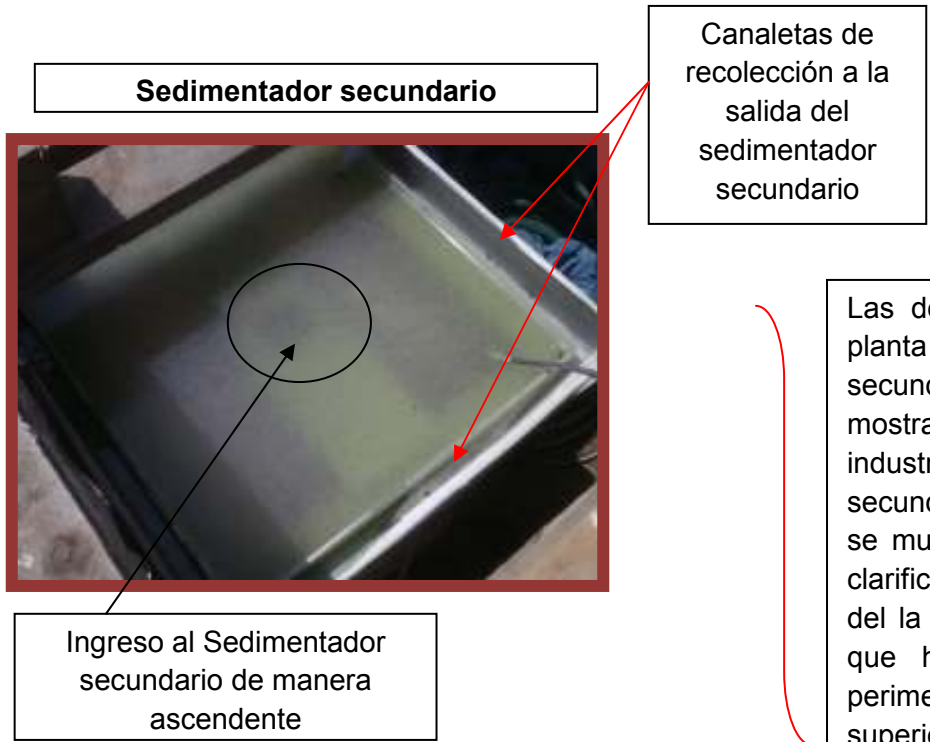
En la imagen izquierda se muestra el equipo completo de aireación que se utilizó para la segunda etapa. Para esta segunda etapa se agregaron un compresor de aire de 20W y una bomba de aire. Se aumento el número de quipo con la finalidad de aumentar la aeración debido a la altísima carga que presenta el desagüe de pota.

Para la segunda etapa de la tesis de investigación se utilizaron 8 tuberías difusoras con la finalidad de aumentar la concentración de oxígeno en el tanque de aireación.

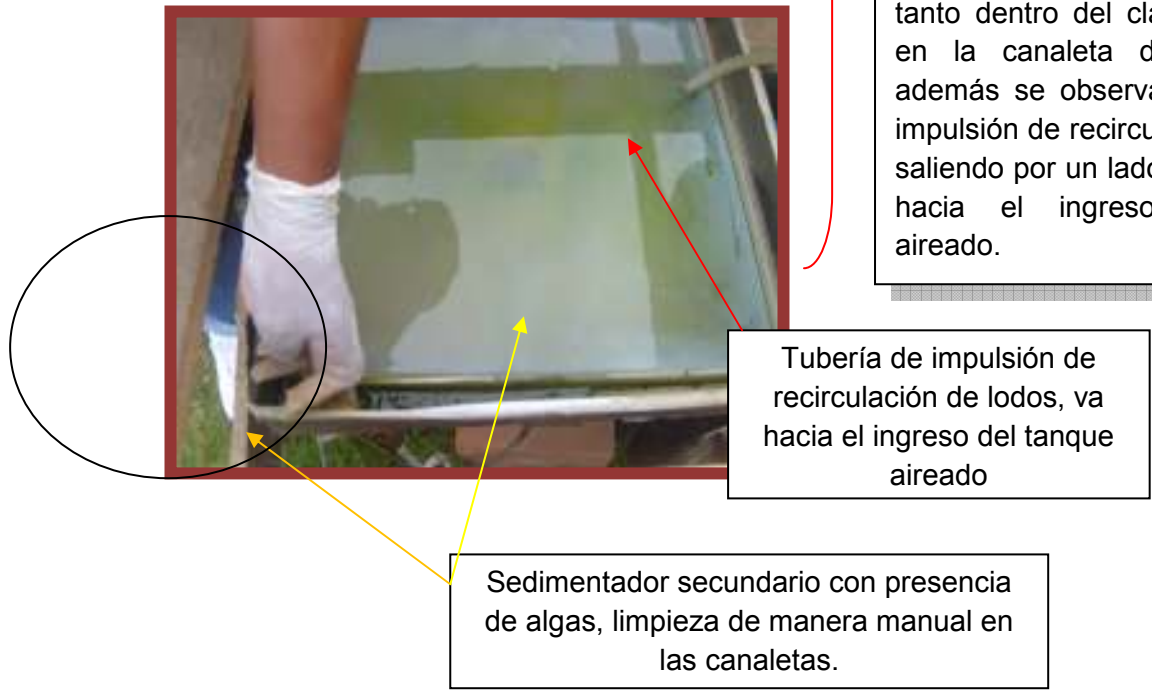


En esta imagen se muestra el número de mangueras difusoras que se utilizaron en la segunda etapa. En la primera etapa solo se utilizaron 06 tubos difusores, pero para esta segunda etapa se incrementó a 08 tuberías difusoras; haciendo trabajar cada bomba para cada difusor de aire; es decir, se duplicó el aire suministrado para el tratamiento del desagüe industrial de pota.

A la salida del tanque de aireación se encuentra el tanque de sedimentación secundario. Es el mismo de la primera etapa. Además se le agregó una bomba sumergible ubicada en el fondo, con la finalidad de re-bombear el lodo acuoso sedimentado en el fondo hacia la entrada del tanque biológico.



Las dos imágenes son vistas de planta del sedimentador secundario. En ellos se quiere mostrar la apariencia del desagüe industrial a la salida del clarificador secundario. En la imagen izquierda se muestra que la salida hacia el clarificador es por la parte central del la unidad, además se observa que hay una canaleta ubicada perimetralmente en el borde superior del clarificador que recolecta el desagüe tratado por rebose. En la imagen de la derecha se observa las formaciones de colonia de algas tanto dentro del clarificador como en la canaleta de recolección; además se observa la tubería de impulsión de recirculación de lodos saliendo por un lado y dirigiéndose hacia el ingreso del tanque aireado.



El encendido de dicha bomba de recirculación es dos veces por semana, debido a que arroja un caudal de 30ml / seg. Y es mucho mayor al caudal de entrada que es 1.5ml/seg. Es por ello que no puede ser encendido de manera constante.

La última unidad de tratamiento es un filtro. Al comienzo se hizo con varios tipos de material granular: piedra molida, cuarzo con carbón, grava, arena gruesa y arena fina. Los resultados no fueron los adecuados, por eso se cambiaron los materiales mencionados por una malla filtrante y confitillo para intercalar las mallas.



En esta imagen se muestra una vista de planta del filtro usado en el piloto, se encuentra ubicado después del clarificador secundario. Se usó esta unidad con la finalidad de remover turbiedad a la salida. En esta imagen podemos observar que hubo días en que el desagüe tratado salía con menor turbiedad comparada con el color blanquecino presente en el sedimentador primario.



Esta foto muestra una vista de perfil del filtro usado en el piloto. En esta imagen quisimos mostrar la alta formación de algas que se presentaron en sus paredes en un inicio; esto fue un aspecto negativo debido a que aumentaba la turbiedad a la salida del filtro, ya que las algas eran arrastradas en el momento de tomar la muestra.

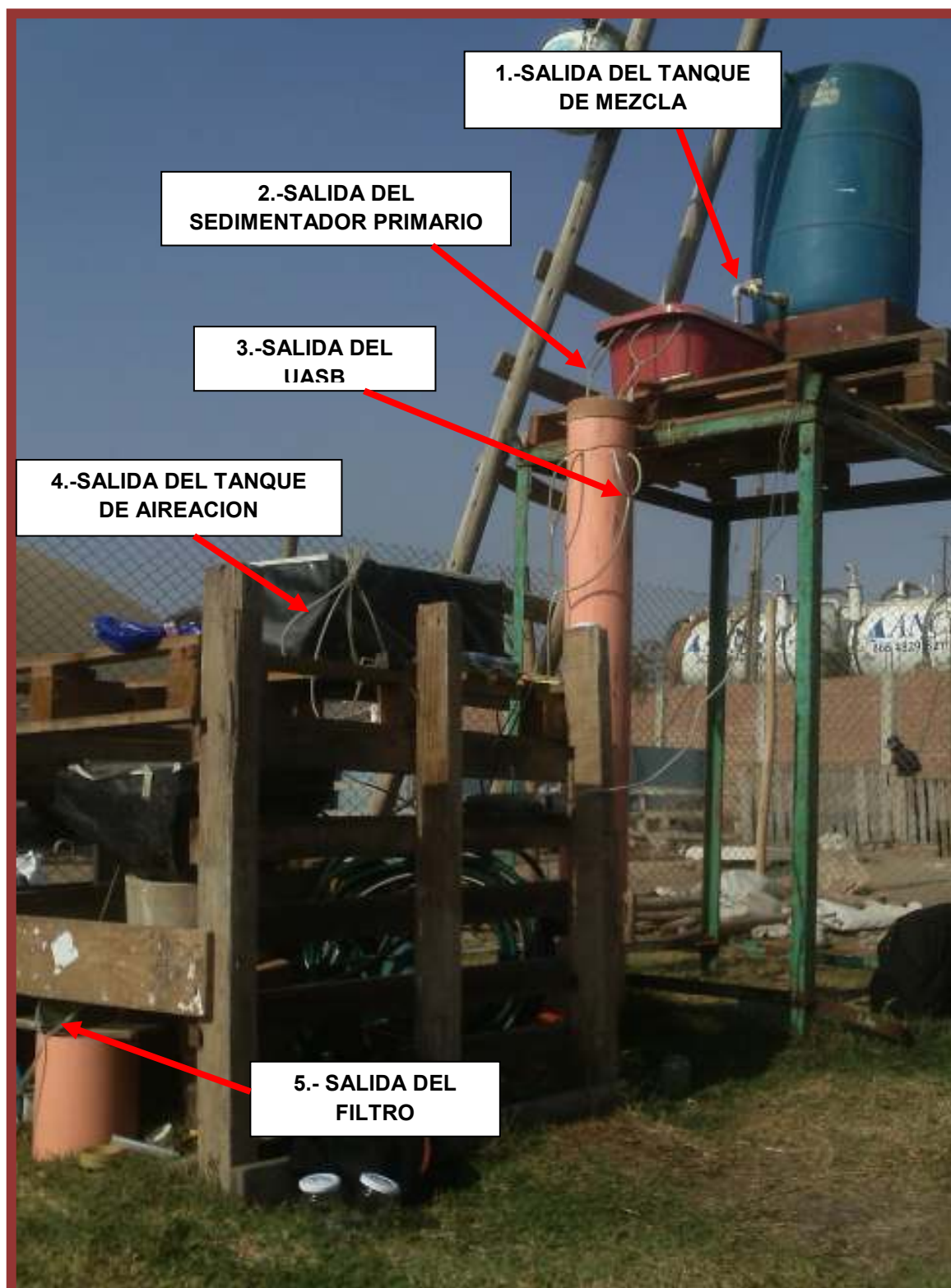
Confitillo con presencia de algas en la superficie



En esta imagen se muestra las canaletas de recolección ubicadas perimetralmente en la parte superior del filtro (de color blanco). La recolección es por rebose y conducida a través de los orificios. Se muestra el confitillo en la superficie y debajo una de las mallas de filtración.

9.10. Puntos de monitoreo en la planta piloto durante la segunda etapa de investigación.

En la siguiente foto se muestran los cinco puntos de monitoreo para la segunda etapa de la tesis de investigación. Cada punto se encuentra a la salida de cada unidad.



9.11. Parámetros analizados durante el funcionamiento del piloto

Los parámetros que se analizaron en la segunda etapa de investigación fueron los siguientes:

Estos parámetros fueron medidos entre una y dos veces a la semana.

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- Sólidos sedimentables.
- Sólidos totales, disueltos, fijos y volátiles.
- Grasas y aceites.

Parámetros medidos diariamente:

- Turbiedad.
- Oxígeno disuelto.
- pH.
- Turbiedad.
- Conductividad.
- Temperatura.

Los siguientes parámetros fueron medidos adicionalmente cuando la planta piloto estuvo trabajando con una concentración del desagüe industrial de pota del 100%:

- Nitratos.
- Nitrógeno amoniacal.
- Fosforo total.

9.12. Muestra grafica de cómo varía el afluente en los cinco puntos de monitoreo de la planta piloto

PRIMERA MUESTRA TOMADA EN EL ARRANQUE DEL PILOTO AL 25% DE CONCENTRACION DEL DESAGUE INDUSTRIAL DE POTA (04 DE MAYO DEL 2011)



Estas dos imágenes muestran los primeros puntos tomados al 25% de dilución del desagüe industrial de pota. Se observa que en el punto 01 (tanque azul del piloto) presenta un color blanquecino característico de la pota; pero a la salida del piloto (salida del clarificador secundario) ya tiene un color característico de las algas con presencia de oxígeno.

ULTIMA MUESTRA TOMADA AL 25% DE CONCENTRACION DEL DESAGUE INDUSTRIAL DE POTA (26 DE MAYO DEL 2011)



Estas dos imágenes muestran el último conjunto de puntos tomados en el piloto para una dilución al 25%. Se observa que no varía mucho comparado con las muestras tomadas el 04 de mayo. Además, se observa presencia de algas a la salida del clarificador secundario.

**PRIMERA MUESTRA TOMADA AL 40% DE CONCENTRACION DEL
DESAGUE INDUSTRIAL DE POTA (09 DE JUNIO DEL 2011)**

Punto N°5:
Salida del
filtro

Punto N°1:
Salida del
tanque azul



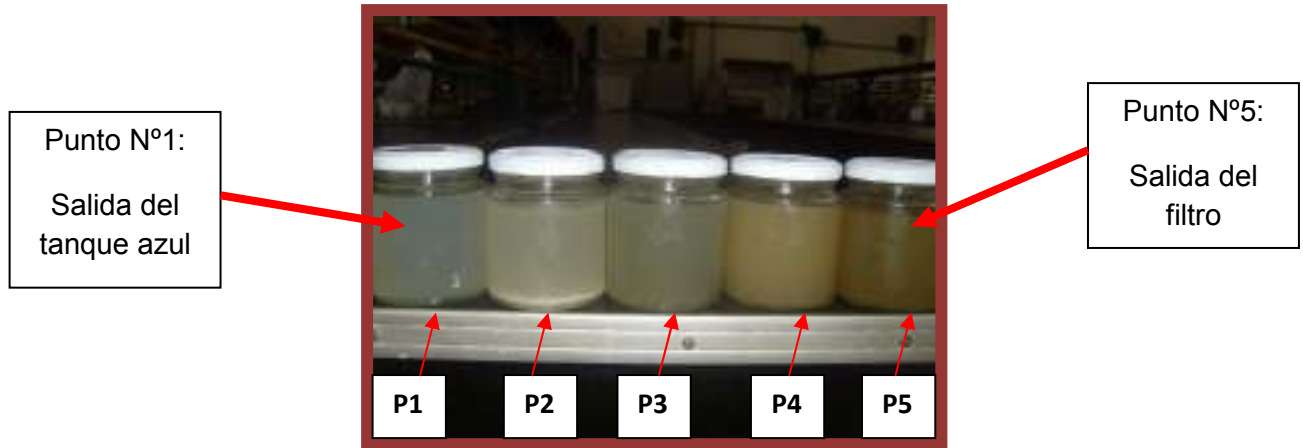
Estas son imágenes que muestran los 05 puntos de monitoreo y su variación de color en forma gradual en cada unidad de la planta piloto. Todavía se observa presencia de algas a la salida del filtro, esto fue un problema continuo debido a la formación de algas en el clarificador secundario y en el filtro.

**ULTIMA MUESTRA TOMADA AL 40% DE CONCENTRACION DEL
DESAGUE INDUSTRIAL DE POTA (23 DE JUNIO DEL 2011)**



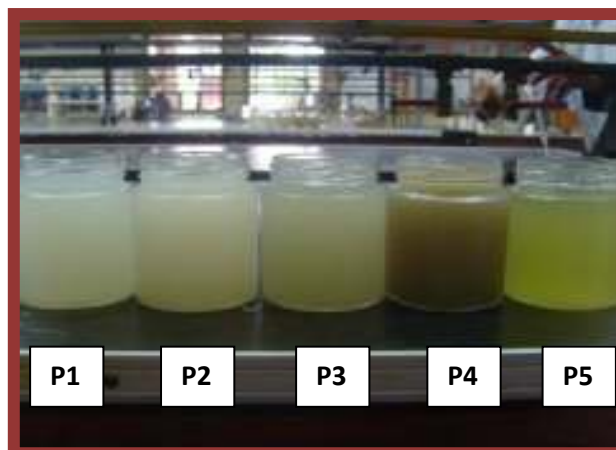
En la imagen de la izquierda se muestra la comparación de los 05 puntos de monitoreo en la planta piloto. En el último día de muestreo para una concentración del 40% del desagüe industrial de pota, se observa en la entrada un color mas blanquecino comparado con la entrada de pota a una dilución del 25%, en el punto P3 (salida del UASB), se observó arrastre de lodo por el aumento de la velocidad; esto se debió a los atoros que no permitían controlar un caudal constante de trabajo. A la salida del filtro se observa un desagüe con un color entre verde con marrón y empieza la desaparición de las colonias de algas; entonces se puede decir que hay una leve disminución del OD en la salida. La imagen de la derecha muestra la comparación entre la entrada P1 y la salida P5; ahí se puede observar el cambio de color.

**PRIMERA MUESTRA TOMADA AL 70% DE CONCENTRACION DEL
DESAGUE INDUSTRIAL DE POTA (01 DE JULIO DEL 2011)**



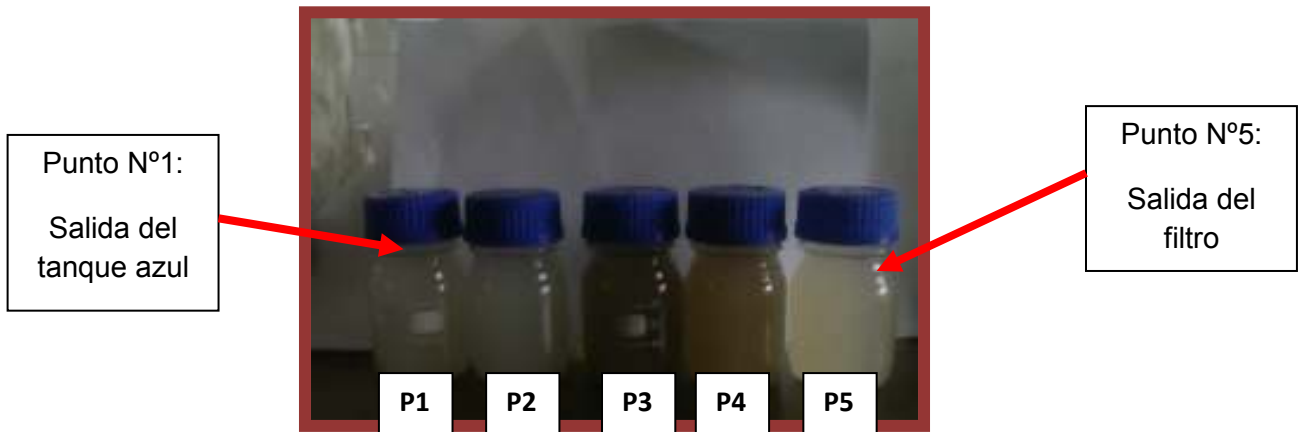
Esta imagen muestra la comparación de las primeras muestras tomadas a una dilución del 70%. La concentración de pota es mayor, por tal motivo se observa en el P2 (salida del sedimentador secundario) mayor cantidad de sedimentos. Se pudo controlar la velocidad en el P3 (salida del UASB) ya que no se observan arrastres de lodo; la salida presenta un color marrón oscuro. Se observa la desaparición de algas a la salida del piloto por tal motivo está disminuyendo la concentración de OD a la salida.

**ULTIMA MUESTRA TOMADA AL 70% DE CONCENTRACION DEL
DESAGUE INDUSTRIAL DE POTA (15 DE JULIO DEL 2011)**



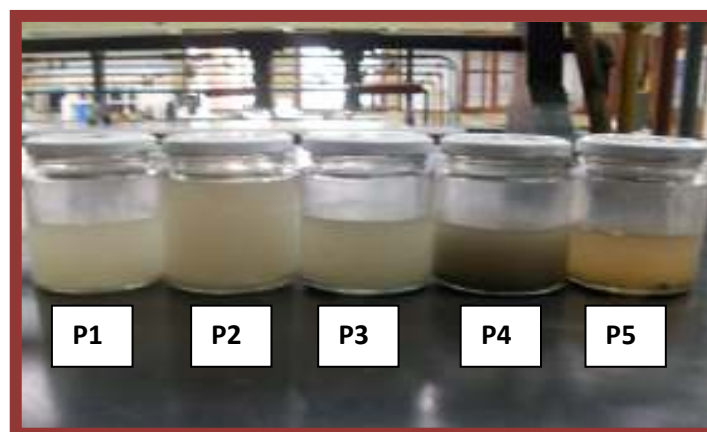
Esta imagen muestra la comparación de las últimas muestras tomadas a la dilución del 70%. No hay arrastre de lodo del UASB en el P3 (salida del UASB) ya que se pudo controlar la velocidad en el reactor anaerobio; se observa mayor formación de lodos en el P4 (tanque aireado) y en la salida hay aparición de algas; esto no debe llamar la atención ya que la concentración del desagüe de pota a la salida de la planta es muy variable, llegando unos días ser muy concentrada y otros días muy diluida.

**PRIMERA MUESTRA TOMADA AL 100% DE CONCENTRACION DEL
DESAGUE INDUSTRIAL DE POTA (20 DE JULIO DEL 2011)**



Esta imagen muestra la comparación de las primeras muestras tomadas al 100%; el P1 (tanque azul) se presenta con alta turbiedad, esto se sustenta ya que se está trabajando solamente con un desagüe industrial de pota. Hay arrastre de lodo del UASB en el P3 (salida del UASB) esta vez no se pudo controlar la velocidad en el reactor anaerobio. Se observa la formación de lodos en el P4 (tanque aireado) y en la salida no hay presencia de algas, solo un color blanquecino con algunos sedimentos, se debe recalcar que en el sedimentador secundario hubo formaciones de natas de grasa en la superficie de color blanco y apariciones de colonias de bacterias de color rojizas en las paredes del filtro.

**ULTIMA MUESTRA TOMADA AL 100% DE CONCENTRACION DEL
DESAGUE INDUSTRIAL DE POTA (05 DE AGOSTO DEL 2011)**



Esta imagen muestra la comparación de las últimas muestras tomadas a la dilución del 100%; se observa una alta concentración del desagüe de pota a la entrada P1, no hubo arrastre del lodo del reactor anaerobio P3, hay formación de lodos en el tanque aireado P4 y a la salida hay un aumento considerable de la turbiedad y aumento de sedimentos. Esta elevación de la turbiedad y el color rojizo en el punto P5 (salida del filtro) se debe a que hubo formaciones de colonias de bacterias de color rojizas en las paredes del filtro y en sus mallas de filtración, estas bacterias fueron arrastradas hacia la salida aumentando la turbiedad y dándole un color rojizo al efluente final.

9.13. Cálculos y resultados de la segunda etapa de investigación

En la segunda etapa de la presente tesis de investigación se evaluó la eficiencia de remoción de la carga orgánica expresada como demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y como demanda química de oxígeno (DQO). Se realizaron 4 diluciones del desagüe industrial de la pasta de papa al 25%,40%,70% y 100%. El desagüe industrial de papa se diluyó con el desagüe de verduras.

El día 29 de Abril del 2011 se dio inicio a la evaluación del sistema con una dilución al 25%, tomando muestras de manera diaria de lunes a viernes en los puntos: salida del tanque azul, salida del sedimentador primario, salida del UASB, salida del tanque de aireación y salida del filtro. El día 05 de Agosto del 2011, finalizó la evaluación de la segunda etapa de investigación.

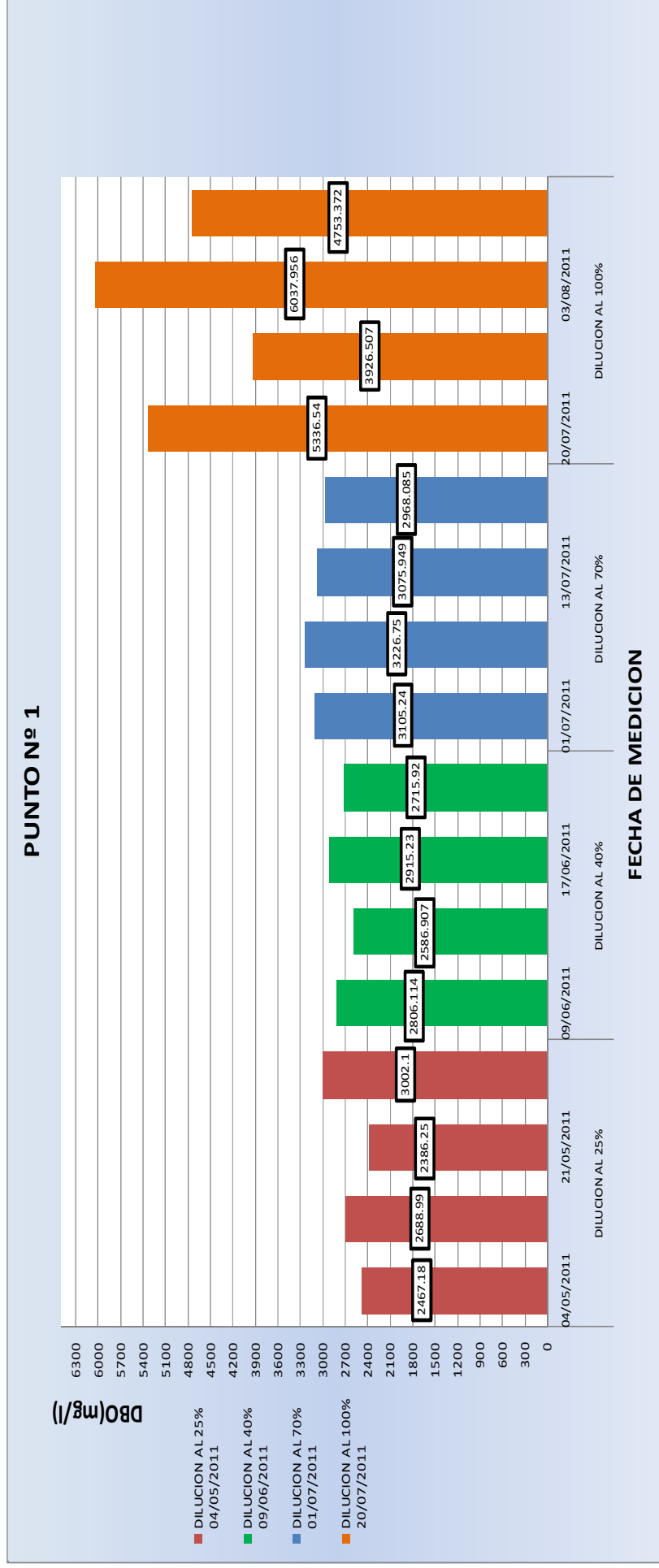
La denominación de los distintos puntos de monitoreo es como sigue:

Componentes	Descripción
Salida del tanque azul	<i>Punto N° 1</i>
Salida del sedimentador primario	<i>Punto N° 2</i>
Salida del UASB	<i>Punto N° 3</i>
Salida del tanque de aireación	<i>Punto N° 4</i>
Salida del filtro	<i>Punto N°5</i>

La Demanda Bioquímica de Oxígeno en el punto 1 para distintas diluciones se muestra en la figura 10. Al aumentar la concentración del desagüe industrial de la pasta de pota, aumentó la carga orgánica. Trabajando con una concentración hasta el 70% la carga orgánica no llegó a sobrepasar los 3300 mg/l, sin embargo con una dilución al 100% la carga orgánica se duplicó.

Para rangos del 25% al 70% de dilución se puede manejar el tema de operación y mantenimiento debido a que la carga orgánica en promedio no varía mucho comparado con la dilución al 100%. Sin embargo, si no se tiene en cuenta la DBO al 100% se podría tener problemas en la planta al momento de su funcionamiento.

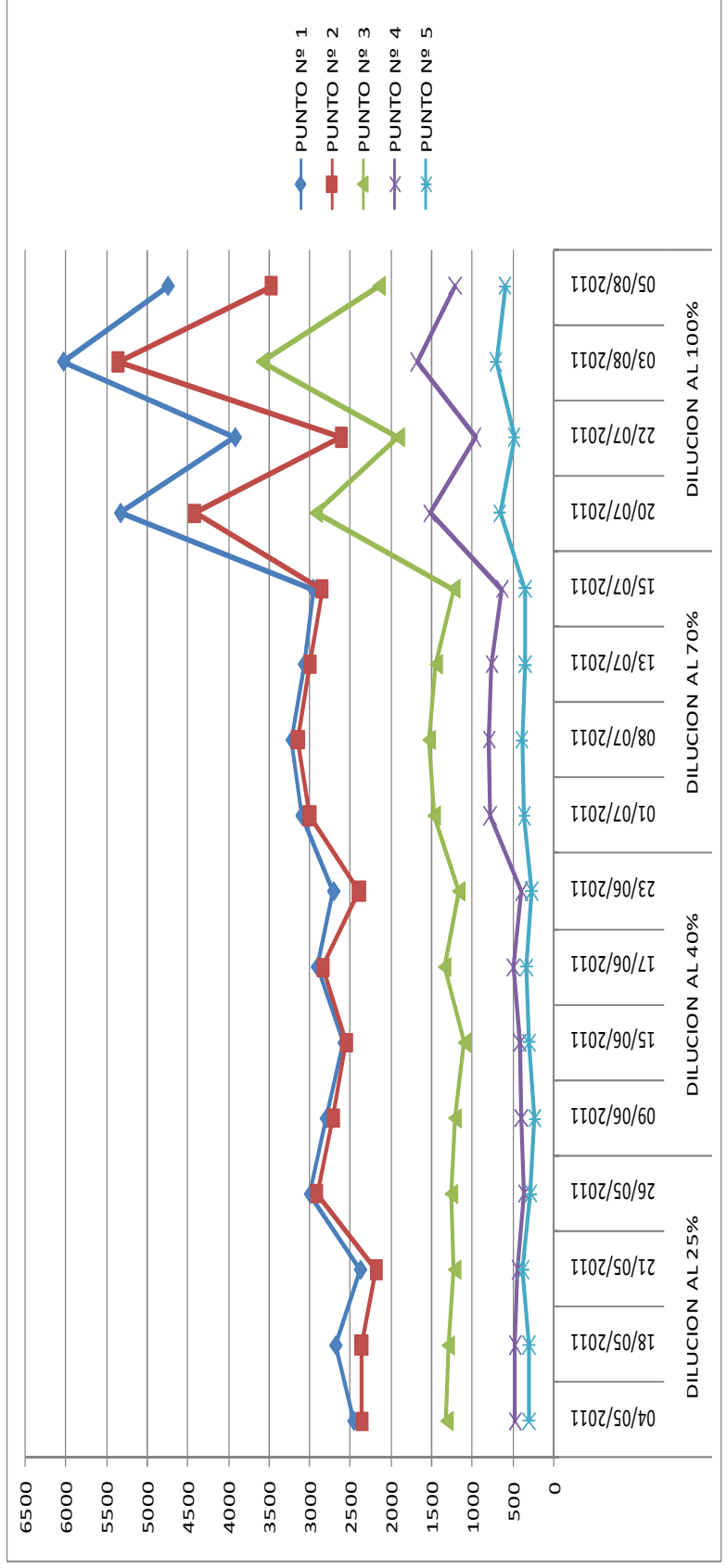
Figura 10
VARIACION DE LA DBO EN EL PUNTO N°1 (TANQUE DE AZUL)



En la figura 11 se puede apreciar la variación de la DBO en cada punto de monitoreo, el sedimentador primario remueve mayor cantidad de carga orgánica cuando ésta es cada vez mayor en el tanque azul. La Demanda Bioquímica de Oxígeno aumenta gradualmente hasta llegar a la concentración del 70% del desagüe industrial de pota; sin embargo, cuando la concentración es del 100% los valores de la DBO en todos los puntos de monitoreo crecen duplicando su valor con respecto a la concentración del 70%.

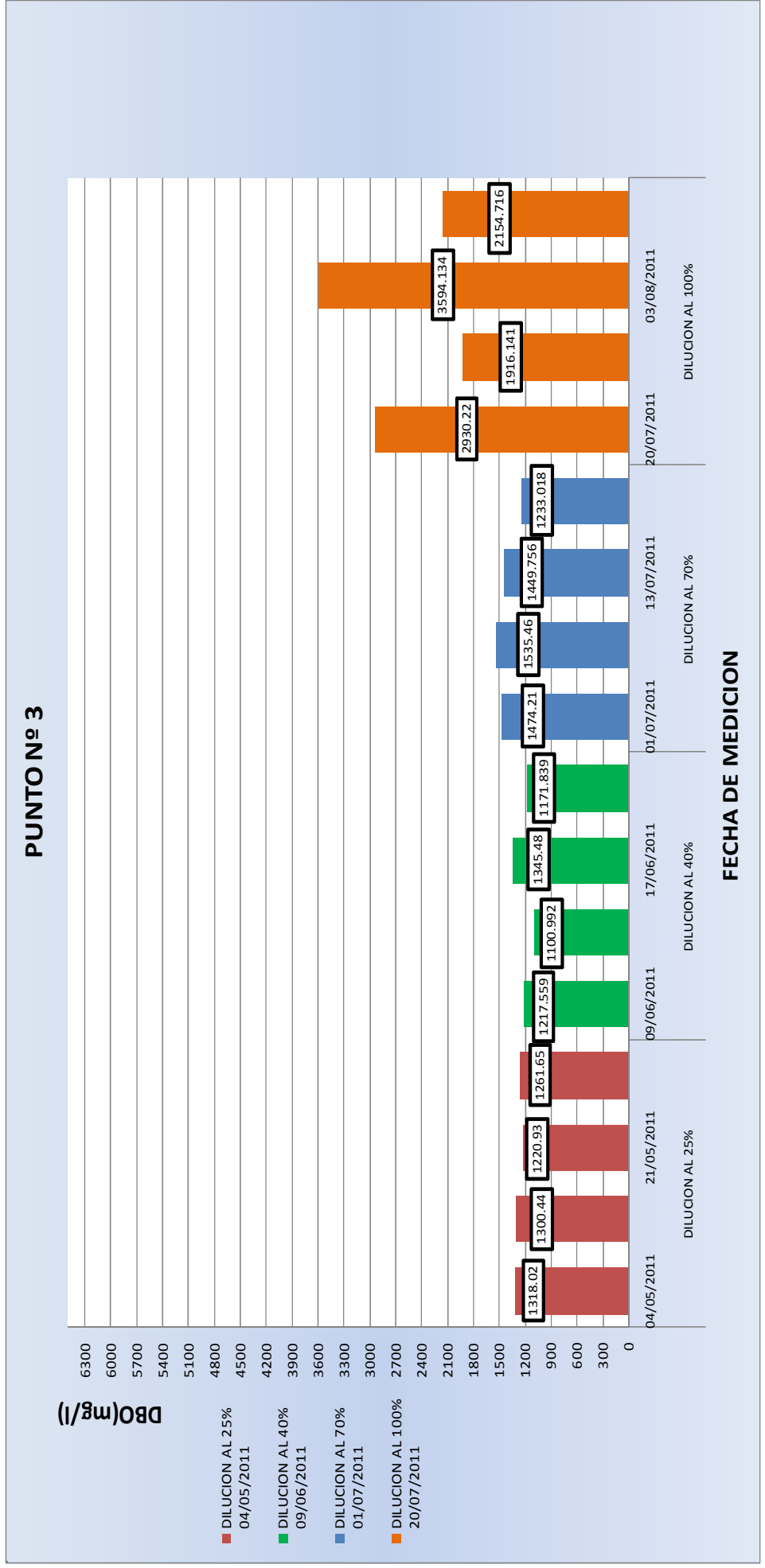
Se puede diseñar una planta de tratamiento para el desagüe industrial de pota al 100% pero puede haber problemas en la operación y mantenimiento porque solo se obtiene valores de la DBO por debajo de 500 mg/l en el punto 5 (salida del filtro) para una concentración del desagüe industrial al 70%. Esto quiere decir que la planta piloto seguirá removiendo la carga orgánica si trabaja al 100% pero no se obtendrá valores de DBO por debajo de 500mg/l que es el límite máximo permisible antes de disponerlo al sistema de alcantarillado.

Figura 11
VARIACION DE LA DBO DURANTE TODO EL TIEMPO DE EVALUACION DEL PILOTO



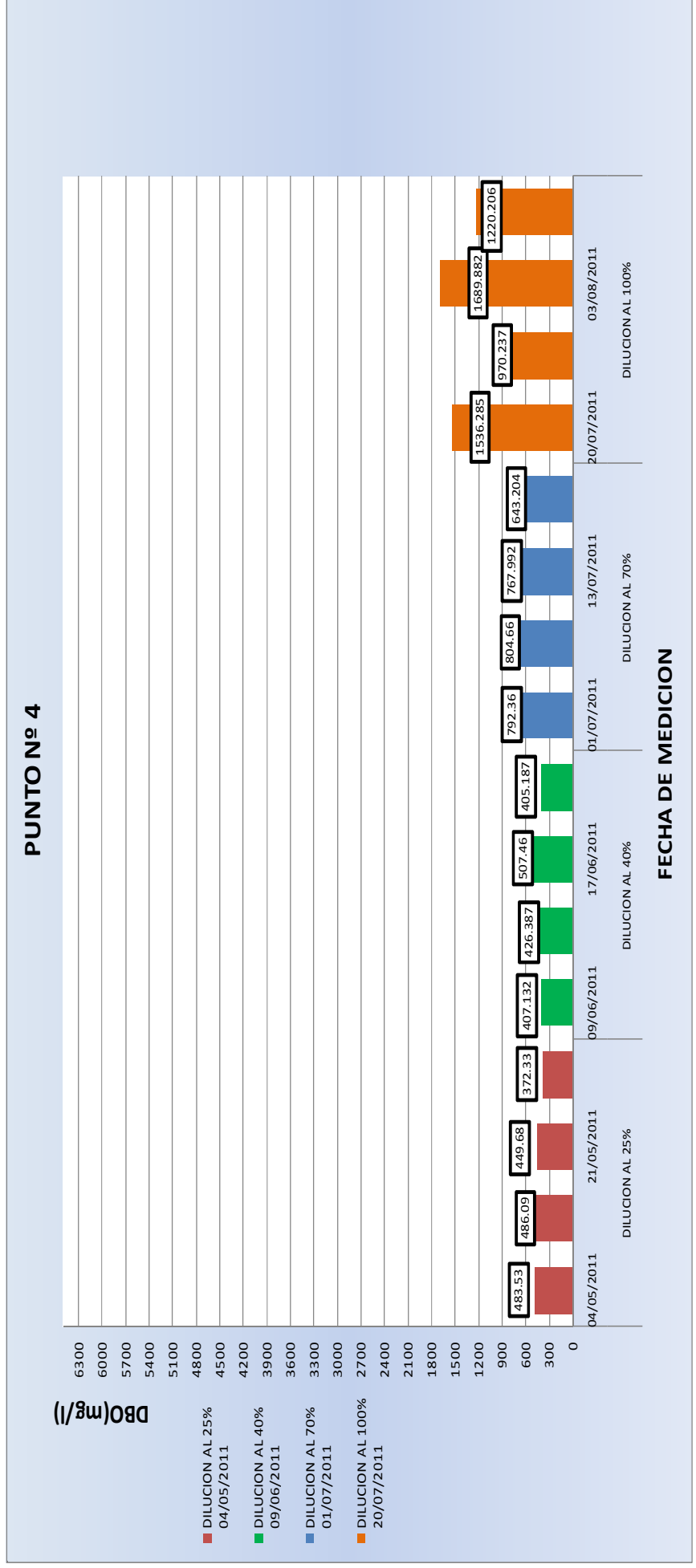
En la figura 12, se muestra el resultado de la DBO sólo en el UASB, durante la segunda etapa de investigación para las 4 concentraciones del desagüe industrial de la pasta de pota. Cuando la concentración fue al 100% es decir, solo se trataba del desagüe industrial de la pasta de pota, la DBO aumentó de forma considerable debido al cambio considerable de la dilución. La Demanda Bioquímica se mantuvo constante hasta la concentración del desagüe industrial al 70%. Para aumentar la eficiencia se podría colocar un UASB en paralelo.

Figura 12
VARIACION DE LA DBO EN EL PUNTO N°3 (SALIDA DEL UASB)



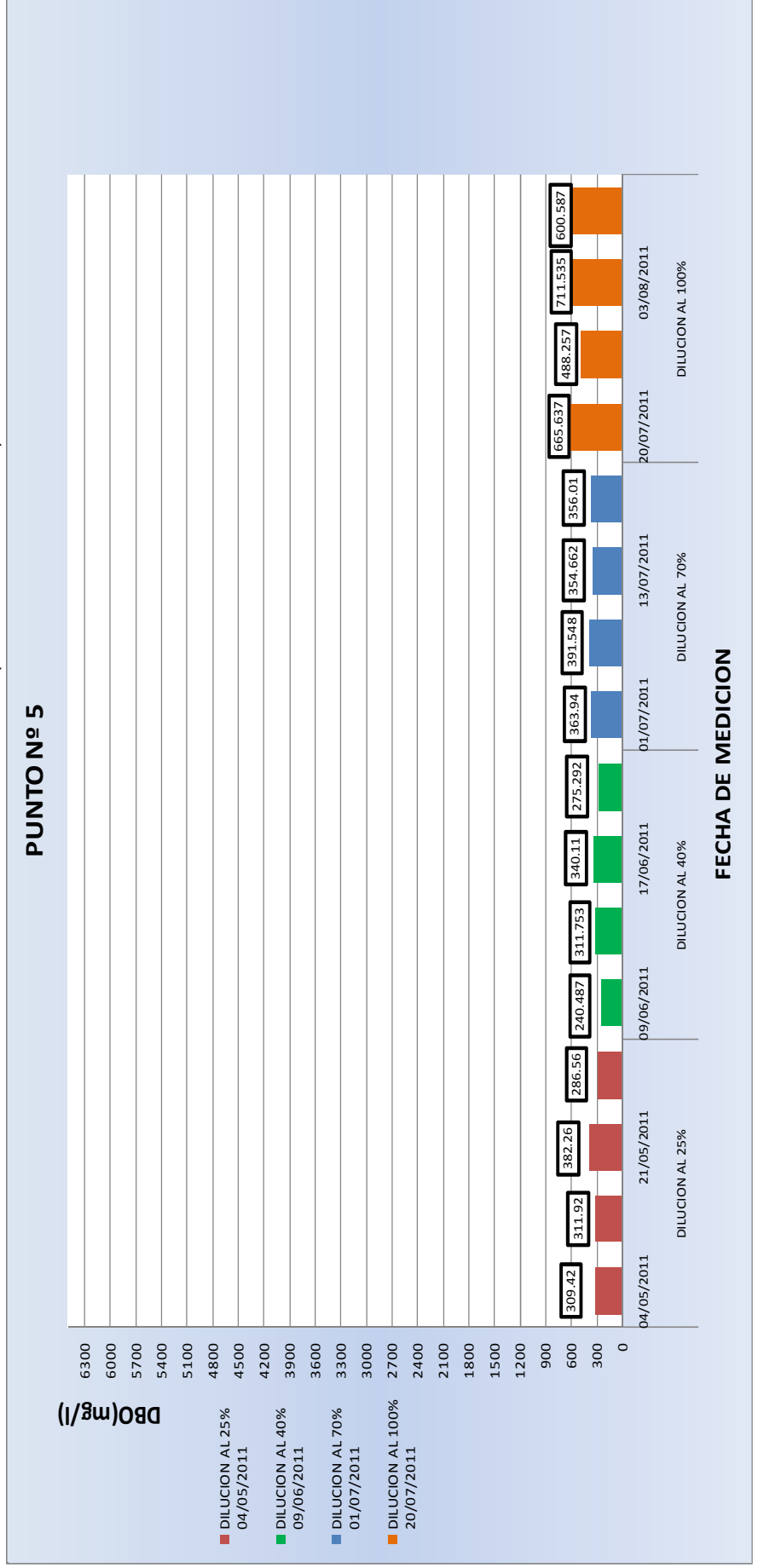
En la figura 13, se aprecia el resultado de la DBO sólo en el tanque de lodos activados durante la segunda etapa de investigación para las 4 diluciones. Cuando la concentración del desagüe industrial de pota fue del 70% la DBO aumentó casi al doble comparada con la concentración al 40% es decir, de 405,187 mg/l a 792,36 mg/l. Trabajando con una concentración o dilución de 25% a 40%, no hubo una variación significativa en la DBO. Sin embargo como en los puntos de monitoreo anteriores, la demanda bioquímica de oxígeno aumenta considerablemente cuando la concentración del desagüe industrial es del 100%. Esto corrobora la necesidad de diluir el desagüe con la finalidad de obtener valores más bajos de la DBO en el tanque de aireación.

Figura 13
VARIACION DE LA DBO EN EL PUNTO N°4 (SALIDA DEL TANQUE AIREADO)



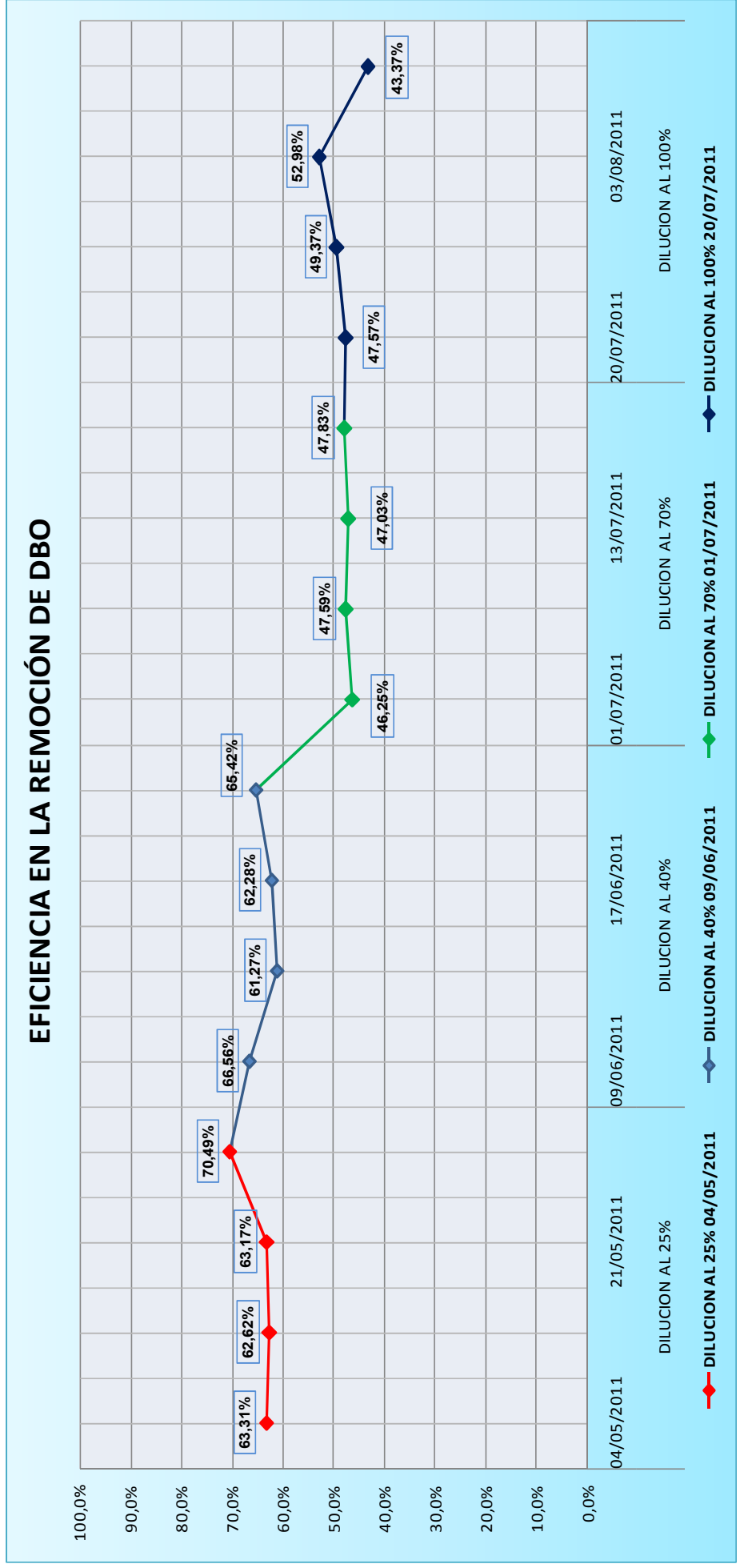
La figura 14 muestra como fue la variación de la DBO en el filtro. Entre las diluciones del 25% y 70% del desagüe industrial de la pasta de pota, se puede apreciar que los valores de la DBO están en un rango de 240 a 390 mg/l, sin embargo, cuando la concentración del desagüe industrial de pota fue del 100% , el valor mínimo de la DBO fue de 488.257 mg/l. La razón por la que la DBO promedio en la salida del filtro al 25% de dilución sea mayor que la DBO promedio al 40% fue que se cambió el tipo de filtro de arena a grava, obteniendo una mejor remoción de la carga orgánica. Es decir al iniciar la planta piloto, la unidad de filtro estaba constituida por arena cuando la concentración del desagüe industrial de pota fue del 25%, luego cuando se cambió el material filtrante a grava y se obtuvo una mayor remoción de la carga orgánica.

Figura 14
 VARIACION DE LA DBO EN EL PUNTO N°5 (SALIDA DEL FILTRO)



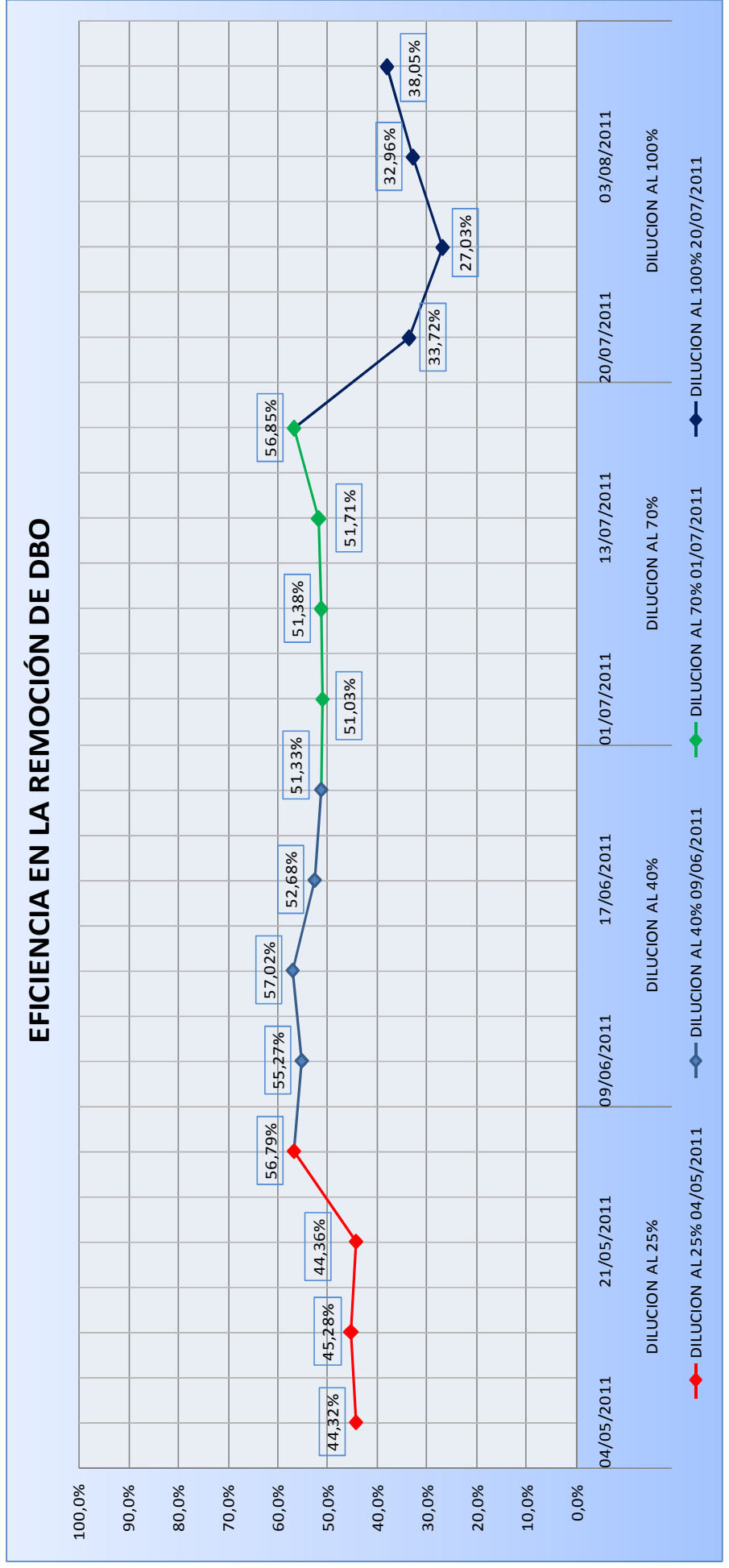
En la siguiente figura se muestra la eficiencia sólo del tanque de lodos activados en la remoción de carga orgánica, la eficiencia fue disminuyendo conforme aumentó la concentración del desagüe industrial de la pasta de pota, la mayor eficiencia del tanque de lodos activados fue para la dilución del 40% del desagüe industrial de pota. Los picos altos de eficiencia en cada dilución del desagüe de la pasta de pota se deben a que en esos puntos la DBO en la entrada del tanque de mezcla fue mayor (ver figura 10).

Figura 15
% EFICIENCIA EN LA REMOCIÓN DE LA CARGA ORGANICA DEL TANQUE DE LODOS ACTIVADOS EXPRESADA COMO DBO



La figura 16 muestra la eficiencia en la remoción de la carga orgánica sólo del UASB. Para la dilución del desagüe industrial de la pasta de pota al 25%, la eficiencia del UASB fue baja comparada con la dilución al 40% debido de la adecuación del lodo del RAFA (UNITRAR) al desagüe de pota diluido. Se observa también que la eficiencia para las diluciones del 25%,40% y 70% se mantuvo entre 44% y 57% con respecto al declive de la gráfica cuando la concentración del desagüe industrial fue del 100%. Además se puede observar que la eficiencia en la remoción de la DBO se mantiene constante cuando las concentraciones del desagüe industrial de pota son del 40% y 70% .

Figura 16
% EFICIENCIA EN LA REMOCION DE LA CARGA ORGANICA DEL UASB EXPRESADA COMO DBO

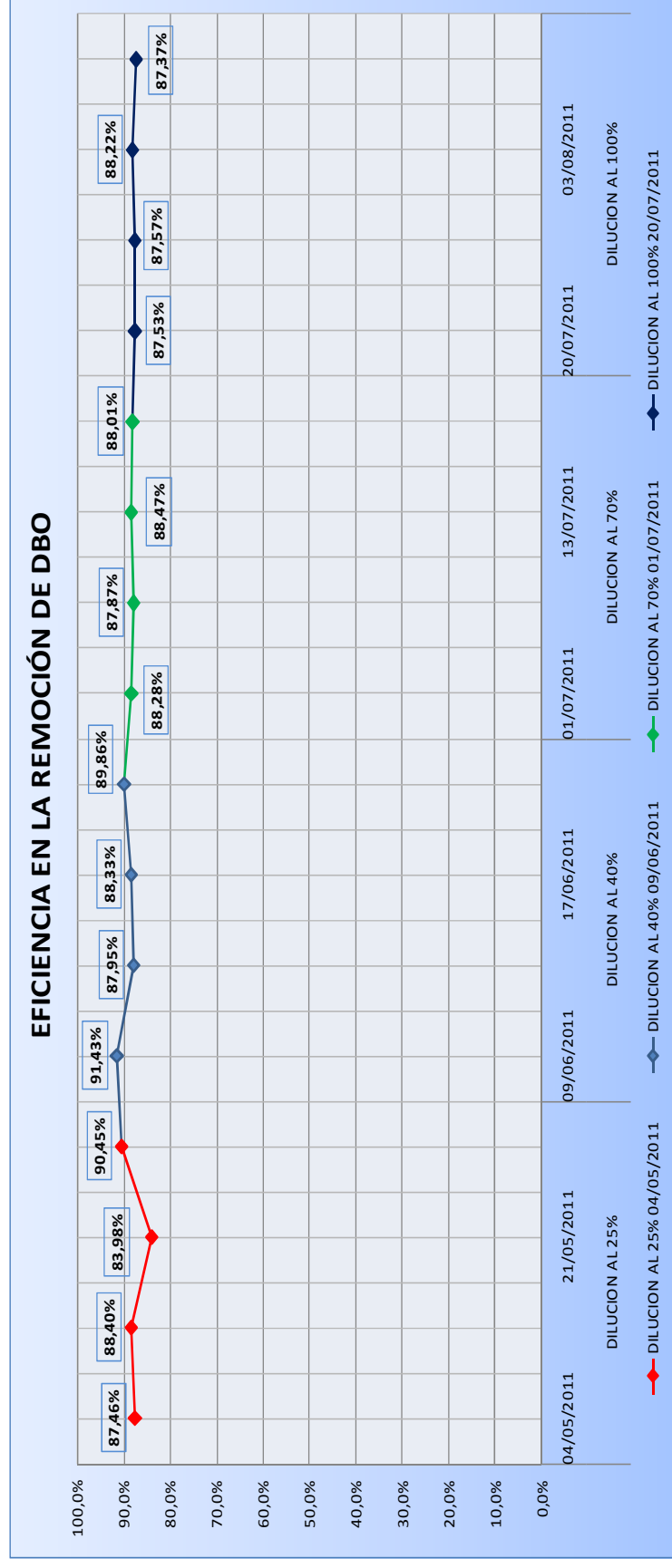


En la siguiente figura se puede apreciar la eficiencia de la planta piloto en la remoción de la carga orgánica (DBO), dicha eficiencia es casi constante en la segunda etapa de investigación para todas las diluciones; sin embargo, como hemos visto en las figuras 15 y 16 la eficiencia en la remoción de la DBO disminuye en las unidades de UASB y en el tanque de aireación conforme aumenta la concentración del desagüe industrial, la razón por la cual la eficiencia en la planta piloto es constante se debe a que la unidad de sedimentador primario podría haber estado trabajando como una laguna facultativa debido a que hubo un tiempo en que no había producción de la pasta de pota. Además, la planta piloto sigue removiendo la carga orgánica a pesar que la concentración del desagüe industrial es del 100% pero los valores de DBO que se obtienen a la salida del filtro no cumplen con los límites máximos permisibles para disponerlos al sistema de alcantarillado.

Para el diseño de una planta de tratamiento de desagüe industrial de pasta de pota se podría considerar sin hacer ninguna dilución es decir que trabaje para el 100% de concentración. Sin embargo, en la operación y mantenimiento se tendrían problemas porque la DBO a la salida del filtro (ver figura 14) sería mayor al límite máximo permisible de 500 mg/l para disponerlo al sistema de alcantarillado.

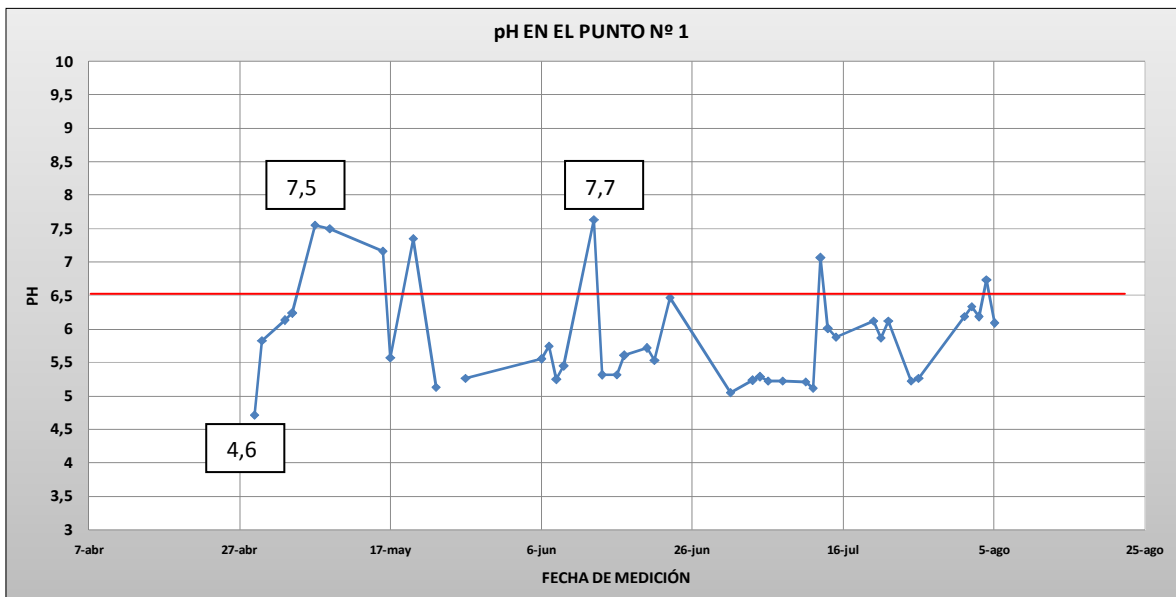
Figura 17

% EFICIENCIA DE LA PLANTA PILOTO EN LA REMOCION DE LA CARGA ORGANICA DE LA PLANTA PILOTO EXPRESADA COMO DBO



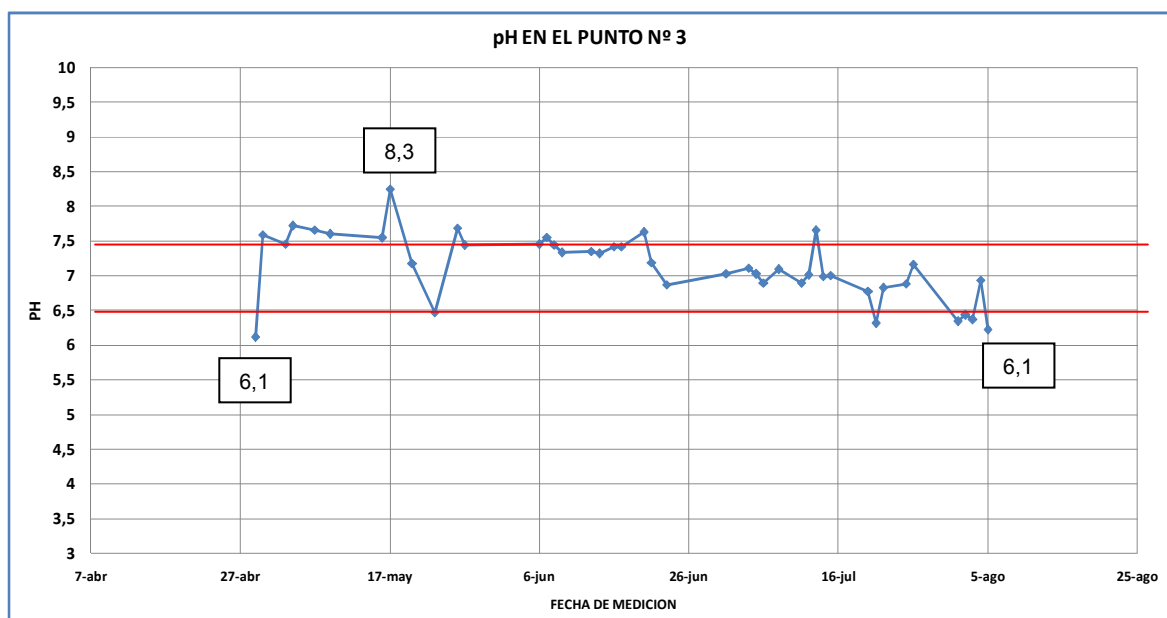
En la segunda etapa de investigación se midió el pH para el tanque de mezcla y se muestra en la figura 18, se puede observar que el rango de pH en todo el proceso estuvo entre 4,6 y 7,7; sin embargo para una mejor eficiencia es recomendable tratar que el pH sea constante. Demasiados puntos de pH por debajo del rango optimo de funcionamiento que es 6.5.

Figura 18
VARIACION DEL PH EN EL TANQUE AZUL



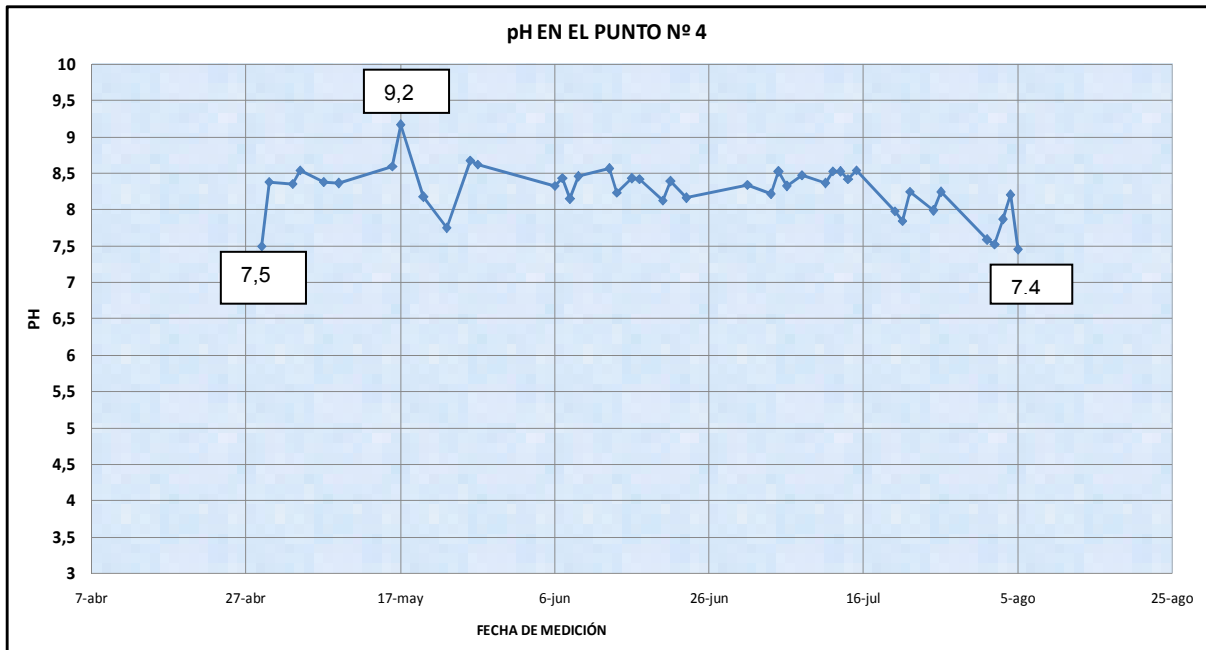
En el UASB ,el pH varió entre 6.1 y 8.3 .El pH disminuye conforme pasa el tiempo debido a que se aumentó el % de concentración del desagüe industrial , se debe tratar de controlar que el pH no baje demasiado porque los microorganismos morirían y como consecuencia la eficiencia disminuiría. El valor del pH debe estar entre 6.5 y 7.5.

Figura 19
VARIACION DEL PH EN EL UASB



En la siguiente figura se muestra la variación del pH sólo en el tanque de lodos activados, el rango de pH estuvo entre 7,4 y 9,2 durante la segunda etapa de investigación. Es recomendable trabajar para un rango de pH entre 6 y 8. El pH fue disminuyendo debido al aumento de la concentración del desagüe industrial de la pasta de pota.

Figura 20
VARIACION DEL PH EN EL TANQUE DE LODOS ACTIVADOS



En la tabla 3 se muestra los resultados de la Demanda Química de Oxígeno para todos los puntos de monitoreo, se hicieron dos mediciones por cada dilución. No se realizaron las pruebas al 25% de dilución del desagüe de pota debido a que inicialmente no se pensaba hacer las mediciones de DQO. Como podemos observar los valores de la DQO son elevados en el tanque azul.

Tabla 3
RESULTADOS DE LA CARGA ORGANICA EXPRESADA COMO DQO EN CADA PUNTO DE MONITOREO(mg/l)

	DILUCION AL 40%		DILUCION AL 70%		DILUCION AL 100%	
	17/06/2011	22/06/2011	11/07/2011	15/07/2011	22/07/2011	26/07/2011
PUNTO N° 1 (SALIDA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO)	5500	5100	11300	9000	19300	15000
PUNTO N° 2 (SALIDA DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO)	4900	4800	9800	8900	18500	13100
PUNTO N° 3 (SALIDA DEL UASB)	3500	3100	6600	8200	14900	10200
PUNTO N° 4 (LODOS ACTIVADOS)	1500	1450	3100	4100	7700	5100
PUNTO N° 5 (SALIDA DEL FILTRO)	280	250	1000	700	5000	3500

Figura 21. La eficiencia en la remoción de la carga orgánica como DQO en el UASB, tanque de lodos activados y el filtro. La eficiencia en el UASB fue máxima cuando la concentración de pota fue del 40%. En el caso de los lodos activados la eficiencia en la remoción de la DQO se mantuvo constante. En general, la eficiencia en la planta piloto disminuyó con el aumento de la concentración del desagüe industrial de pota. La planta piloto mantiene su eficiencia hasta llegar al 70% de concentración del desagüe industrial de pota; sin embargo cuando la concentración es del 100% la eficiencia disminuye.

Figura 21
% EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CARGA ORGANICA EXPRESADA COMO DQ

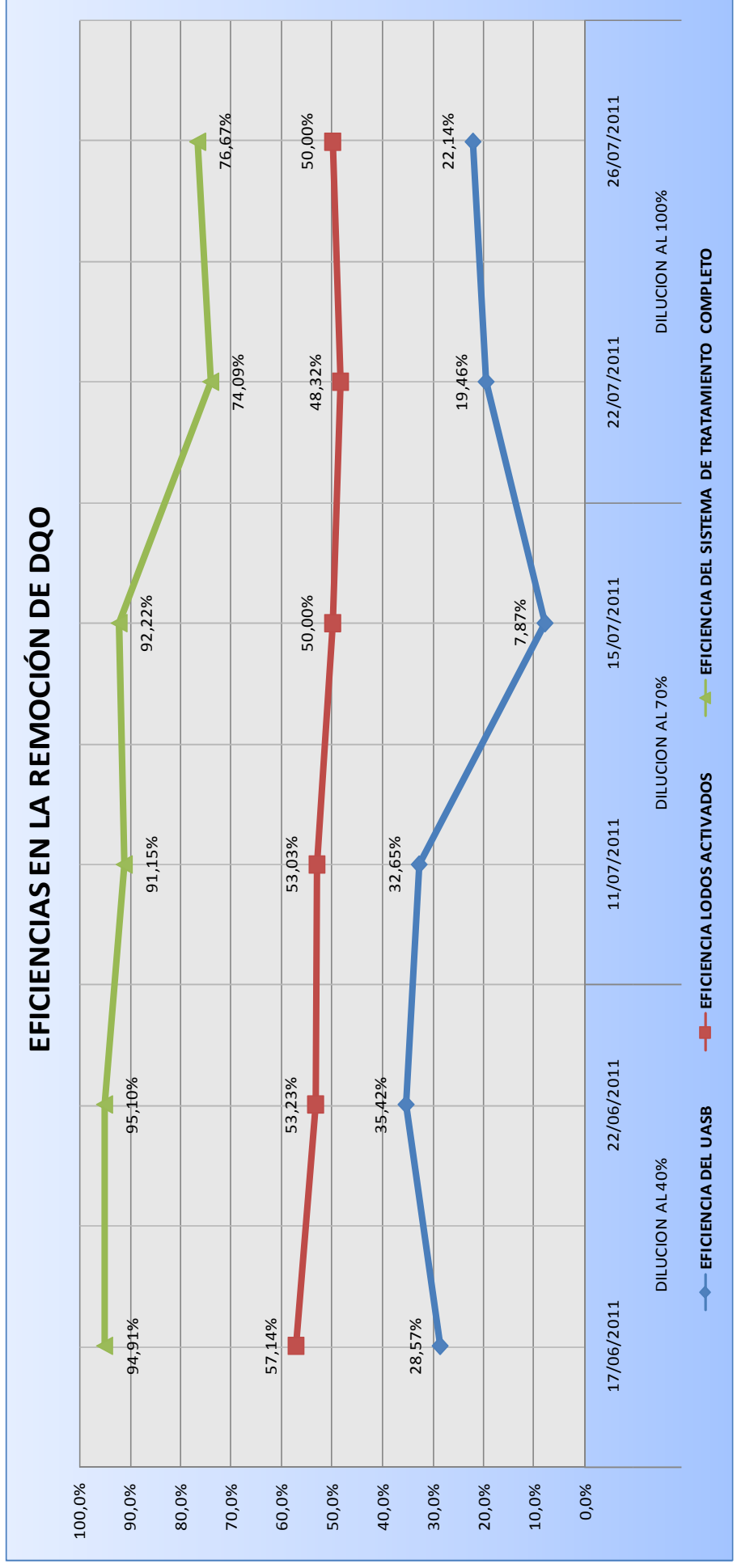
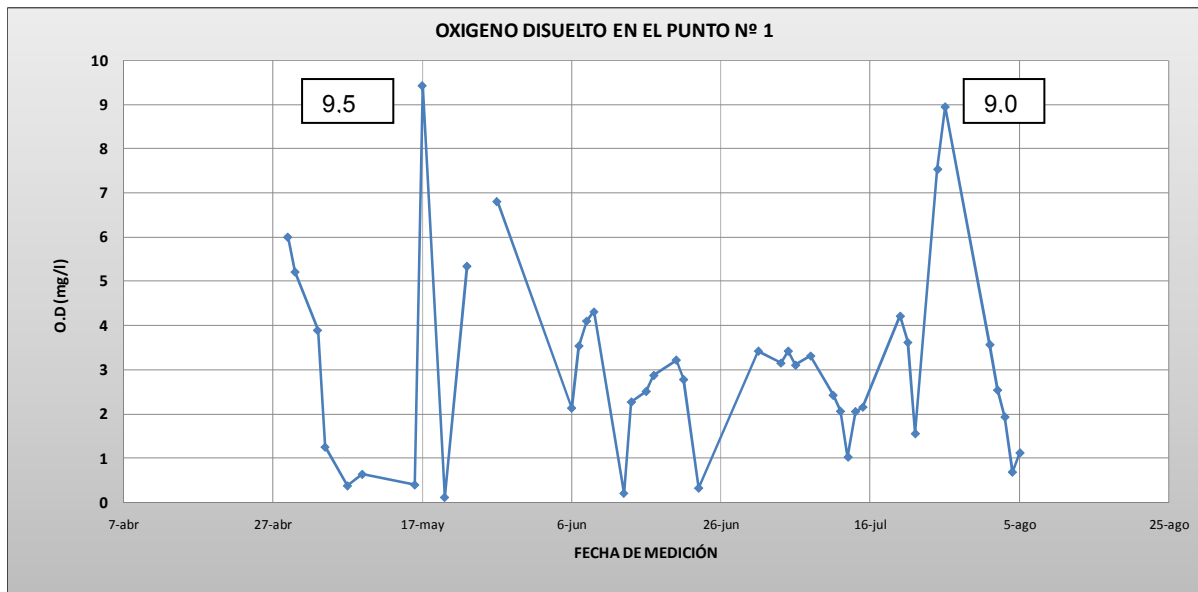


Figura 22. La variación del oxígeno disuelto en el tanque de mezcla. El valor más alto fue de 9,5 mg/l cuando la dilución fue del 25%. El desagüe industrial de la pasta de pota diluida tuvo valores altos O.D debido a que en la producción de la pasta de pota existe una cámara de frigorífico para la materia prima que es la pota, esta cámara de frigorífico tiene un sistema de aireación como parte de su proceso lo cual aumento el valor de O.D.

Figura 22
OXIGENO DISUELTO EN EL TANQUE DE MEZCLA



La figura 23 muestra la variación del oxígeno disuelto sólo en el tanque de lodos activados. Se obtuvo un valor máximo de 0.48 mg/l en todo el proceso. Éste es un valor bajo y se debe a la poca altura del tanque de aireación que impide la transferencia de oxígeno del sistema de aireación. Se debe mejorar la aireación para obtener mejores resultados de eficiencia en la remoción de la carga orgánica

Figura 23
VARIACION DEL OXIGENO DISUELTO EN EL TANQUE DE LODOS ACTIVADOS

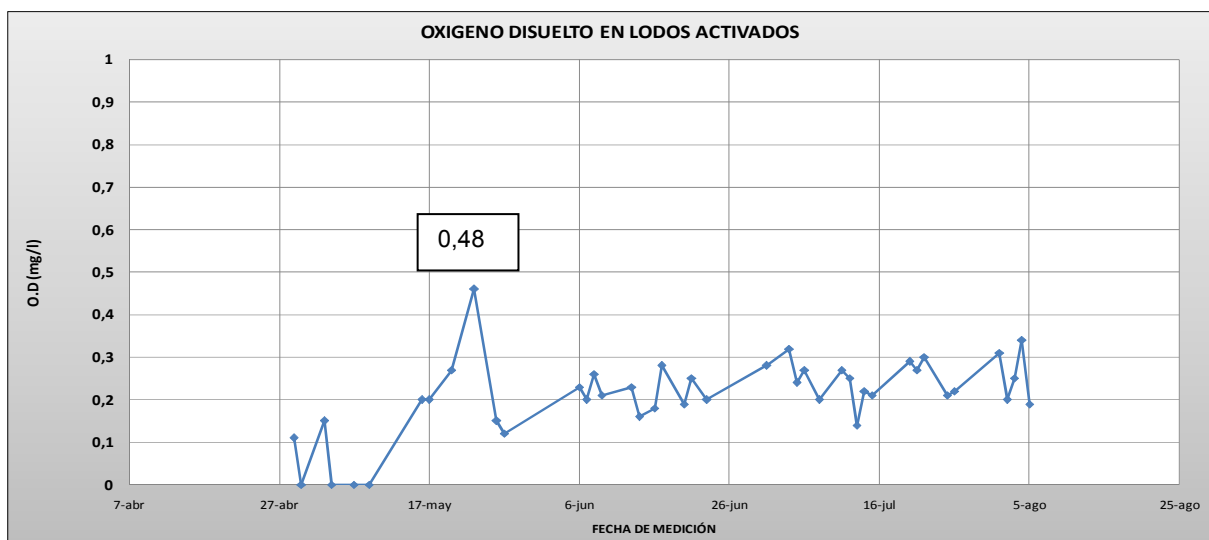
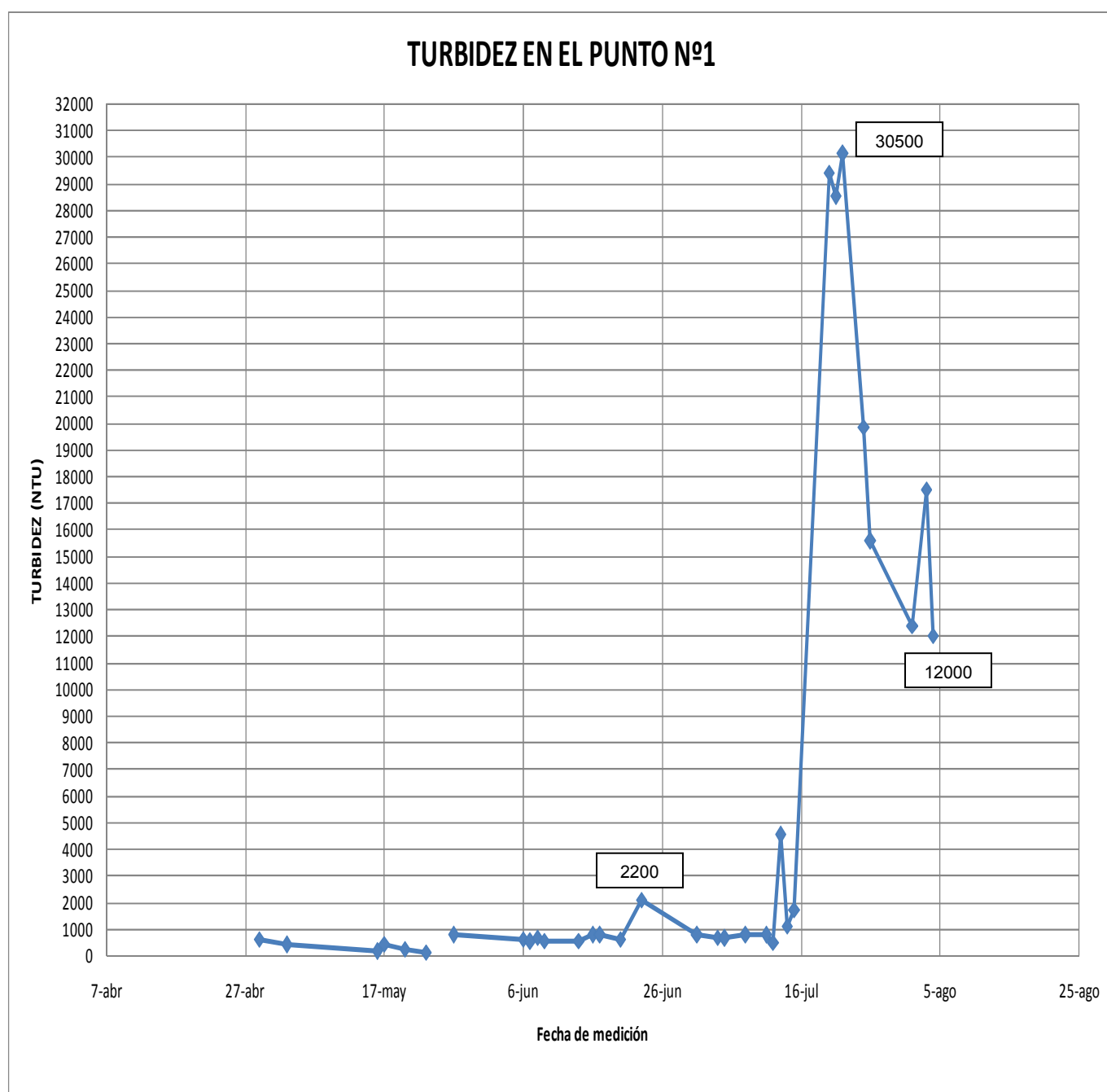


Figura 24. Variación de la turbidez (NTU) en el tanque de mezcla. Se obtuvieron valores altos de turbidez que aumentó cuando la concentración del desagüe industrial de la pasta de pota fue mayor. Para disminuir estos valores elevados de turbidez es necesario un sistema de pre-tratamiento. A pesar que se instaló la unidad de filtro, la turbiedad fue mayor a 100 NTU durante toda la segunda etapa de investigación, esto se debe a que el desagüe industrial de pota tiene muchos sólidos suspendidos.

Figura 24
TURBIDEZ EN EL TANQUE DE MEZCLA EN TODO EL PROCESO



En la figura 25 se observa la variación de la turbidez a la salida del filtro para todas las diluciones. El valor de la turbidez aumentó llegando a sobrepasar 1000 NTU. El valor más bajo que se obtuvo fue de 100 NTU. La turbidez aumenta mientras la concentración del desagüe de la industria de pota sea mayor. Sería recomendable un sistema de filtración antes de la entrada al sedimentador primario para obtener un valor de turbiedad que se encuentre dentro del límite máximo permisible para disponerlo al sistema de alcantarillado.

Además, los valores elevados de turbidez se deben a la presencia de algas en el clarificador secundario y en la unidad de filtros.

Figura 25
TURBIDEZ A LA SALIDA DEL FILTRO

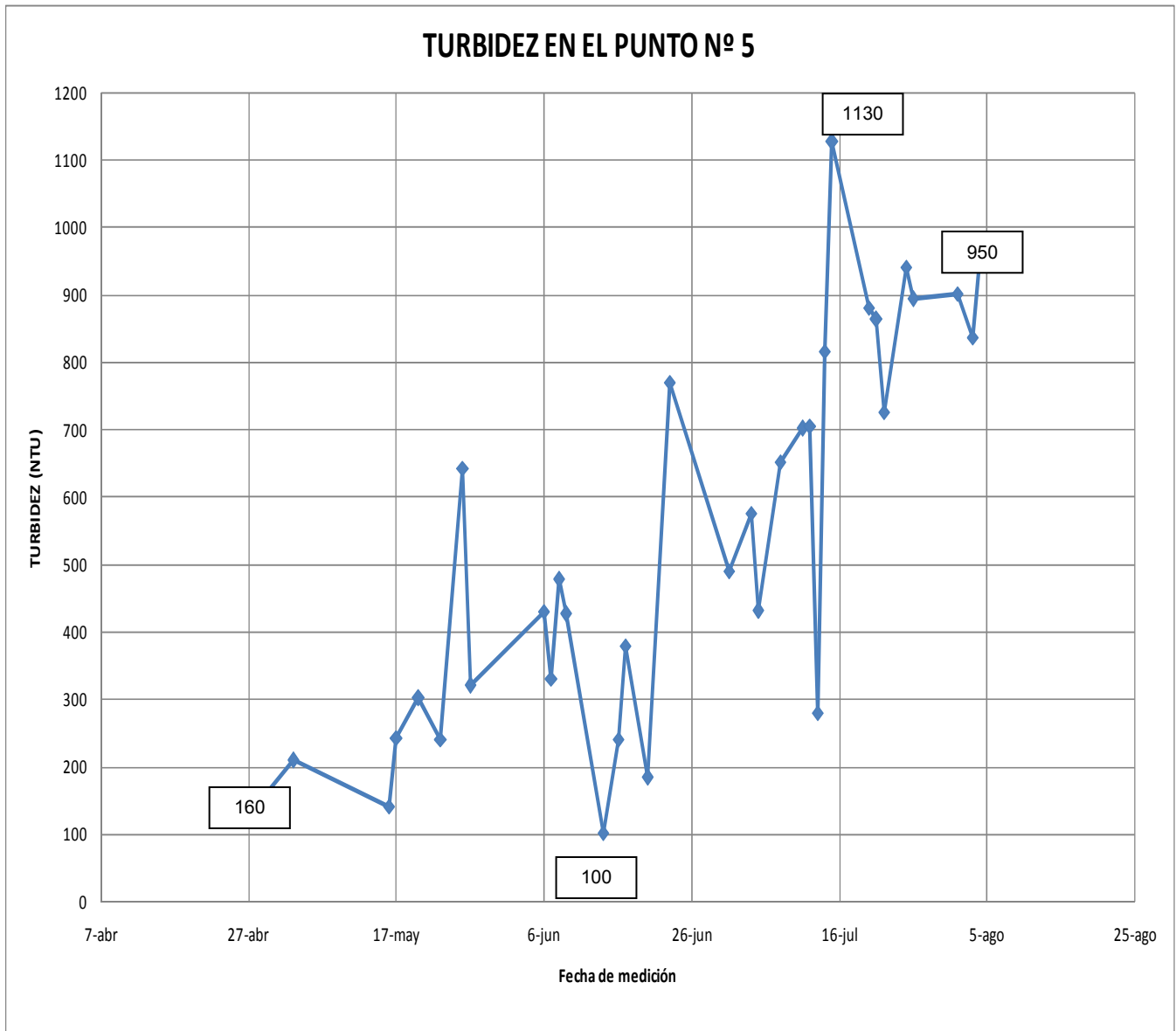


Tabla 4. Resultados de la medición de aceites y grasas en el tanque de mezcla o almacenamiento y a la salida del filtro. Para una dilución del 100% los valores de aceites y grasas aumentaron de manera considerable sobrepasando los 5500 mg/l esto se debe a que los componentes de la pota son ácidos grasos. Aun así el sistema removió una buena cantidad de aceites y grasas incluso cuando la concentración fue del 100%.

Tabla 4
RESULTADOS DE ACEITES Y GRASAS(mg/l)

	DILUCIÓN AL 25%			DILUCIÓN AL 40%		DILUCIÓN AL 70%		DILUCIÓN AL 100%	
	4-may	17-may	27-may	9-jun	13-jun	12-jul	15-jul	26-jul	4-ago
FECHA DE MEDICIÓN									
GRASAS EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO(mg/l)	43,4	16,2	174,4	59	13,9	423	388	6858,5	5673,7
GRASAS A LA SALIDA DEL FILTRO (mg/l)	9	4,7	23,6	29,8	4,5	56,3	48,4	23,2	35,1

En la tabla 5 se muestra los resultados de la medición de los sólidos sedimentables en ml/l/h en el tanque de almacenamiento y a la salida del filtro. La cantidad de sólidos sedimentables fue aumentando gradualmente en el tanque de mezcla, el máximo valor fue de 18 ml/l/h cuando la concentración o dilución fue del 100% como desagüe industrial de la pasta de pota.

Tabla 5
RESULTADOS DE LOS SOLIDOS SEDIMENTABLES(ml/l/h)

	DILUCIÓN AL 25%			DILUCIÓN AL 40%		DILUCIÓN AL 70%		DILUCIÓN AL 100%	
	4-may	7-may	23-may	9-jun	14-jun	12-jul	15-jul	26-jul	4-ago
SOLIDOS SEDIMENTABLES (ml/l/h)									
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	1,5	3,5	10,6	3	9	12	10	15	18
SALIDA DEL FILTRO	0,005	0,1	1,7	0,1	0,5	0,3	0,5	2,5	2

En cuanto a los sólidos suspendidos volátiles en el UASB y en el tanque de los activados, en la figura 26 se observa que los sólidos suspendidos volátiles en el tanque de lodos activados se mantuvieron en un rango de 500 a 2500 mg/l, en el UASB el valor más alto de SSV fue de 4300 mg/l para una concentración del desagüe industrial de la pasta de pota al 40%. En cuanto a los sólidos totales en el UASB y en el tanque de lodos activados, en la figura 27 se observa que los sólidos totales en los lodos activados van aumentando con la concentración del desagüe industrial de la pasta de pota.

Figura 26
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES(mg/l) EN EL UASB Y EN EL TANQUE DE LODOS ACTIVADOS

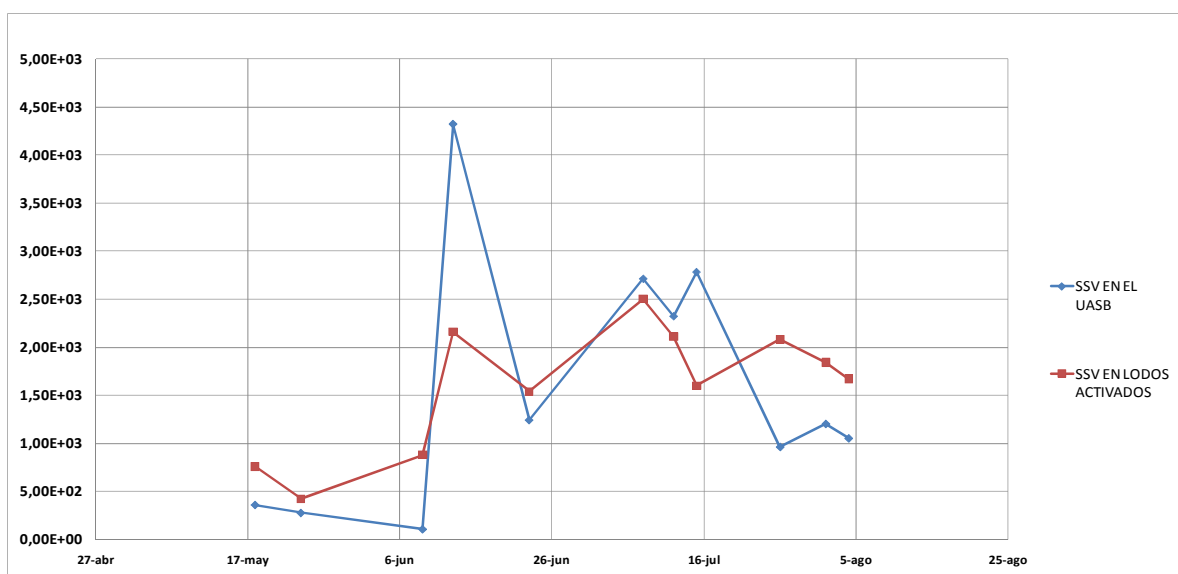
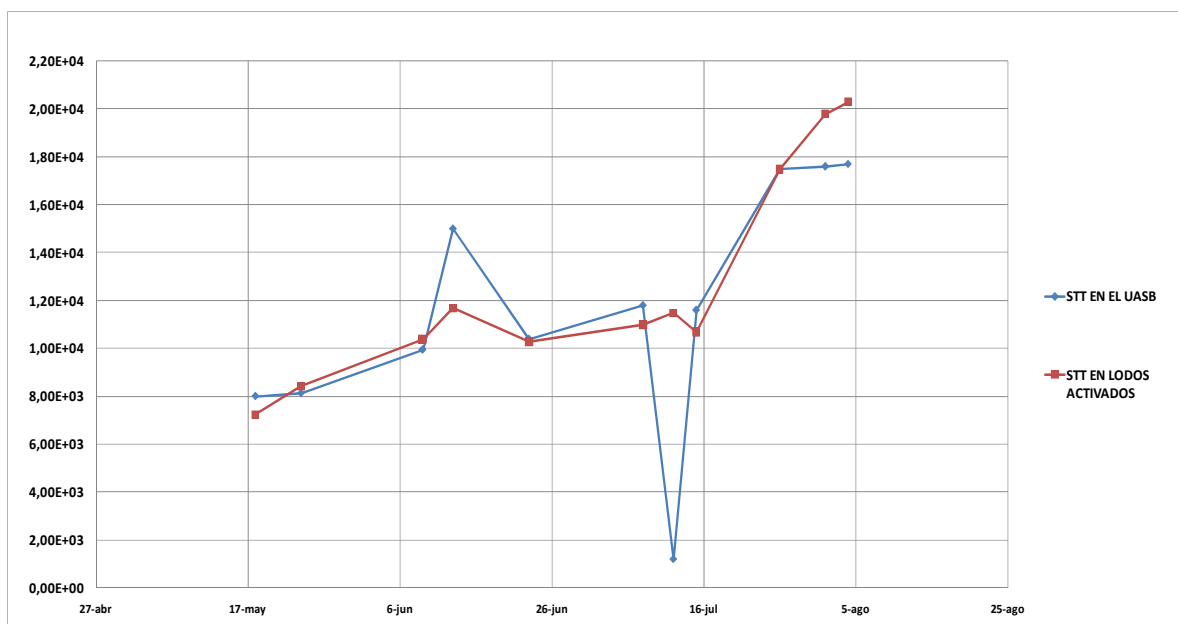
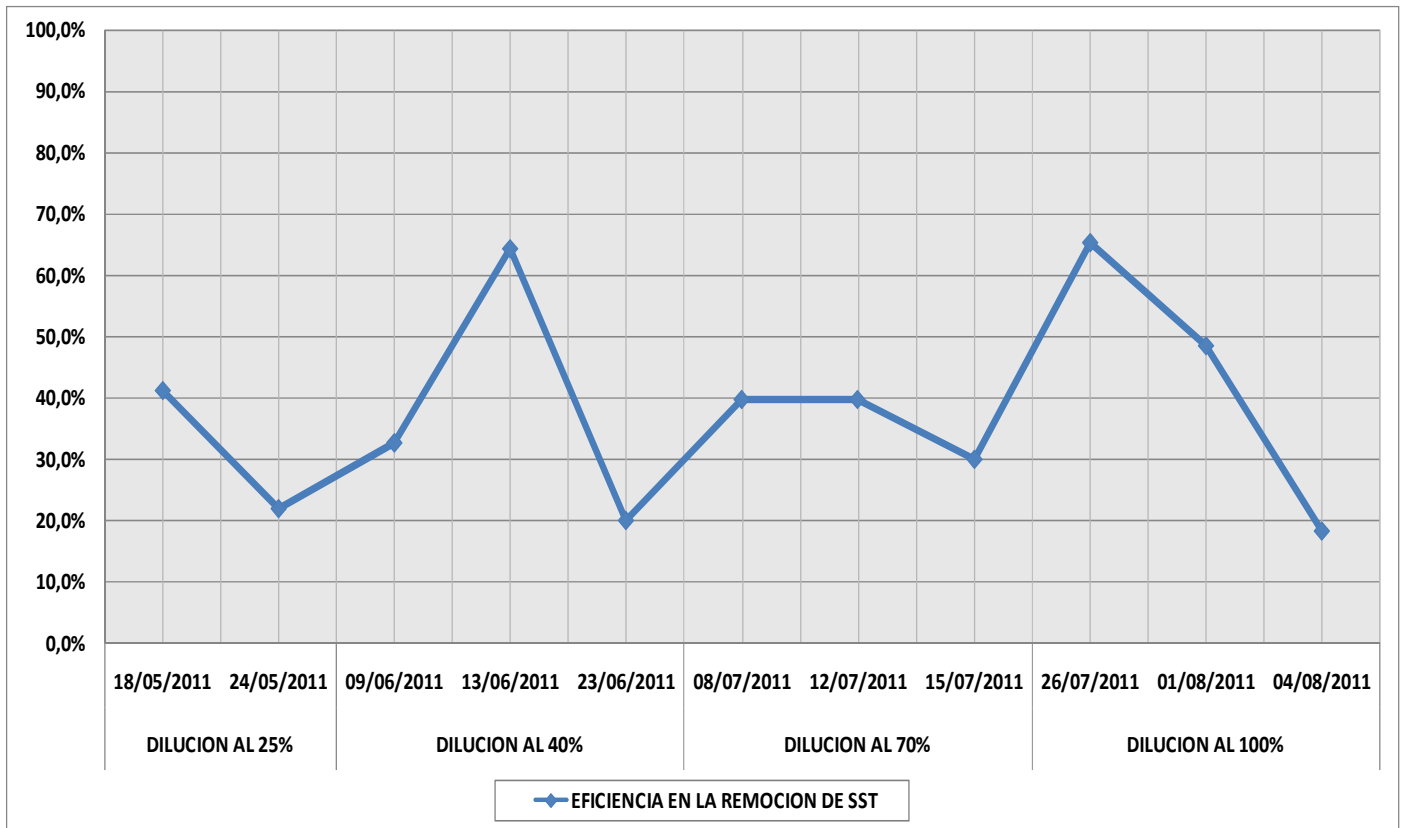


Figura 27
SOLIDOS TOTALES(mg/l) EN EL UASB Y EN EL TANQUE DE LODOS ACTIVADOS



En la figura 28 se observa la eficiencia de la planta piloto en la remoción de sólidos totales con respecto a la dilución del desagüe industrial de la pasta de pota. Para cada dilución del desagüe industrial de pota, la eficiencia disminuye (al 40% de dilución, la eficiencia baja de 32% a 20%; al 100% de dilución, la eficiencia baja de 67% a 18%).

Figura 28
% EFICIENCIA EN LA REMOCION DE SOLIDOS TOTALES DE LA PLANTA PILOTO
COMPLETA



10. CRONOGRAMA DE TRABAJO

11. PRESUPUESTO Y FINANCIAMIENTO

12. OBSERVACIONES

12.1. Observaciones de la parte I:

- Presencia de abundante formación de algas a la entrada del reactor biológico, en el tanque biológico, en la caja de recolección a la salida del tanque biológico, en el clarificador y en la canaleta de recolección a la salida del clarificador.
- Se presentaron problemas de acumulación de residuos entre la salida del sedimentador primario y la entrada al tanque aireado y por consecuencia, la obstrucción del flujo continuo del efluente. Se observaron obstrucciones en la válvula de control a la entrada, acumulación de algas y parásitos en la caja de recolección a la salida del reactor biológico, formación de algas en la tubería que conecta el reactor biológico y el clarificador secundario, formación de algas en el clarificador y formación de algas y parásitos en la canaleta de recolección del afluente clarificado.
- Hubo adherencias de algas en la superficie de la red de tuberías de aireación en el fondo del tanque biológico, obstruyendo así la eficiencia de la dosificación y distribución homogénea de aire en la masa de agua en el tanque biológico.
- Las medidas que se tomaron para contrarrestar la formación de algas:
 1. Se cubrieron las paredes del tanque de aireación y las del clarificador secundario.
 2. Se procedió a la purga de la válvula de control a la entrada de tanque de aireación; se abrió dicha válvula por un tiempo de 05 segundos para eliminar el residuo acumulado. Esta operación se realizó en un intervalo de 2 días.
 3. Se realizó la desinstalación de la red de tuberías de aireación ubicadas en el fondo del tanque, para posteriormente realizar el proceso de lavado con agua limpia.
 4. Se realizó la limpieza del fondo y las paredes de la caja de recolección adjunto al tanque de aireación. Esta operación se realizó en un intervalo de 5 días.

5. Se realizó la limpieza de la canaleta de recolección del clarificador secundario. Esta operación se realizó en un intervalo de 5 días.

12.2. Observaciones de la parte II:

Aspectos negativos y positivos durante el funcionamiento del piloto

Se quiso mejorar la aireación en el tanque aireado, ya que en un inicio se había previsto un sistema de 6 tuberías de aire de burbuja fina donde cada una trabajaba con 2.5W de potencia, esto se hizo ya que no habíamos contado que el desagüe de pota presentaba con una alta DBO y DQO. Entonces para mejorar el proceso de aireación, se adicionó un compresor de aire de 04 salidas de 20W, una bomba de 5W y dos mangueras más de burbuja fina, para que así se logre que cada difusor o manguera trabaje con una bomba de aire que equivale a 5W de potencia y aumentar así el flujo de aire en cada tubería.

Inicio
(Etapa 1)
6 aireadores

Final
(Etapa 2)
8 aireadores



Nuevo
Compresor
20W y
aireador 5W

Aireadores
antiguos de
5W c/u

Presencia de algas al inicio del arranque del piloto en las unidades de tanque de aireación, sedimentador secundario y filtros. Conforme se va aumentando el porcentaje de dilución, el color del desagüe varía a un tono marrón oscuro y mayor cantidad de sedimentos en las paredes y fondo de las unidades.



TANQUE DE AIREACION
CON PRESENCIA DE
ALGAS



CAJA DE SALIDA
DEL TANQUE DE
AIREACION CON
PRESENCIA DE
ALGAS



SEDIMENTADOR SECUNDARIO
CON PRESENCIA DE ALGAS



CANAleta DE
RECOLECCION DEL
SEDIMENTADOR
SECUNDARIO

FILTRO CON
PRESENCIA DE ALGAS



Lavado continuo del filtro, debido a que la presencia de algas aumenta la turbiedad a la muestra.

MUESTRA TOMADA A
LA SALIDA DEL
FILTRO



LAVADO DE LA CAJA
DEL FILTRO



A veces, El no poder controlar un caudal constante de entrada en el piloto (atoros) provoca demasiada turbiedad a la salida del UASB, debido a que la velocidad aumenta y hay arrastre de lodos, esto se ve reflejado en la toma de muestra. Se recomienda buscar la manera de controlar el caudal de tal manera que no varíe mucho comparado con el caudal de diseño de la unidad.

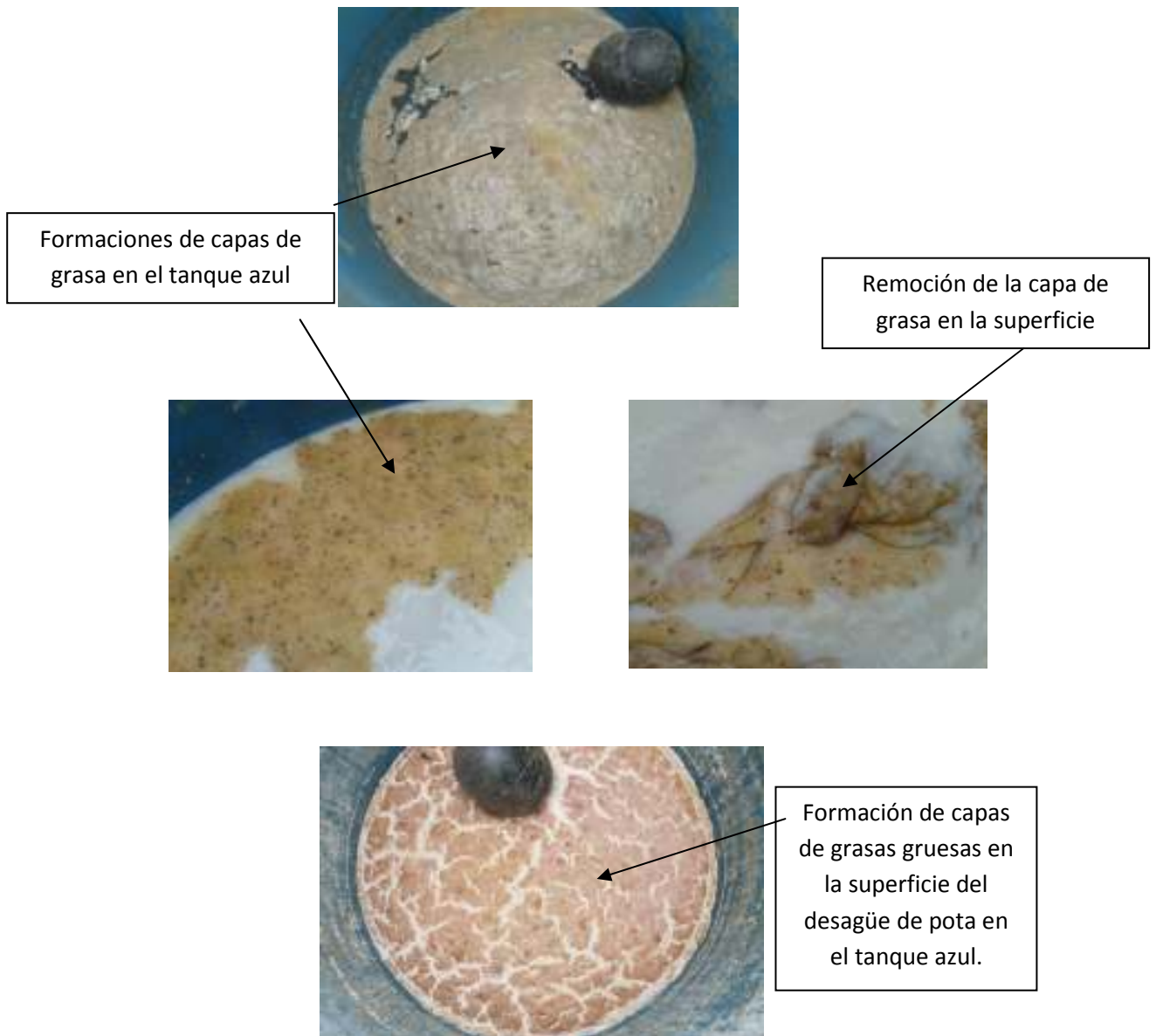


MUESTRA TOMADA A LA SALIDA DEL UASB

Durante las pruebas de determinación de sólidos sedimentables en el laboratorio, se observó que hay muy buena remoción comparada con la muestra de la entrada. Concluimos que el sedimentador secundario está trabajando adecuadamente, comparado con la unidad de filtrado.



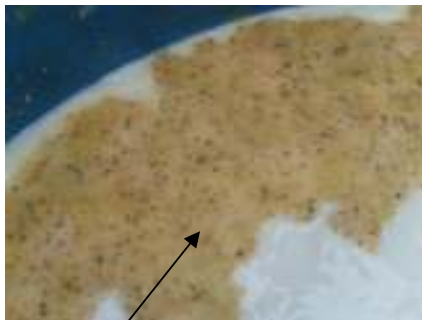
Formaciones de capas gruesas en la superficie del desagüe de pota en el tanque azul, dicha formación producía obstrucciones en la manguera de salida del tanque azul y en la entrada del UASB. Las formaciones de las capas de grasa se incrementaban proporcionalmente con el aumento del porcentaje de dilución del desagüe de pota.



Formaciones de capas de material carnoso y grasoso en la superficie del sedimentador primario. Dichos sedimentos hacían aumentar la turbiedad cuando se tomaba la muestra en ese punto.



En el efluente del piloto se puede observar que, comparado con el afluente, pierde el color blanco de los sedimentos del desagüe de pota, y además no se observa formaciones grasosas en la superficie comparada con las apariciones de sustancias grasosas en la superficie del tanque azul y sedimentador primario.



Espejo de agua en el Tanque azul (entrada)



Espejo de agua en el sedimentador primario



Espejo de agua a la salida del filtro (salida del piloto)

Al transcurrir el tiempo de almacenamiento en el sedimentador primario y en el filtro, ocurrieron formaciones de bacterias de color rojizas en las paredes de dichas unidades, dándole un color rojizo al desagüe y aumentando la turbiedad a la salida del piloto.



Color rojizo en el sedimentador secundario, desagüe de pota al 40%



Paredes rojizas del filtro, formación de bacterias adheridas.

Formación de espuma en la superficie del tanque del lodo activado durante la aireación, también formación de sedimentos en fondo del tanque biológico, a la salida del tanque biológico y en el fondo del sedimentador secundario.



Formación de espuma en el tanque aireado



Formación de lodo a la salida del tanque aireado



Se usó una bomba pequeña para la recirculación de lodos, instalada sumergida en la unidad de sedimentación secundaria.



Antes de cambiar el porcentaje de dilución de la pota, se procedió a vaciar y lavar las unidades del tanque azul, sedimentación primaria, sedimentación secundaria y filtro.



Durante el tiempo que se trabajó con las diluciones del 25%, hasta a veces el 40% de desagüe de pota, se observó presencia de algas en las unidades. Esta presencia de algas generó aumentos de turbiedad durante las lecturas en el laboratorio.



Sedimentador primario



Sedimentador secundario



Filtro

Durante el tiempo que se trabajó con las diluciones del 70% y 100% de desagüe de pota, se observó presencia permanente de un color blanco en tanque azul, sedimentador primario, sedimentador secundario. Pero en la unidad de lodos activados, se observó un color marrón debido a la formación del lodo a lo largo del proceso. También se observó la presencia de una capa de grasa de 0.05 mm aproximadamente flotando en la superficie del clarificador, esta capa de grasa aumentó la turbiedad, la cantidad de sólidos sedimentables así como también el porcentaje de grasa a la salida del piloto.



Tanque azul (llenado y formación de espuma durante el llenado)



Sedimentador primario (Presencia de sedimentos debido a la pota)



Tanque aireado (color marrón debido a la formación de lodos. Sin Olores fétidos)



Sedimentador secundario (Con presencia de una capa de grasa blanca)

Se procedió con la limpieza continua de las unidades de lodos activados, debido a la presencia de materiales extraños flotando debido a la exposición de la unidad al medio ambiente. También se procedía continuamente con la purga de la tubería de conexión entre el tanque aireado y el sedimentador secundario ya que presentaba constantes atoros.



Limpieza de la superficie con un colador



Paso entre el tanque aireado y el sedimentador secundario



Se cortaba el punto bajo de la manguera de interconexión para purgar

Formación de lodo al fondo y en las paredes de la unidad de tanque de aireación



Fondo del tanque aireado (presencia de lodo)



Presencia de lodo en las mangueras de aireación, fondo del tanque.



Presencia de lodo en las paredes del tanque de aireación

La mayoría de las mediciones de DQO, OD, pH y temperatura fueron medidas INSITU, debido a que se contaba con equipos necesarios para la medición de estos parámetros. Teniendo en cuenta que las muestras podría sufrir cambios al llevarla hasta el laboratorio de la universidad, ya que no contábamos con material refrigerante (cooler) o preservantes de muestras.



Laboratorio en el lugar de instalación del piloto



Equipo de prueba para determinar DQO



Colorímetro para determinar DQO



Equipo portátil para determinar el pH en INSITU

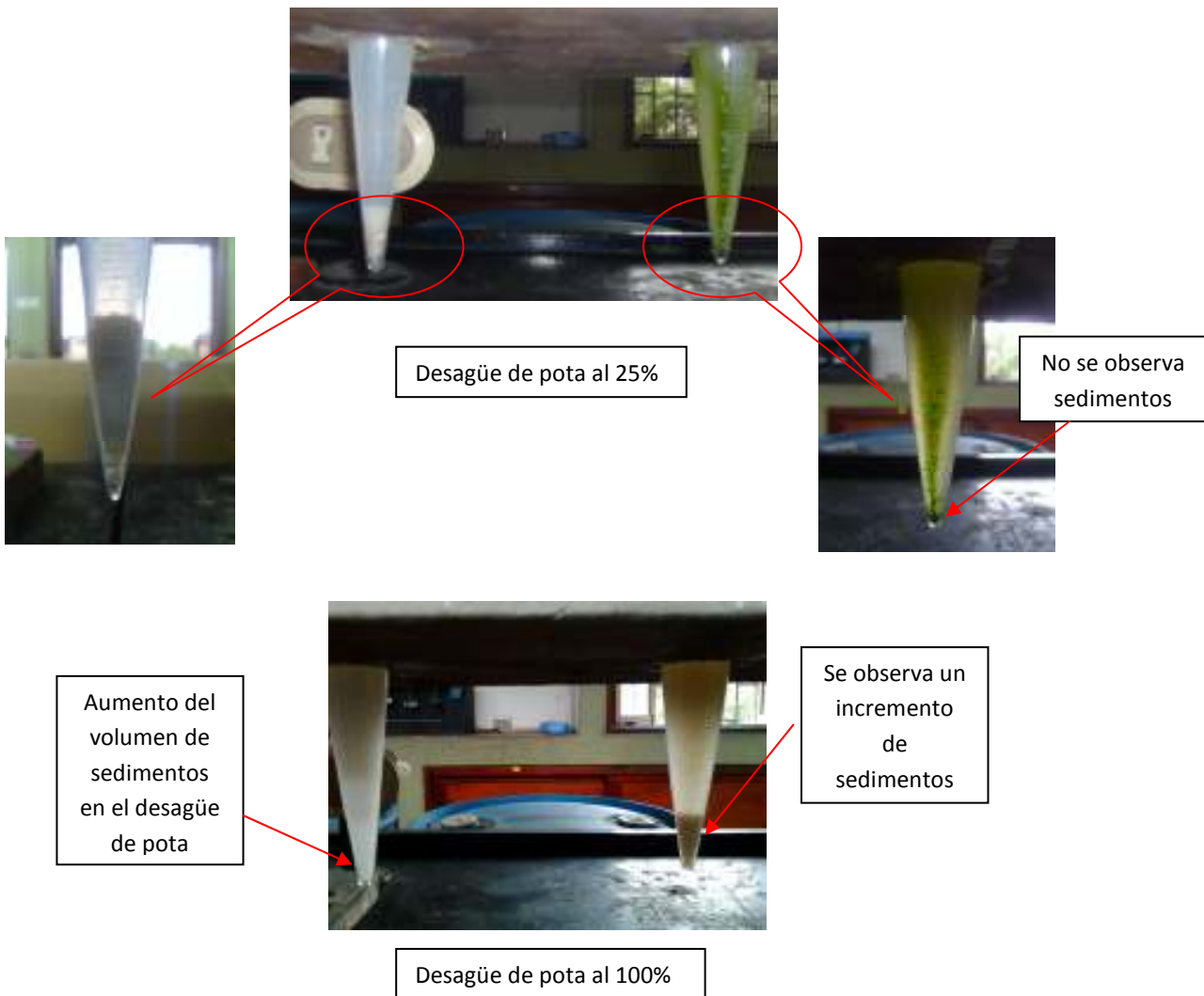


Pequeño laboratorio en la empresa donde teníamos instalado la planta piloto



Oxímetro de la empresa

Se observó que conforme se incrementaban el porcentaje de las diluciones del desagüe de pota, las características del desagüe cambiaban. Un ejemplo visual de ello, fue la prueba de sólidos sedimentables. En un inicio, el material de entrada (pota al 25%) presentaba un volumen de sólidos sedimentables de 1 a 2 ml/L/h y salía con 0 ml/L/h, pero cuando el material de entrada fue pota al 100% el volumen de sólidos sedimentables se incremento y también a la salida del piloto.



En todo momento tratamos de trabajar con muestra fresca del desagüe de pota y desagüe de verduras + domestico, es por ello que bombeábamos cada 02 días para llenar nuestro tanque azul. Esto lo hacíamos debido a que:

- Queríamos trabajar lo más real posible, simulando un ingreso continuo y fresco del desagüe de pota al piloto.
- La formación de capas de grasa en el tanque azul era a los dos días de llenado el tanque, esto es debido al reposo del desagüe en el tanque.

Lástima que hubieron momentos en que el proceso de pota no era continuo, es por ello que hubieron momentos en que teníamos que extraer el desagüe con baldes desde la caja de recolección de desagüe, llenar un tanque y desde ahí bombear hasta nuestro tanque azul.



Se sacaba la bota empozada en la caja de recolección del desagüe



Se llenaba un tanque y desde ahí se bombeaba hasta nuestro tanque azul

Las tomas de muestras de los diferentes puntos del piloto fueron de la siguiente manera: se presentaron atoros durante el funcionamiento en los accesorios y tuberías de entrada al UASB.



1.-Salida del tanque azul



2.-Salida del sedimentador primario



3.-Salida del UASB



4.-Tanque aireado



5.-Salida del filtro

Se hicieron pruebas de DQO inmediatamente después de haber tomado las muestras del piloto. Dichos resultados indicaron un alto DQO en la entrada, pero el piloto respondió eficientemente removiendo la DQO en porcentajes altos. Se usaron diales de rango bajo, y se agregó a los diales muestra de cada punto diluida con agua destilada en 1/100 con ayuda de una fiola de 100ml.



Se colocan los 5 diales en el calentador a 150°C por 2 horas.



Luego de las 2 horas, se leen en el colorímetro teniendo como base un blanco.



Los diales con muestra de las entradas daban lecturas de DQO altas.

13. CONCLUSIONES

13.1. Primera etapa de investigación

1. En la figura podemos observar que la DBO en el tanque azul es variable y se encuentra dentro del rango característico de un desagüe doméstico entre 100 y 250 mg/l; este valor es bajo comparado con un desagüe industrial.
2. Los valores de DBO a la salida del tanque de aireación se encuentran por debajo de 25 mg/l, además la DBO en el sedimentador secundario resultó mayor que en el tanque de aireación debido a la presencia de algas. En los puntos donde la DBO fue mayor en el tanque azul se obtuvieron valores bajos en la remoción de la carga orgánica a la salida del sedimentador secundario, entonces se concluye que cuando aumenta la carga orgánica hay mayor remoción de la DBO.
3. La formación de algas en el sedimentador secundario consumen el oxígeno disuelto producido en el tanque de aireación generando una disminución en la remoción de la materia orgánica a la salida del clarificador.
4. Las algas también causaron problemas en la remoción de turbidez ya que la formación de estas en el sedimentador secundario aumentaban la turbidez. Por tal motivo se intentó disminuir la formación de algas cubriendo las unidades de acrílico con plástico de color negro.
5. Los valores de pH en el tanque de aireación se encontraron dentro del rango entre 6.5 y 8.5, no fue necesario agregar soluciones reguladoras de pH (ácidos o bases).
6. En la figura 6 se observa que el oxígeno disuelto en el sedimentador secundario es mayor que en el tanque de aireación debido a que las algas presentes en el sedimentador secundario producen mayor cantidad de oxígeno durante el día es decir consumen el CO_2 para producir oxígeno, además las muestras fueron tomadas al mediodía que es el tiempo en que las algas producen la máxima cantidad de oxígeno.

7. La eficiencia en la remoción de sólidos totales aumentaron durante el tiempo de investigación en la primera etapa.

13.2. Segunda etapa de investigación

1. De acuerdo a los resultados obtenidos de DBO (figura 10) para todas las concentraciones de dilución del desagüe de pota, se puede observar que la DBO en el tanque mezcla con concentraciones al 25% de pota, 40% de pota y 70% de pota varían considerablemente comparado con la concentración del desagüe de pota al 100%. Por tal motivo, al momento de diseñar una planta de tratamiento anaerobio y aerobio para el desagüe de la industria de pasta de pota, se debe considerar que dicha planta trabaje hasta un 70% debido a que la fluctuación de la DBO entre estas diluciones es mínima y facilitará la operación y mantenimiento de la PTAR, comparada con el 100% de dilución del desagüe de pota.
2. De la figura 11 podemos concluir que al aumentar la concentración de dilución del desagüe de la industria de la pasta de pota, aumenta la carga orgánica; es decir, que el aumento de la dilución de la concentración del desagüe de pota es directamente proporcional a la carga orgánica.
3. De la figura 16 se puede observar un crecimiento de la eficiencia de remoción de la carga orgánica en el UASB trabajando con una dilución al 25%, a partir de ahí se aprecia un decline de la eficiencia de remoción de la carga orgánica en el UASB hasta un 38.05% de remoción de DBO. Esta disminución de la eficiencia en la remoción de DBO es inversamente proporcional al aumento de la dilución del desagüe de pota (40%, 70% y 100%), hasta quedar por debajo de la eficiencia inicial de tratamiento que fue de un 44.32% de remoción de materia orgánica.
4. El sistema de tratamiento anaeróbico UASB, no puede mantener una eficiencia constante debido a que no soporta cambios bruscos de concentración en la carga orgánica.
5. De la figura 17, se observa que la eficiencia en promedio de remoción de la carga orgánica en la planta piloto completa fueron: al 25% de dilución fue 88% de remoción, al 40% de dilución fue 89% de remoción, al 70%

de dilución fue 88% de remoción y al 100% de dilución fue de 87% de remoción para todo el sistema. Esto nos lleva a concluir que dicha eficiencia se mantuvo constante a pesar del aumento de la dilución.

6. La carga orgánica del afluente de piloto aumentaba conforme iba aumentando la dilución de concentración de pota; pero como no variaba su porcentaje de remoción total del piloto, dicha carga se removía, pero cada vez la calidad del efluente iba disminuyendo considerablemente. Una de las preocupaciones que tuvimos fue al trabajar al 100% de dilución, debido a que el efluente de dicha concentración sobrepasó los límites permisibles para su disposición al sistema de alcantarillado.
7. Se observó claramente que un efluente industrial puede llegar a ser un alto riesgo de contaminación comparado con un desagüe doméstico debido a la alta carga orgánica que contiene. Un ejemplo de ello es el desagüe de la industria del proceso de pota el cual hemos caracterizado y nos da un valor de 6038mg/L de DBO mientras que la caracterización del desagüe doméstico de UNITRAR es de 127mg/L, eso conlleva a decir que el desagüe doméstico representa el 2.1% de la carga orgánica del desagüe industrial del proceso de la pasta de pota.
8. Según los antecedentes encontrados sobre tesis de investigación para el tratamiento de efluentes de industria de camales, avícolas y vinaza muestran que un sistema combinado (anaerobio – aerobio) es muy eficiente para la remoción de la carga orgánica si se toma en cuenta un adecuado PRE-TRATAMIENTO para disminuir los sólidos sedimentables y las grasas que afectan el proceso de remoción tanto en el UASB como en el TANQUE DE LODOS ACTIVADOS.
9. En la figura 18 se observó que la mayoría de los valores del pH en el tanque de mezcla (tanque azul) se encuentran por debajo del rango óptimo (6.5 – 7.5), esto quiere decir que la planta piloto trabajó la mayor parte del tiempo con un pH ácido en el tanque azul de mezcla, que es el tanque de dilución y entrada al piloto. Es por tal motivo que la eficiencia promedio en la remoción de la DBO de la unidad del tanque de lodos activados en la etapa II al 25% de concentración del desagüe de pota fue

65%, al 40% de concentración del desagüe de pota fue 64%, al 70% de concentración del desagüe de pota fue 47% y al 100% de concentración del desagüe de pota fue 48% mientras que la eficiencia promedio de remoción de la etapa I fue del 84%. Esto nos lleva a concluir que en la etapa I la remoción de carga orgánica fue mayor funcionando con un pH en el rango neutro; pero en la segunda etapa hubo una disminución considerable de la eficiencia del piloto por la disminución del pH que iba disminuyendo a la entrada conforme se aumentaba las diluciones gradualmente (25%, 40%, 70% y 100%).

10. En la figura 19, se puede observar como en el UASB el desagüe de pota presenta un pH dentro del rango de 6.5 y 7.5. Esto se logró naturalmente, puesto que antes de esta unidad no se agregaron sustancias para neutralizar el pH de entrada, solo contó con un pre-sedimentador antes de la entrada al UASB. Concluimos que ésta natural neutralización del pH se debió al funcionamiento del pre sedimentador donde precipitaron partículas que aumentaban el pH, además creemos que dicha unidad de pre sedimentación funcionó como una laguna facultativa donde las algas y la energía solar produjeron reacciones químicas donde la producción de O₂ aumento considerablemente el pH. También se puede observar como en el transcurso del tiempo, y aumentando las concentraciones de dilución cercanas al 70% y 100% del desagüe de pota, el pH va disminuyendo gradualmente; desaparición de algas en el tanque de sedimentación, hasta finalmente volver a tener un pH ácido.
11. Según la teoría, el rango de pH recomendable para una planta de lodos activados es de 6.5 a 8.5 (Spencer, 1990; Huidobro et al., 1993; Calderón y Ramírez, 2004). En la figura 20, podemos observar como el pH se encuentra entre 7.4 y 9.2 durante todo el tiempo de funcionamiento del piloto. La oxigenación aumenta el pH pero conforme transcurre el tiempo de funcionamiento de la planta piloto y se aumenta la concentración del desagüe de pota en la dilución en el tanque de entrada, el pH va disminuyendo gradualmente pero no salió del rango recomendable de trabajo de lodos activados.

12. En la figura 21 se puede observar que las mayores eficiencias de remoción de la DQO en el UASB fueron hasta el 40% de dilución de la concentración del desagüe de pota a la entrada de la planta piloto; es por ello que para tener un buen rendimiento de remoción de DQO en una planta de tratamiento se podría trabajar hasta un porcentaje de dilución del 40%; ya que conforme se aumenta la concentración de dilución de desagüe de pota a la entrada del piloto (70% y 100%) se aumenta también la concentración de DQO a la entrada; este aumento disminuye la eficiencia de tratamiento de este parámetro. En la planta de lodos activados hubo una leve disminución de la eficiencia de la DQO, concluimos que esto se debe al no conseguir una adecuada saturación de oxígeno en el sistema debido a la falta de un adecuado sistema de pre-tratamiento. La eficiencia total del sistema fue alta en la remoción de este parámetro, por tal motivo podemos decir que dicho sistema combinado es adecuado para el tratamiento de disminución de la DQO para este tipo de efluente industrial.
13. Fue extraño encontrar un alto OD en el desagüe crudo del proceso de producción de la pasta de pota, se puede observar en el capítulo de caracterización del desagüe en la etapa II que el desagüe de pota presentaba un OD entre 8 y 9ppm. También es necesario recalcar que la temperatura era de 19 – 20°C del desagüe crudo. No se conocen las partes del proceso de producción en la empresa debido a la confidencialidad de su producción; pero deducimos que hay un proceso de inyección de aire en el proceso de pasta de pota.
14. En la figura 22 se puede observar puntos en que la concentración de OD a la entrada del piloto son altos debido a que es un desagüe recién bombeado y fresco, listo para ingresar al piloto, los puntos bajos de la grafica son debido a que conforme el desagüe queda almacenado en el tanque, va aumentando su temperatura y la concentración de OD disminuye. Concluimos que una planta de tratamiento para un desagüe de pota no debería trabajar con tan alta oxigenación si la primera unidad a utilizar será un UASB, debido a que es un sistema de tratamiento anaerobio y la mínima concentración de oxígeno inhibe el proceso.

15. En la figura 23 podemos observar la grafica del la aireación en el tanque de lodos activados durante toda la puesta en marcha del piloto. Esto refleja el claro problema que tuvimos durante el proceso de oxigenación del piloto de aireación a pesar de agregar más tubos difusores y compresores de aire. La falta de un sistema de pre tratamiento como trampa de grasas, mayor altura del tanque de aireación para que haya mayor tiempo de contacto entre oxígeno y micro organismo, el diámetro de la burbuja y mayor potencia de aireación. Todos ellos son claros factores que se tendrán que considerar en el diseño y operación y mantenimiento de una planta del proceso de pota.
16. En las figuras 24 y 25 se observa que el afluente al piloto presentaba turbiedades tan altas hasta de 30500 NTU al 100% de dilución en la concentración del desagüe de pota y que no hubo una buena eficiencia en la remoción de turbiedad del desagüe de pota, esto nos lleva a pensar que es necesaria una unidad de filtración o hidrocribas finas antes de darle un tratamiento anaerobio – aerobio, otro punto a aclarar es que debe de haber un control de grasas ya que se observa formaciones de capas blancas de grasa en la superficie del sedimentador secundario, formación de colonias de algas en las unidades y también coloraciones rojizas en las paredes del filtro que son arrastradas y aumentan la turbiedad del efluente.
17. En la tabla 05 se observa que hubo una buena eficiencia en lo que es remoción de sólidos sedimentables, eso nos lleva a pensar que el tiempo de retención en el sedimentador primario, el sedimentador secundario y el filtro son los adecuados para cada porcentaje de dilución.
18. En la figura 26 se observa que los sólidos suspendidos volátiles en el tanque de lodos activados están en un rango de 500 a 2500 ppm y no llegan a estar en el rango recomendado para el tratamiento de 2500 a 3500 ppm (Tratamiento de aguas residuales, Ramalho). El bombeo de lodos sedimentados hacia la entrada del tanque aireado es fundamental, el cálculo de dicho volumen deberá ser evaluado en tesis futuras para este tipo de desagüe. La inoculación de lodos al tanque de aireación

puede ser otra opción que habrá que evaluar para mejorar la concentración de sólidos suspendidos volátiles.

19. Otro de los motivos por el cual la eficiencia en el tanque de lodos activados disminuyó considerablemente fue la presencia de grasas que se hizo notoria al aumentar la concentración del desagüe de pota; esto se vio reflejado en las formaciones de capas de grasa de 2mm en la superficie del agua, paredes y salida del tanque aireado, llegando a obstruir hasta los aereadores.
20. Al aumentar la concentración en la dilución del desagüe industrial del proceso de pasta de pota, se observó que la eficiencia de remoción disminuyó aumentando así la concentración de grasas a la salida del filtro como se muestra en la tabla 4.
21. En la tabla 5 se observó que hubo una buena remoción de sólidos sedimentables debido a que se instaló un pre sedimentador (sedimentador primario) antes de la unidad del UASB, permitiendo así la sedimentación de los sólidos de mayor tamaño. Además, a mayor concentración de la dilución del desagüe de pota aumenta la cantidad de sólidos sedimentables a la salida del filtro.
22. Con respecto a la aireación del tanque de lodos activados en la etapa II, esta fue mejorada con el aumento del número de difusores. Adicionalmente se instaló un compresor de aire de 20W y una bomba aireadora de 5W, debido a que los resultados de OD al inicio del arranque de la segunda etapa no eran los adecuados ya que no alcanzaba el rango entre 3ppm y 7 ppm comparados con la primera etapa. Sin embargo, a pesar del aumento de nuevos equipos de aireación, no se llegó a obtener valores mayores a 1ppm de oxígeno disuelto en el tanque de aireación. Esta observación nos llevó a concluir que la altura del tanque de aireación es un factor importante a tomar en cuenta en el sentido que permite una adecuada transferencia de oxígeno (suficiente tiempo de contacto oxígeno – Microorganismo).

23. Se hicieron mediciones de fósforo total, nitrógeno amoniacal y nitratos para la concentración del desagüe industrial de la pasta de pota al 100% tal como se muestra en anexos. Resultando una eficiencia en la remoción de fosforo total de 55.2%, en la remoción de nitrógeno amoniacal de 47.68% y en la remoción de nitratos de 42.68%.
24. Los tiempos de retención para las distintas unidades de la planta piloto fueron: para el sedimentador primario 5 horas según la prueba de sedimentación en las probetas de 1litro, para la unidad de UASB fue de 8 horas, para tanque de lodos activados 5.56 horas, para el sedimentador secundario 5 horas y para el filtro 16min.

14. RECOMENDACIONES

14.1. Primera etapa de investigación

1. Para el diseño de un sistema de lodos activados se debe tener en cuenta la altura del tanque de aireación ya que permite un mayor tiempo de contacto burbuja-microorganismo. En la presente tesis, la altura del tanque de aireación fue de 0.25 m pero es recomendable que la altura sea mayor a 0.80m.
2. Se debe evitar en lo posible la formación algas en las unidades de tratamiento para que no interfieran en la medición de parámetros tales como la DBO. Para evitar este problema se puede cubrir las paredes y la parte superior de la unidad con plástico de color negro evitando así el ingreso de la luz solar a la unidad.
3. Se podría realizar un estudio sobre como interfieren negativamente las algas en la remoción de la materia orgánica, para ello se recomienda hacer mediciones de DBO al mediodía y en la noche para así comparar estos valores.
4. Distribuir uniformemente la aireación en el tanque de lodos activados para evitar espacios muertos utilizando difusores de burbuja fina. Es necesario hacer una prueba de saturación del oxígeno en la unidad para determinar el tiempo de saturación, de preferencia realizar esta prueba con agua potable.
5. Controlar que el caudal al ingreso de la planta piloto sea constante, en el caso de un caudal pequeño se puede utilizar una bomba peristáltica.

14.2. Segunda etapa de investigación

1. Debido a el desagüe industrial de la pasta de pota tiene un pH bajo, es recomendable controlar su valor utilizando soluciones reguladoras antes de su ingreso a la planta piloto. Cabe recordar que el rango de pH óptimo está entre 6.5 y 7.5. Se recomienda realizar una investigación de como el pH afecta en la eficiencia de remoción de la carga orgánica en un sistema combinado (anaerobio-aerobio) utilizando valores de pH que se encuentran en el rango hasta determinar el pH optimo que permita una mayor eficiencia en la planta piloto.
2. La concentración de grasas y aceites en el desagüe industrial de la pasta de pota fueron muy altas debido a que la materia prima está compuesta de ácidos grasos. Por tal motivo, es recomendable diseñar un sistema de trampa de grasas como pre-tratamiento para aumentar la eficiencia en el UASB y evitar interferencias en la transferencia de oxígeno en el tanque de lodos activados.
3. Se recomienda investigar sobre cómo influye la temperatura en la eficiencia de de remoción de la carga orgánica en el UASB. Durante la etapa de análisis, la temperatura del desagüe industrial de la pasta de pota para distintas concentraciones (25%,40%,70% y 100%) estuvo entre 19° y 23°, sin embargo de acuerdo a otras investigaciones la temperatura en el UASB debe estar entre 20° y 25° por ello se puede usar calentadores a gas metano aprovechando que este gas es producido por un bioreactor instalado en la empresa.
4. Es recomendable vaciar y limpiar los sedimentadores (primario y secundario) al momento de cambiar la concentración del desagüe industrial de la pasta de pota para así poder asemejarlo a la realidad. Además se recomienda realizar una limpieza de los difusores con un periodo de 2 veces por semana (miércoles y sábado) ya que los lodos obstruyen estos aireadores ocasionando una disminución del oxígeno disuelto y la no formación de burbujas.

5. Debido a que el desagüe industrial de la pasta pota tiene sólidos suspendidos, es recomendable utilizar un sistema de pre-filtración o hidrocribas finas antes del ingreso al UASB para así poder evitar que pasen aquellas partículas que dan un color blanco al efluente. Esto podría ser evaluado en una tesis futura eliminando los sólidos suspendidos en el efluente.
6. El desagüe industrial de pasta de pota tiene valores altos de oxígeno disuelto (mayores a 8mg/l) debido a que en el proceso de producción de la pasta de pota se puede estar utilizando un sistema de inyección de aire. Es necesario instalar un sistema tal como un sedimentador para poder disminuir el valor de OD, es recomendable que antes del ingreso al UASB los valores de OD deben estar entre 1 y 3 mg/l.
7. En la etapa II, el valor de OD en el tanque de lodos activados fue menor a 1mg/l debido a las características del desagüe industrial y la transferencia de oxígeno (burbuja-microorganismo) no se llevo a cabo a pesar de aumentar el número de difusores y la bomba de aire. Por tal motivo, es recomendable no solo aumentar la capacidad del equipo o mejorar la calidad del efluente mediante un pre-tratamiento sino que también se debe aumentar la altura del tanque de lodos activados para obtener un mayor tiempo de contacto.
8. La formación de lodos en el tanque de aireación fue muy baja, los sólidos suspendidos volátiles no estuvieron dentro del rango recomendado entre 2500 y 3500 mg/l. Es recomendable inocular lodos provenientes de otros sistemas aireados eficientes teniendo en cuenta los sólidos suspendidos volátiles como parámetro de operación.
9. La recirculación de lodos se debe determinar teniendo en cuenta los sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación y en el sedimentador secundario. Además se debe determinar el periodo de recirculación de lodos.

10. En la presente tesis de investigación no se llegó a tener una buena eficiencia en la remoción de turbidez debido a la alta concentración sólidos suspendidos del desagüe industrial de la pasta de pota, a la formación de algas en el filtro y a la formación de capas de grasa. Es por ello, que se recomienda utilizar un sistema de pre-filtración o hidrocribas finas para obtener mejor resultados en la remoción de la turbidez.

15. BIBLIOGRAFIA

- http://www.science.oas.org/Simbio/mbio_ind/cap10_mi.pdf
- AUTORA: Margarita Salazar González,* Departamento de Biotecnología, UAM Iztapalapa.
- *FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS VOL 3 NO.1 MARZO 2005 - DEYANIRA MUÑOZ MUÑOZ.*
- **TRATAMIENTOS AVANZADOS DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES –INFORME DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA** (Antonio Rodríguez Fernández Alba, Pedro Letón García, Roberto Rosal García, Miriam Dorado Valiño, Susana Villar Fernández y Juana M. Sanz García) Madrid - España.
- **DIGESTIÓN ANAEROBIA DE LODOS DE DEPURADORA** - Tesis doctoral de la Universidad de Alicante. Tesis de la Universitat d'Alacant.: Etapas controlantes y cinética del proceso. José María López Cabanes.
- **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRAULICO UN REACTOR UASB UTILIZADO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES** - Diana Arroyave Gómez, Maribel González Arteaga y Darío Gallego Suárez. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Facultad de Minas. Calle 55 N° 80-54 apto 523, margoiq@yahoo.com.
- **MASTER MICROBIOLOGÍA – 7.- DIGESTIÓN ANAEROBIA II. FACTORES AMBIENTALES E INHIBICIÓN:** Tratamiento biológico aguas residuales José L. Sanz.
- **DISMINUCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) EN VINAZAS MEDIANTE TRATAMIENTO BIOLÓGICO,** UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA, MELINA SANDOVAL FLORES.

- **DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA: COMPORTAMIENTO DINAMICO DE DIGESTORES ANAEROBICOS:** *Universidad de Santiago de Compostela - Memoria presentada por Francisco José molina Pérez para optar el grado de doctor por la Universidad de Santiago de Compostela. Diciembre 2007.*
- **ESTUDIOS DEL GRUPO AQUALIMPIA CONSULTORES.**

16. ANEXOS

16.1. MARCO TEÓRICO

16.1.1. Tratamiento anaerobio

Los **reactores UASB** (del inglés *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) son un tipo de biorreactor tubular que operan en régimen continuo y en flujo ascendente, es decir, el afluente entra por la parte inferior del reactor, atraviesa todo el perfil longitudinal, y sale por la parte superior. Son reactores anaerobios en los que los microorganismos se agrupan formando biogránulos.

Reactor de manto de lodos y flujo ascendente: Estos reactores solucionan el problema de recirculación de lodos al aumentar la concentración de biomasa en el reactor manteniéndola en su interior. Estos reactores fueron desarrollados en Holanda, por el Prof. Lettinga en la década de los 80. Se trata de un reactor cuyo lecho está formado por gránulos de biomasa. Estos gránulos son porosos y con una densidad poco mayor que la del líquido, con lo que se consigue un buen contacto de éste con la biomasa. Los reactores suelen tener en su parte superior un sistema de separación gas-sólido-líquido, puesto que se acumula biogás alrededor de las partículas, éstas manifiestan una tendencia a ascender separándose con estos dispositivos. Se consigue una alta concentración de biomasa dentro del reactor que conlleva una elevada velocidad de eliminación de materia orgánica con rendimientos elevados de depuración. El agua residual se introduce por la parte inferior, homogéneamente repartida y ascendiendo lentamente a través del manto de lodos (gránulos).

Los principales problemas que tiene este tipo de reactor son: puesta en marcha, ya que se ha de conseguir que se desarrollen gránulos lo más estables posibles, la incidencia negativa que tiene el que el agua residual a tratar contenga una gran cantidad de sólidos en suspensión y la deficiente mezcla en la fase líquida que se logra. Este último problema se

soluciona de una forma eficaz recirculando parte del gas producido e inyectándolo en la parte inferior de equipo, consiguiendo una expansión del manto de lodos, y por lo tanto, una buena mezcla. A estos reactores se les denomina EGSB (Expanded granular sludge blanket). Habitualmente la relación altura/diámetro es mayor que para los convencionales UASB siendo capaces de alcanzar mayores cargas orgánicas (10-25 kg DQO/m³-día). También recientemente se ha desarrollado un sistema semejante denominado *Internal Circulation (IC)*. Estos tipos de reactores han conseguido una muy alta implantación en el mercado, mostrándose como los más *fiabiles para todo tipo de aguas residuales de alta carga*, especialmente las que tiene un bajo contenido de sólidos en suspensión.

Ventajas del tratamiento anaeróbico con reactores UASB.

Las bacterias anaerobias utilizan entre el 5-10% de la energía contenida en el sustrato para funciones de reproducción, originando nuevas células, dirigiendo el 90-95% restante a la producción de gas metano, en cambio las bacterias aerobias emplean entre el 50 y 65% de la energía del sustrato en la síntesis de nuevas células, mientras que la otra parte es utilizada en la reutilización de otras funciones metabólicas.

Las ventajas económicas del tratamiento anaerobio de efluentes residuales industriales y domésticos se basan en el ahorro energético, ya que no se requiere el bombeo de oxígeno para la depuración de las aguas; y en la generación de una menor cantidad de lodos más estabilizados y de más fácil tratamiento y disposición.

A diferencia de los sistemas de tratamiento aeróbico, las cargas de los digestores anaeróbicos no requieren del suministro de ningún reactivo o químico. Entre más lodo esté siendo retenido en el digestor anaeróbico bajo condiciones operacionales, más altas son las cargas potenciales del sistema, siempre y cuando pueda ser mantenido un tiempo de contacto suficiente entre el lodo y el agua residual.

Las ventajas fundamentales del proceso anaeróbico son las siguientes:

- Se requiere menos área de implantación para una planta depuradora anaerobia en comparación con una unidad de tratamiento aerobio o de lagunas de oxidación. Importante argumento para la aplicación de estos sistemas en zonas urbanas.
- La construcción de plantas depuradoras UASB es mas económica, ya que no se requiere de grandes estructuras de hormigón (obras civiles) y se utilizan pocos equipos electro mecánico.
- Los procesos anaeróbicos no requieren equipos para la aireación y tienen baja producción de lodos de desecho.
- Los sistemas anaeróbicos no requieren de personal muy especializado ni tienen equipo electromecánico sofisticado.
- Con respecto al tratamiento de aguas residuales de mediana a alta concentración el uso del tratamiento anaeróbico es significativamente más barato que el tratamiento aeróbico.
- Los sistemas anaeróbicos producen biogás, el que puede ser utilizado para la generación de energía eléctrica o calor.
- Se generan cantidades de lodo muy inferiores a las producidas en el proceso aerobio y en un mayor grado de mineralización, concentración y fácil deshidratación.

Factores que influyen en el proceso de digestión anaerobia

Factores ambientales

Temperatura

La temperatura afecta de forma directa a la velocidad de descomposición de los residuos y al rendimiento del proceso (m³ de biogás/kg de materia orgánica alimentada).

En función de la temperatura se pueden establecer tres rangos de operación

1. Psicrófilo: inferior a 25°C.

La producción de biogás a temperaturas bajas se puede considerar independiente de la temperatura; sin embargo entre 15 y 25°C, la producción aumenta linealmente con la temperatura.

A bajas temperaturas el proceso de aclimatación de los microorganismos es lento. La digestión anaerobia en el rango Psicrófilo se aconseja en ocasiones para el tratamiento de algunos residuos ganaderos e incluso vertidos industriales o urbanos, siempre que las condiciones ambientales no sean extremas.

2. Mesófilo: de 25 a 45°C

En este intervalo de temperaturas trabajan la ría de los digestores. El óptimo de producción se establece autores, entre 35-40°C ó 35-42°C, dependiendo del tipo de residuo a tratar, aunque en ocasiones puede situarse por debajo de 35°C.

Cuando se aumenta la temperatura de 25 a 40°C, la producción de biogás aumenta un 1% por grado. El balance energético óptimo se sitúa entre 25 y 35°C.

3. Termófilo: superior a 45°C

La digestión anaerobia a temperaturas elevadas presenta ciertas ventajas como son la eliminación de gérmenes patógenos, mayor rapidez del proceso, disminución del tiempo de retención, reducción en las dimensiones de la instalación y un mayor rendimiento.

Para este intervalo, la temperatura óptima se sitúa alrededor de 60°C. Aunque la producción de gas se incrementa al pasar de 50°C a 60°C, el balance energético es más desfavorable.

En este rango de temperaturas se tratan generalmente residuos de industrias agroalimentarias que se vierten a altas temperaturas.

Se pueden distinguir dos tipos de bacterias diferentes: bacterias termotolerantes, que pueden crecer a 50-60°C y 30-35°C, y las bacterias termófilas estrictas que sólo crecen por encima de 40°C, presentando un óptimo alrededor de 50°C .

La estabilidad de la temperatura es fundamental para el buen funcionamiento de un digestor en el rango termófilo. Los márgenes de fluctuación son más estrechos en la zona termófila que en la mesófila, lo que exige de un control mayor en el primer caso.

A pesar de las posibles ventajas de este proceso termófilo, en la práctica no ha tenido gran aceptación, debido probablemente a las siguientes razones:

- Las bacterias termófilas son muy sensibles a cualquier cambio en las condiciones del proceso.
- El período de aclimatación de las bacterias en el rango termófilo es relativamente largo.
- El rendimiento energético neto del proceso es pequeño, debido a pérdidas caloríficas en el mantenimiento del digester a temperaturas elevadas.
- El poder fertilizante de los lodos digeridos es más pequeño.

pH

El pH del medio es función de la alcalinidad bicarbonatada, de la presión parcial del dióxido de carbono y de la concentración de los ácidos volátiles. Las bacterias acetógenas y metanógenas son muy sensibles al pH, por lo que habitualmente debe mantenerse entre 6 .6 y 7 .6, con un rango óptimo entre 6 .8 y 7 .2.

El valor del pH determina la producción total de Biogás y su composición, ya que por debajo de pH= 6 .2, la acidez del medio inhibe la actividad de las bacterias metanogénicas, y para valores de pH comprendidos entre 4.5 y 5 .0, la inhibición afecta también a las bacterias fermentativas. Efectos similares se detectan para valores de pH superiores a 8 .0-8 .5

La naturaleza y el pH de los residuos a tratar determinan el pH del medio. Algunos tienen una fuerte capacidad reguladora que es suficiente para mantener el pH dentro del rango favorable; en los casos en que esto no sucede se hace necesario añadir ácidos o bases.

En un proceso discontinuo o por cargas el pH experimenta al principio un descenso hasta un valor mínimo comprendido entre 4 .5 y 6 .0 según el tipo de alimento utilizado, iniciando a continuación un ascenso hasta los valores estables en donde se sitúa el óptimo. A partir de este momento se puede iniciar una alimentación continua o semicontinua por cargas periódicas del digester, e ir incrementándola gradualmente hasta un valor

máximo que no provoque un descenso del pH por debajo del intervalo de régimen ya citado.

Alcalinidad

La alcalinidad es una medida del contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos de calcio, magnesio, sodio y potasio fundamentalmente; se expresa en mg CaCO₃/L, y representa la Capacidad tampón del contenido del digestor.

Un digestor con una alcalinidad superior de 1000 mg/L (a pH 6.0), presenta una buena capacidad de respuesta frente a rápidos aumentos en el contenido de ácidos volátiles establece que para un valor de alcalinidad comprendido entre 2500 y 5000 mg CaCO₃/L se obtiene un margen de operación seguro en el tratamiento anaerobio de residuos.

Ácidos grasos volátiles.

El contenido en ácidos grasos volátiles en el interior de un digestor, es uno de los parámetros más útiles en el control del estado metabólico del proceso. Teniendo en cuenta que estos ácidos juegan un importante papel como intermediarios en la formación del metano, la acumulación de alguno de ellos indica la modificación de las condiciones metabólicas en el digestor; por tanto cualquier inhibición de las etapas finales de la metanogénesis provocará un aumento de la concentración de ácidos volátiles y un descenso acusado del pH.

El límite de concentración de ácidos volátiles para que el proceso sea estable varía según los datos encontrados en la bibliografía. Puede variar entre los 200 mg/l (referido a ácido acético equivalente) y los 2000 mg/l, concentración a la que se inhiben las bacterias metanogénicas pero no así las acidogénicas. No obstante este intervalo puede variar dependiendo del tipo de residuo a digerir, pues se han llegado a

encontrar concentraciones superiores a los 5000 mg/L en digestores que funcionan normalmente cuando se alimenta de estiércol de gallina.

Potencial redox.

La medida del potencial redox de un sistema anaerobio es de considerable importancia cualitativa en el control del buen funcionamiento del proceso por cuanto es una medida del grado de anaerobiosis del medio. Diversos autores han observado una relación entre el potencial redox y el rendimiento de la digestión. Para las bacterias metanogénicas el potencial redox óptimo varía aproximadamente entre -300 y -330 mV. Para mantenerlo en este intervalo es aconsejable que el digestor no reciba sustancias oxidantes y evitar la entrada de aire en la cámara de digestión.

Nutrientes

Generalmente las bacterias que intervienen en el proceso de fermentación anaerobia tienen requerimientos nutritivos simples para su desarrollo. Los principales nutrientes son carbono, nitrógeno, fósforo y pequeñas cantidades de azufre, vitaminas, ácidos grasos, aminoácidos (que pueden ser aportados por otras bacterias) y una serie de elementos minerales como K, Na, Ca, Mg y Fe en muy bajas concentraciones.

Cuando hay poco nitrógeno disponible en el medio, las bacterias no son capaces de producir los enzimas necesarios para utilizar el carbono. Si hay exceso de nitrógeno, entonces puede existir una inhibición del crecimiento de las bacterias.

Se acepta una relación óptima de C/N/P del orden de 250/ 7/ 1, aunque pueda variar dependiendo del tipo de residuo.

Los residuos animales y lodos de aguas residuales urbanas contienen normalmente todos los nutrientes necesarios en cantidades adecuadas. Sin embargo las basuras municipales suelen ser deficitarias en nutrientes, pudiendo ser necesaria la adición de amoníaco, fosfatos o sulfuros cuando se pretende fermentarlas sin incorporar materiales de otros orígenes

Inhibidores

Existen determinadas sustancias orgánicas e inorgánicas que pueden resultar tóxicas incluso en concentraciones muy bajas. Para las sustancias inorgánicas el nivel tóxico mínimo varía según que actúen solos o combinados con otros compuestos ya que algunas combinaciones tienen efectos sinérgicos mientras que otras presentan efectos antagónicos.

Oxígeno

Por tratarse de un proceso en el que intervienen micro organismos estrictamente anaerobios, el oxígeno resulta inhibitor a concentraciones muy bajas, del orden de 1 ug/mL.

. Las posibles causas pueden ser:

- caudal de alimentación demasiado alto.
- fluctuación amplia de la temperatura.
- formación de espumas.
- presencia de sustancias tóxicas.
- excesiva producción de ácidos volátiles.

Amoníaco

La toxicidad del amoníaco aparece influenciada por el pH del medio. A pH básicos los iones amonio se liberan como amoníaco. El problema de la toxicidad de éste se da en los períodos de aclimatación en digestores que tratan residuos avícolas y porcinos principalmente.

McCarty señala que para concentraciones de nitrógeno amoniacal comprendidas entre 1.5 y 3.0 g/l, y con un pH superior a 7.4, el amoníaco puede ser inhibidor. No obstante se han encontrado referencias de trabajos de otros investigadores en los que la fermentación de residuos ganaderos se desarrollaba de forma estable para concentraciones superiores a 3.0 g/L, la conclusión a la que llegaban estos autores es que la inhibición es progresiva para concentraciones de nitrógeno amoniacal superiores a 2.0 g/L aunque la toxicidad (es decir la ausencia de producción de metano) no aparece hasta concentraciones de 7.0 g/L.

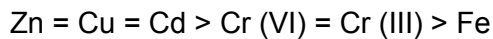
Cationes de metales alcalinos y alcalinotérreos.

Cuando están presentes en concentraciones bajas favorecen el desarrollo de los microorganismos. Sin embargo para concentraciones elevadas presentan un efecto inhibidor. Parece ser que la inhibición aumenta en el sentido

Cationes de metales pesados

La incorporación de cationes de metales pesados: Cu, Zn, Cd, Ni, Cr, Fe, etc. presenta generalmente efectos inhibidores en los microorganismos. La información encontrada sobre niveles de toxicidad es muy controvertida.

Mosey y Hugues (1975) propusieron un orden decreciente de toxicidad:



Para disminuir la toxicidad de los metales pesados, y considerando la baja solubilidad de los sulfuros de estos metales, se puede añadir el ión S²⁻ para precipitar Fe, Zn, Ni, Pb, Cd y Cu; sin embargo el Cr no forma sal insoluble.

Sulfuro de hidrógeno

El sulfuro de hidrógeno puede resultar tóxico en concentraciones comprendidas entre 70 y 200 mg/L. No obstante algunos organismos pueden tolerar concentraciones superiores a 200 mg/L después de un período de aclimatación, sin presentar efectos inhibidores importantes.

Otros compuestos

Diversos compuestos orgánicos en pequeñas concentraciones como alcoholes, disolventes, antibióticos, fenoles, compuestos clorados (CCl₄, CHCl₃), detergentes, pesticidas y algunos ácidos grasos de cadena larga (oleico, palmítico, esteárico) en grandes concentraciones, pueden inhibir la actividad de las bacterias metanógenas.

Factores operacionales

Agitación

La agitación de un digestor mejora el proceso ya que se consigue una mezcla homogénea y se facilita un contacto continuo entre los microorganismos y el sustrato, con un mejor aprovechamiento de éste al estar distribuido uniformemente y no aparecer gradientes de concentración o temperatura. Además la agitación evita la formación de espumas en la superficie.

Los tipos de agitación aplicada en los digestores pueden ser mecánica o neumática por recirculación del gas o líquido (éste último sistema ofrece más ventajas que el primero)

La agitación mecánica consiste en la aplicación de un dispositivo de paletas o hélice dentro del digestor

La agitación neumática por recirculación del gas consiste en inyectar de nuevo parte del gas producido, por la parte inferior del digestor con lo que se consigue la creación de un flujo turbulento en el interior; éste método proporciona una mayor producción de gas y una más rápida estabilización de la materia orgánica. La agitación neumática por recirculación de parte de la mezcla líquida contenida en el digestor por medio de una bomba, se aprovecha en ocasiones para calentar el digestor utilizando un intercambiador de calor externo.

La velocidad de agitación ha resultado ser un factor que influye en la producción de gas. Se ha comprobado que altas velocidades resultan ser perjudiciales ya que pueden romper los agregados bacterianos entre las bacterias productoras de hidrógeno y las que lo consumen, y los flóculos formados. En un digestor de lodos de aguas residuales (Stafford, 1982), velocidades de agitación comprendidas entre 140 y 1000 rpm no afectaron sensiblemente a la producción de gas. Sin embargo cuando la

velocidad era superior se observó una reducción de la cantidad de gas obtenido

Tiempo de retención

El tiempo medio de retención hidráulico (TRH) se calcula como el cociente entre el volumen del digestor y el caudal alimentado.

El tiempo de retención de sólidos (TRS) se define como el tiempo medio que el sustrato alimentado permanece en el digestor antes de ser eliminado como lodo digerido

En un reactor de mezcla perfecta, sin recirculación de sólidos, el TRH coincide con el TRS. Si existe recirculación de sólidos el TRS es mayor que el TRH

El tiempo de retención afecta a la velocidad de producción de gas. A igualdad del resto de condiciones, la eficacia de un proceso (% de sustrato alimentado convertido en biogás) aumenta con el tiempo de retención hasta un valor asintótico.

En la digestión anaerobia, como en otros procesos microbiológicos, la velocidad con que se generan los microorganismos es igual a la velocidad con que son eliminados del reactor cuando éste alcanza el régimen estacionario. Ello trae como consecuencia que el tiempo de residencia en un digestor de mezcla perfecta debe ser superior a un valor mínimo para que el proceso se desarrolle

Para el intervalo Mesófilo de temperaturas, los tiempos de retención óptimos varían dependiendo del tipo de digestor, de la degradabilidad del sustrato, de la temperatura y de los objetivos del tratamiento (producción máxima de metano o conversión completa del carbono orgánico y estabilización de los lodos digeridos.)

En estudios realizados sobre la influencia del tiempo de retención en procesos de fermentación de lodos a 35°C se observó que las bacterias fermentativas que degradan los hidratos de carbono y proteínas hasta ácidos grasos, crecen rápidamente incluso para tiempos de retención menores de un día; sin embargo la fermentación de los ácidos grasos no se produce hasta que el tiempo de retención es igual o superior a cinco días debido al lento crecimiento de las bacterias acetogénicas.

Carga volumétrica

La velocidad con que la materia orgánica (sustrato) es suministrada a los microorganismos que participan en la degradación del sustrato, es fundamental para poder mantener unas condiciones estables en la digestión. Se pueden aplicar diferentes cargas, alterando el caudal de alimentación que afecta al tiempo de residencia hidráulico en el digestor, o alterando la concentración de la materia orgánica en el sustrato alimentado. Cuando la carga aportada es excesiva se crea una inestabilidad en el digestor por la acumulación de los ácidos grasos volátiles.

La concentración de la materia orgánica puede ser determinada como Demanda Química de Oxígeno (mg O₂/L), como Sólidos Volátiles (g/L) y menos frecuentemente como Demanda Biológica de Oxígeno, Sólidos Totales ó Carbono Orgánico Total.

Habitualmente se define la carga volumétrica como la cantidad de materia orgánica introducida en el digestor por unidad de volumen y tiempo (día); no obstante también se puede utilizar la carga volumétrica eliminada, que sería la cantidad de materia orgánica eliminada por unidad de volumen de digestor y tiempo.

La D .Q .O. Es el mejor parámetro para expresar la cantidad de materia orgánica, químicamente oxidable, contenida en el sustrato, pero presenta

la desventaja de que no da una idea de la cantidad de materia que puede ser no biodegradable.

La producción de gas por unidad de volumen de digestor aumenta al mismo tiempo que la carga volumétrica, hasta un cierto nivel. Si la carga es baja, la población bacteriana del digestor reduce su actividad metabólica por la limitación del sustrato, y la producción de metano también se reduce. Si se aumenta la carga excesivamente, la concentración de ácidos aumenta, y puede paralizarse la producción de gas.

Contenido en sólidos volátiles en suspensión. Cálculo de la biomasa

La determinación de la cantidad de biomasa presente en un determinado material es muy difícil. No existe un método único, y universal para todos los tipos de fermentaciones, sino que se han desarrollado una serie de métodos de medida, que son aplicables según los casos.

Los factores que influyen a la hora de seleccionar el método adecuado son los siguientes:

- Propiedades de la biomasa: sus características filamentosas o particuladas, su facilidad de separación del medio de cultivo y su velocidad de crecimiento.
- Propiedades del medio de cultivo: viscosidad, color, presencia de sólidos o de materia disuelta capaz de reaccionar de la misma manera que la biomasa en el proceso de medida, y la presencia de productos almacenados en la biomasa.
- Precisión, sensibilidad y rapidez de medida que se necesiten.

Los métodos de medida más utilizados generalmente, se pueden clasificar en tres grandes categorías:

a) Métodos directos de medida del número de células: recuento directo al microscopio, recuento por formación de colonias, recuento automático de células y el método del "Most Probable Number" (M.P.N.)

b) Métodos directos de medida de la masa celular total: medida de la masa celular seca y húmeda, medida de la turbidez y el método de medida de la masa celular por centrifugación

c) Métodos indirectos de medida de la masa celular. Se utilizan cuando hay un importante contenido en sólidos no celulares, cuando no se dispone de muestras representativas del contenido de todo el digestor o cuando no hay un método directo válido. El fundamento de estos métodos es la medida de un nutriente, de un producto o de un componente celular. La variación o existencia de cualquiera de ellos está relacionada estequiométricamente con la cantidad de biomasa presente en el digestor.

En los procesos de digestión anaerobia los métodos más utilizados son los siguientes:

- medida de la actividad de deshidrogenasa.
- medida del factor F420
- medida del DNA.

16.1.2. Tratamiento biológico - aerobio

El proceso de lodos activos representa la más amplia y usada tecnología para el tratamiento de las aguas. Las plantas de lodos activos pueden ser encontradas en diferentes condiciones climáticas, desde los trópicos hasta las regiones polares, a nivel del mar (plantas dentro de embarcaciones) hasta en montañas de gran altura.

La invención de este proceso está conectada con el esfuerzo de ingenieros americanos e ingleses en el siglo XX, por intensificar la purificación de las aguas con sistemas de película fija. Los experimentos con agua residual aireada no produjeron ningún resultado hasta que en mayo de 1914, Arden y Lockett introdujeron la reutilización de material suspendido al período de aireación. Este material en suspensión llamada *lodos activos* era en efecto la biomasa responsable de la eficiencia del proceso y la intensidad del proceso de depuración de las aguas residuales. La reutilización de la biomasa es considerada la principal y más destacada característica del proceso de lodos activos (Warner, 1994).

Descripción del proceso

La depuración del agua residual a través de este proceso consiste en generar condiciones favorables para el cultivo y desarrollo de una colonia bacteriana dispersa en forma de flóculos denominados fangos activos o lodos activos en un estanque agitado y aireado, que será alimentado en forma continua o discontinua por aguas residuales que en la mayor parte de los casos tienen un alto contenido de materia orgánica (Cisterna, 2003).

El agua residual ingresa al estanque de aireación o reactor biológico y entra en contacto con la biomasa presente en él y se produce una mezcla, formando así lo que se denomina *licor de mezcla*.

Es necesario que el licor de mezcla sea homogéneo para que se produzca la interacción entre la colonia bacteriana y el agua residual, lo que se logra con la agitación del licor. Esto contribuye a evitar la aparición de zonas de depositación y cortocircuitos en el reactor.

La aireación se lleva a cabo para abastecer de oxígeno a las bacterias depuradoras, ya que su metabolismo requiere de éste para lograr el proceso de depuración del agua.

Para mantener un ambiente aeróbico en el reactor biológico, se usan equipos difusores o aireadores mecánicos que son los que inyectan el aire y a la vez producen la homogenización de la mezcla.

Para que el proceso bioquímico de depuración se produzca correctamente es necesario que el agua residual permanezca un tiempo determinado en el estanque de aireación, luego del cual el licor de mezcla que contiene tanto células nuevas como viejas es conducido al sedimentador secundario o clarificador, donde la biomasa es separada del agua residual tratada.

La biomasa también conocida como *lodo* o *fango* es extraída del sedimentador secundario. Una parte de ella es conducida al tanque de aireación mediante el proceso denominado recirculación que tiene por objetivo mantener la concentración de biomasa requerida en el reactor y la otra parte es purgada del sistema y conducida a la línea de lodos.

En la figura 1 se observa el modelo del sistema de lodos activos

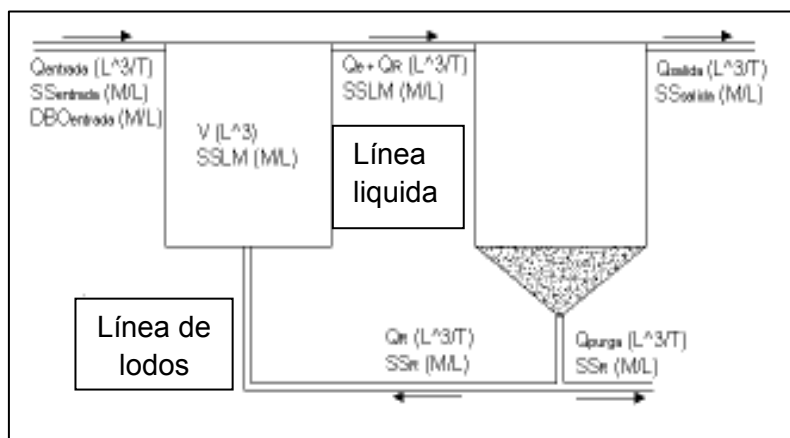


Figura 1, Esquema de un sistema de lodos activos

Química y microbiología del proceso

La degradación de los contaminantes orgánicos precisa de una comunidad biológica importante, bacterias, rotíferos, protozoos, etc. Por esta razón es necesaria la comprensión de las actividades bioquímicas de estos microorganismos que participan en la depuración de las aguas y en la elección de los procesos en que ellos forman parte.

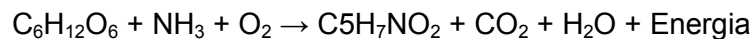
Bioquímica de lodos activos

Los microorganismos encargados de la depuración de las aguas residuales necesitan una fuente de energía para su metabolismo. En los sistemas acuáticos (lodos activos) existen tres clases de fuentes de energía o sustrato. Primero está la **luz** que es la principal fuente de energía de microorganismos fototróficos, en segundo lugar los **compuestos inorgánicos**, donde la energía proveniente de estos compuestos es generada por la oxidación de formas reducidas de elementos tales como el nitrógeno, azufre, fierro y manganeso, en donde son microorganismos quimiolitotróficos los que obtienen la energía de esta forma. En tercer lugar están los **compuestos orgánicos**, donde la energía es producida por la oxidación bioquímica de carbono orgánico a

dióxido de carbono. Los microorganismos que realizan estas reacciones son llamados quimioorganotróficos.

En suma a la energía los microorganismos necesitan una fuente de carbono para la síntesis de nueva biomasa. El carbono requerido puede ser metabolizado en varias formas, como carbono inorgánico, carbono orgánico, fuentes internas y externas de sustrato y carbono.

La principal reacción que se produce en el proceso de depuración de las aguas residuales es:



Donde la materia orgánica es simplificada como glucosa $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, mientras la biomasa es $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$.

Además de necesitar una fuente de carbono y de energía los microorganismos necesitan nutrientes como material de construcción para la síntesis celular, la formación de proteínas y ácidos nucleicos. En la ingeniería de aguas residuales sólo dos elementos son considerados como nutrientes, el nitrógeno y el fósforo.

De esta manera, cuando hablamos de nutrientes nos referimos sólo a estos dos elementos. La razón es que ambos elementos son considerados nutrientes limitantes ya que son responsables directos de la eutrofización de aguas superficiales. En el cultivo de bacterias, el nitrógeno, fósforo y sulfuros son llamados macronutrientes porque ellos son los que contienen principalmente la biomasa. Elementos como Fe, Ca, Mg, K, Mo, Zn y Co pueden ser clasificados como micronutrientes, dado que la fracción de masa de esos elementos en la biomasa es despreciable, no obstante pueden jugar un rol importante en el metabolismo celular.

Si observamos la ecuación química mundialmente aceptada para la biomasa ($C_5H_7NO_2$), observamos que contiene un 12.38 % de nitrógeno. Se asume que la cantidad de fósforo requerido para las actividades celulares es un 20 % de la masa de nitrógeno, entonces la fórmula de la biomasa vendrá a ser $C_5H_7NO_2P_{0.074}$. Así la razón requerida de nutrientes para una correcta biodegradación de la contaminación carbonosa será 100:5:1 para aguas residuales urbanas.

Metabolismo de compuestos carbonáceos

El metabolismo de compuestos carbonáceos es la mayor fuente de energía en el proceso de lodos activos. Por lo tanto los microorganismos conectados con este metabolismo van a dominar la biocenosis en sistemas de lodos activos. Sin embargo los sustratos orgánicos de las aguas residuales urbanas están presentes en formas que difieren en la accesibilidad de los microorganismos. La mayoría de los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales pueden ser oxidados biológicamente, solo unos pocos compuestos aromáticos e hidrocarburos son resistentes a la biodegradación. Se debe recordar que biodegradación significa que un determinado compuesto puede ser bioquímicamente modificado por enzimas y puede ser utilizado en otra forma como sustrato y fuente de carbono.

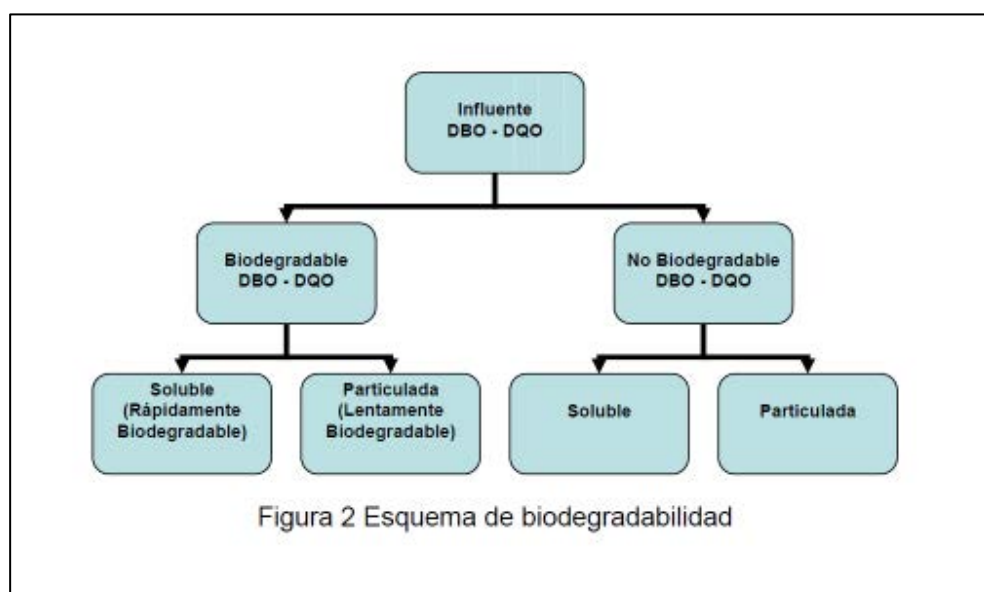
Las razones por las cuales un compuesto no es biodegradable son muchas, las principales son:

- El compuesto es tóxico para los microorganismos.
- Hay barreras para enzimas en la molécula del compuesto no biodegradable.

Ahora bien, no debería mantenerse esta postura frente a ciertos compuestos, es decir la biomasa no está acostumbrada a esos compuestos y bajo un periodo de aclimatación casi no deberían existir

compuestos orgánicos no biodegradables o mejor dicho, compuestos considerados como no biodegradables pueden ser degradados biológicamente.

Si se observa la figura 2 observamos la clasificación de los compuestos de acuerdo a la biodegradabilidad y al estado en que se presenta en el agua residual.



· Sustratos rápidamente biodegradable

Los sustratos rápidamente biodegradables son los compuestos orgánicos con moléculas simples y pequeñas que pueden ser directamente metabolizadas dentro de las células. Típicos ejemplos son monómeros y carbohidratos, ácidos grasos, aminoácidos y alcoholes.

Estos compuestos orgánicos rápidamente biodegradables son utilizados a tasas extremadamente altas bajo condiciones de cultivo óxicas y anóxicas.

- Sustratos rápidamente hidrolizables

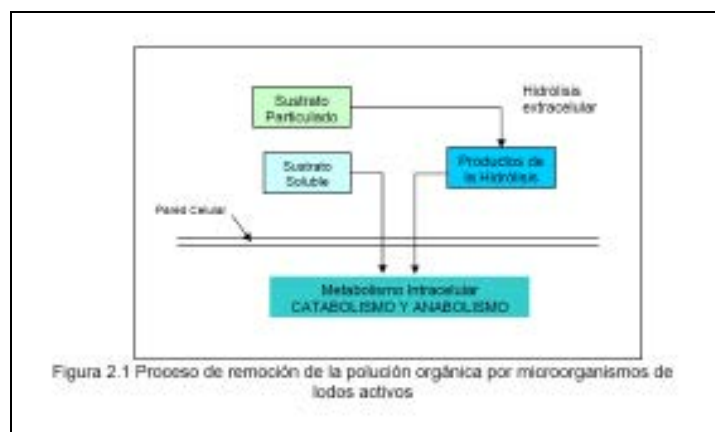
Sustratos rápidamente hidrolizables pueden llegar a formar el 15 al 25% del total de DQO en aguas residuales urbanas. Estos compuestos están presentes en forma disuelta y sólidos coloidales, aunque algunos sólidos suspendidos también pueden ser hidrolizados rápidamente. Tanto así que la hidrólisis puede terminar en unas pocas horas, por lo tanto importantes cambios en el agua residual ocurren durante el transporte de ellas en el alcantarillado.

- Sustratos lentamente hidrolizables

En las aguas residuales la mayoría de los compuestos orgánicos están presentes en una forma que no está disponible inmediatamente para el metabolismo celular interno. Estos compuestos están caracterizados por el alto peso molecular y la complejidad de las moléculas. Por esto deben ser hidrolizados por enzimas extracelulares.

Ambos sustratos, rápida y lentamente hidrolizables son referidos como sustratos particulados lentamente biodegradable. En aguas residuales urbanas el 75% de los sustratos utilizables y fuentes de carbono están presentes en esta forma.

El proceso de remoción de la contaminación orgánica a nivel celular se puede apreciar en la figura 2.1.



Metabolismo del nitrógeno

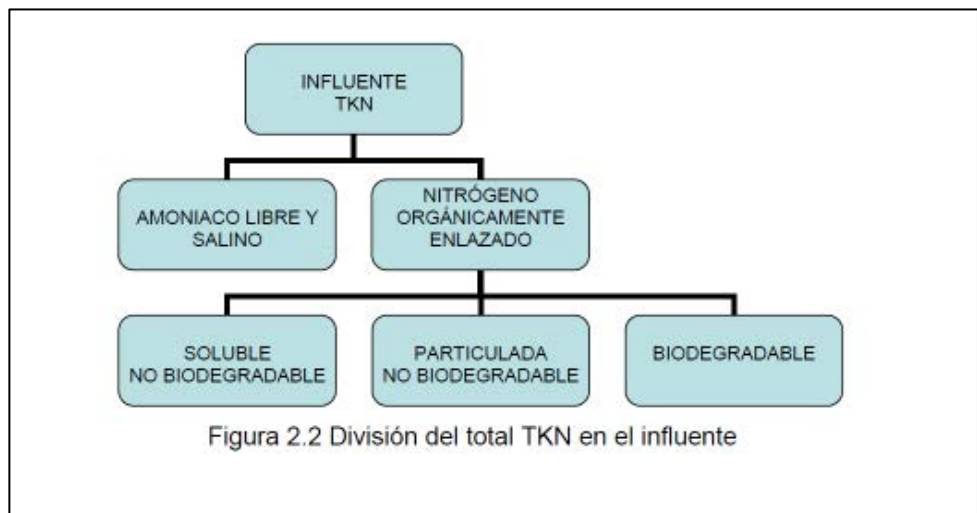
El nitrógeno es un elemento indispensable para los microorganismos, ya que es básico para la síntesis de proteínas, que son el principal componente de las células. Por lo tanto la ausencia de éstas provocará una alteración grave del metabolismo de los microorganismos. El nitrógeno puede formar parte de una gran variedad de compuestos químicos. El nitrógeno atómico puede ser encontrado en diferentes estados de oxidación, desde -3 en el amoníaco y compuestos aminoorgánicos a +5 en nitratos. En aguas residuales urbanas el nitrógeno está presente en dos formas básicas.

✓ Nitrógeno inorgánico: El nitrógeno inorgánico puede ser encontrado en tres formas en medioambiente acuáticos bajo concentraciones importantes. Como nitrógeno reducido en amoníaco y nitrógeno oxidado en nitrito y nitrato. Como resultado de reducciones en la mayoría de las alcantarillas, las aguas residuales en la entrada de las plantas de tratamiento contienen cantidades despreciables de formas oxidadas de nitrógeno inorgánico. El nitrógeno amoniacal existe en medioambientes acuáticos en dos formas, amoníaco gaseoso disuelto, NH_3 , y amoníaco ionizado, NH_4^+ .

La proporción entre las concentraciones de ambas formas de nitrógeno amoniacal depende del pH y la temperatura del agua residual. En el rango de temperatura de 10 a 20 °C y pH de 7 a 8.5, que son valores característicos de aguas residuales municipales, alrededor del 95% del nitrógeno reducido está presente en la forma ionizada NH_4^+ . Ésta es una característica muy importante, ya que el amoníaco gaseoso, NH_3 , es mucho más tóxico para los microorganismos que el ion amoníaco NH_4^+ .

✓ Nitrógeno enlazado orgánicamente: Con la excepción de organonitrosos y compuestos nitrogenados que provienen de fuentes industriales, el nitrógeno enlazado orgánicamente en las aguas residuales urbanas está presente mayoritariamente en los grupos aminos - NH₂. El nitrógeno en grupos aminos está en el mismo estado de oxidación que el nitrógeno amoniacal.

La suma de ambas formas de nitrógeno, orgánico e inorgánico, es frecuentemente llamado Nitrógeno Total Kjeldahl TKN. La división del total TKN del influente en aguas residuales urbanas respecto a su biodegradabilidad se muestra en la figura 2.2.



Degradación de compuestos nitrogenados

En la biodegradación el nitrógeno orgánico es convertido desde grupos aminos a nitrógeno amoniacal por reacciones hidrolíticas. El estado de oxidación del nitrógeno no cambia en este proceso. El proceso que libera amoniaco como resultante de la degradación de compuestos organonitrogenados es llamado amonificación.

La amonificación comienza con la depolimerización de moléculas grandes por medio de enzimas proteolíticas extracelulares. Los aminoácidos formados por las reacciones proteolíticas son transportadas dentro de las células y más adelante degradadas por enzimas en la deaminación intracelular. Existen varios tipos de reacciones de deaminación que las desarrollan en lo posible células microbiales.

Posteriormente al amoniaco, la deaminación forma diferentes compuestos orgánicos de la fracción carbónica de los aminoácidos. Dependiendo de las condiciones de cultivo, las enzimas de deaminación y el tipo de aminoácidos, los productos orgánicos de la deaminación son alcoholes, ácidos carboxílicos (saturados y no saturados) y ácidos grasos. Mientras los productos orgánicos son catabolizados a dióxido de carbono y agua en condiciones óxicas y anóxicas o entran a una fase de fermentación bajo condiciones anaeróbicas, donde el nitrógeno es liberado de las células y se hace disponible por la nitrificación.

La nitrificación es el proceso en que se convierte el amoniaco (consume oxígeno en el tanque de aireación) a nitrito por medio de bacterias nitrificadoras y posteriormente se transforma de nitrito a nitrato. En la figura 2.6 se aprecian las distintas transformaciones que sufre el nitrógeno en los procesos de tratamiento biológico.

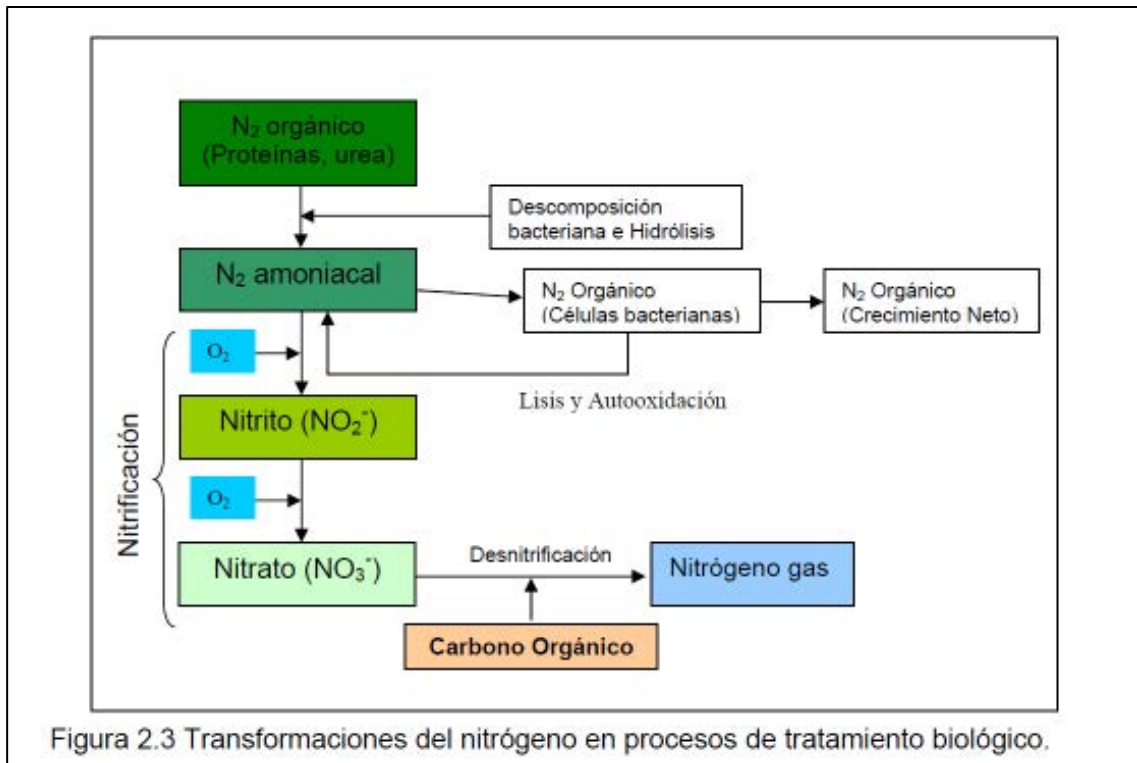


Figura 2.3 Transformaciones del nitrógeno en procesos de tratamiento biológico.

Metabolismo del fósforo

El fósforo se presenta en la forma de fosfatos originados en las aguas residuales urbanas debido a la degradación de sustancias orgánicas con contenido de fósforo y por la hidrólisis de polifosfatos comúnmente usados en detergentes biodegradables.

En los sistemas de lodos activos tradicionales el fósforo proveniente de las aguas residuales es utilizado sólo para la síntesis de nuevos compuestos de la biomasa. Cuando el fósforo se encuentra en exceso es almacenado por las células en forma de polifosfatos en contrapeso con iones Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{+} . Los polifosfatos junto a materiales proteínicos y lipídicos forman gránulos intracelulares llamados volutina. Esos gránulos son metacromáticos y cambian el color de ciertos elementos traza. El principal propósito del almacenaje de los polifosfatos en la mayoría de las bacterias es que éste sirve como fuente de fósforo en períodos de escasez.

pH y temperatura

El efecto del pH claramente afecta la composición de la biocenosis de los lodos activos. Los microorganismos comunes de los lodos activos son afectados por valores de pH menores a 6,0 a 6,5 y más altos que 8.5.

No obstante hay que considerar que un cambio de pH en una unidad significa el hecho de que la concentración molar de protones de H⁺ ha cambiado en un orden de magnitud, lo cual es un cambio importante.

Por otro lado la temperatura es uno de los parámetros más controversiales, ya que los efectos que causa sobre los lodos son:

- Incrementos importantes de la temperatura afectan la solubilidad del oxígeno en el licor de mezcla.
- Incrementos de la temperatura incrementan la tasa metabólica de los procesos consumiendo el oxígeno disuelto.

Microbiología de lodos activos

El proceso de lodos activos está constituido por un ecosistema artificial que está bajo la continua influencia de factores bióticos y abióticos. Este proceso es diseñado para cumplir con bajas concentraciones de compuestos orgánicos y nutrientes inorgánicos.

Por esto los lodos activos están cultivados bajo condiciones límites. Este hecho lleva a una fuerte competencia entre los grupos individuales de microorganismos, y sólo los mejores adaptados o aclimatados a las condiciones de la planta ganarán esta competencia. Por otra parte, como las condiciones de operación, de carga, etc. no son constantes en las plantas, los ganadores irán cambiando. De esta manera, la composición

de lodos activos no será constante, y reflejará los efectos que tendrá la planta por las condiciones a las que fue expuesta (Wanner, 1994).

Otro rasgo característico de la mezcla de cultivo llamada lodos activos es que los microorganismos individuales no son separados del medio de cultivo, es decir, crecen como un agregado o sea como flóculos. La habilidad de los microorganismos de lodos activos para flocular es la propiedad más importante de los lodos activos, porque permite la sedimentación gravitacional. Si los microorganismos no flocularan, quedarían como sólidos biológicos en suspensión y no se cumpliría con el propósito del proceso.

Los microorganismos que se pueden aglomerar o formar flóculos o ser fijados dentro de flóculos tienen las siguientes ventajas sobre los microorganismos que crecen libremente:

- Los microorganismos en forma de flóculos son retenidos por el sistema de lodos activos, mientras las células de crecimiento libre son sacados fuera del sistema.
- El crecimiento en flóculos protege la mayoría de las células microbianas de los depredadores.

Los microorganismos de los lodos activos pueden ser divididos en dos grandes grupos:

- a. Descomponedores:** éstos son responsables de la degradación bioquímica de sustancias en polución en las aguas residuales. Este grupo está representado mayormente por bacterias, hongos y cyanophyta incolora.
- b. Consumidores:** éstos utilizan como sustratos a bacterias y otras células microbianas. Este grupo pertenece a la microfauna del lodo activo y consiste de protozoo fagotrófico y metazoo microscópico.

Alrededor del 95% de la población microbiana de los lodos activos está formada por descomponedores, especialmente bacterias. Esto indica el rol de la microfauna en la remoción de la contaminación orgánica y nutrientes es sólo marginal.

Microorganismos componentes de los lodos activos

Las bacterias forman el más numeroso y más importante grupo de microorganismos de los lodos activos. Ellas pueden ser clasificadas de diferentes maneras, pero la explicación debería estar basada en las propiedades de su metabolismo.

En la tabla 2 se pueden distinguir grupos de microorganismos clasificados por su forma requerida de carbono, reacciones de suministro de energía y aceptor de electrones.

Tabla 2 Grupos metabólicos de microorganismos de lodos activos
FF: microorganismo con forma de floc
FIL: microorganismo filamentoso

Grupo Metabólico	Forma requerida de Carbono	Fuente de Energía	Aceptor de electrones	Forma de crecimiento
Organotróficos	Orgánico	Oxidación aeróbica	O ₂	FF, FIL
Fermentación Anaeróbica	Orgánico	Fermentación	C orgánico	FF
Denitrificadoras	Orgánico	Oxidación anaeróbica	NO ₃	FF, FIL
Nitrificadoras	Inorgánico	Oxidación aeróbica NH ₄	O ₂	adheridas
Poly-P	Orgánico	PP y OSP	-/O ₂	Clusters, FIL
S Oxidación	Inorgánico	Oxidación aeróbica	O ₂	FIL, FF
SO ₄ reductoras	Orgánico	Oxidación Anaeróbica	SO ₄ - S	FF

- **Bacteria organotrófica aeróbica**

Esta bacteria es completamente responsable de la remoción de sustancias orgánicas de aguas residuales, son tanto formadoras de flóculos como filamentosas. Ellas están equipadas con un aparato enzimático que les permite utilizar más rápidamente los sustratos solubles biodegradables.

El género bacillus, Pseudomonas, Micrococcus, Alcalígenes, Moraxella y Flavobacteria son las más calificadas para degradar sustratos orgánicos complejos por exo y endoenzimas. Por otra parte, bacterias especializadas para sustratos específicos pueden ser concentradas en lodos activos después de la aclimatación del medio de cultivo al agua residual abastecida.

Tales bacterias especializadas pueden ser adaptadas a sustratos pobremente degradables como grandes cadenas de grasas, hidrocarburos, fenoles y compuestos orgánicos heterocíclicos.

- **Bacteria fermentadora**

En todos los procesos de fermentación, la conversión de compuestos orgánicos a ácidos grasos volátiles, especialmente ácido acético, es extremadamente importante en los sistemas biológicos de remoción de fósforo. Por esto la presencia de aeromonas punctata y del género Pasteurella y Alicanígenes es destacada en la literatura como requisito para la exitosa remoción del fósforo. Los procesos de fermentación ocurren de forma anaeróbica, de tal manera, que en procesos convencionales de lodos activos operados a baja carga en reactores de mezcla completa, la fermentación es improbable.

- **Nitrificadoras**

Son las bacterias responsables del proceso de nitrificación donde el nitrito es convertido en presencia de oxígeno en nitrato, en el proceso de transformación del nitrógeno. Las principales bacterias nitrificadoras son quimiolitotróficas y las más importantes son: Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrosospira, Nitrosocystis para la oxidación del amoníaco y Nitrobacter, Nitrospina y Nitrococcus para la oxidación final de nitrito a nitrato.

- **Denitrificadoras (Microorganismos organotróficos anóxicas)**

Las bacterias denitrificadoras son las encargadas de la segunda etapa de eliminación del nitrógeno llamada denitrificación donde el nitrógeno en forma de nitrato es transformado a nitrógeno gaseoso bajo condiciones anóxicas. Las principales bacterias que llevan a cabo este proceso son heterótrofas y entre otras son: Achromobacter, Aerobacter, Alcaligenes, Bacillus, Brevibacterium, Flavobacterium, Lactobacillus, Micrococcus, Proteus, Pseudomonas y Spirillum.

- **Microfauna**

La microfauna de los lodos activos consiste en los siguientes grupos de protozoos y metazoos: Los protozoos flagelados, rizados, ciliados y los metazoos nemátodos, rotíferos.

La función que cumplen en el sistema de lodos activos es incrementar la floculación de las bacterias, remueven las bacterias dispersas por adsorción y predación, incrementan la carga másica porque reducen el número de bacterias como resultado de la predación y absorben directamente sustratos.

- **Metabolismo endógeno**

Corresponde a la disminución de la masa celular debido a la muerte y depredación de las células presentes en el proceso. También considera que en los sistemas bacterianos la distribución de edades de las células es tal que no todas las células del sistema están en la fase de crecimiento exponencial. Por esta razón se debe corregir la expresión de la tasa de crecimiento para considerar la energía necesaria para el mantenimiento celular. La expresión que representa el decaimiento endógeno es:

$$rd = - kd * X \text{ (Metcalf and Eddy, 1995)}$$

Donde:

rd: descomposición endógena [$M * L^{-3} * T^{-1}$]

kd : coeficiente de descomposición endógena, [T^{-1}]

X : concentración de células, [$M * L^{-3}$]

- **Oxígeno Disuelto y Transferencia**

El tratamiento de lodos activos se realiza por naturaleza en condiciones aeróbicas.

Por lo tanto la transferencia del oxígeno al licor de mezcla y la cantidad de éste disuelto en el licor de mezcla es de suma importancia para el correcto desarrollo del proceso.

El oxígeno como insumo limitante debe estar disponible en el reactor biológico en una cantidad mayor o igual a la demanda generada por las aguas residuales. Como mínimo se recomienda por lo menos 2 mg/l de oxígeno disuelto. El objetivo de la transferencia de oxígeno es que interactúe de manera simultánea con las aguas residuales y el licor de mezcla debido a que este último lleva a cabo el proceso de depuración, lo cual implica el cumplimiento de tres etapas en este proceso:

- a) Poner en contacto el oxígeno con las aguas residuales.
- b) Transferir el oxígeno a través de la interfase gas-líquido para disolverlo en el líquido.
- c) Transferir el oxígeno disuelto a través del líquido hasta los microorganismos.

La transferencia de oxígeno va a tener como fuerza impulsora la diferencia de actividad que viene dada por la diferencia de concentración de oxígeno en la interfase líquido-gas y en la fase líquida. Además va a tener un coeficiente de transferencia de materia. Como la solubilidad del oxígeno en el agua es muy baja, se supone que el proceso total está controlado por la segunda etapa (Winkler, 1987).

Efectos de la temperatura

Durante el proceso bioquímico de depuración de la materia orgánica, las constantes de velocidad de la reacción biológica son fuertemente dependientes de la temperatura. La temperatura no sólo influye en las actividades metabólicas de la población microbiana, sino que también tiene un efecto sobre factores tales como la transferencia de gases y sobre las características de sedimentación de los sólidos biológicos. El conjunto de estos factores sobre la velocidad de reacción de un proceso biológico se puede expresar de la siguiente manera:

$$r_T = r_{20} \cdot \theta^{(T-20)} \quad (\text{Metcalf and Eddy, 1995})$$

Donde:

r_T : velocidad de reacción a T °C

r_{20} : velocidad de reacción a 20 °C

θ : coeficiente de actividad – temperatura

T : temperatura en °C

Sedimentación secundaria

El proceso de remoción de la contaminación orgánica del agua residual es de vital importancia para el tratamiento biológico tanto como lo es el proceso de sedimentación o separación de la biomasa del clarificado, ya que si este último no ocurre, sólo se habrá transformado la contaminación carbonosa en contaminación biológica y la calidad del efluente se verá afectada sustancialmente.

El proceso de sedimentación gravitacional muchas veces se transforma en una etapa muy engorrosa, mucho más que la remoción de la polución.

El rol del sedimentador secundario es:

- Separar el lodo activo del agua residual tratada.
- Espesar el lodo activo separado tal que el agua contenida en exceso y el caudal de recirculación sean minimizados.

La máxima eficiencia en la separación del lodo activo del agua residual tratada es necesaria para proteger los cursos receptores de la polución adicional de los efluentes secundarios (post tratamiento biológicos). Los sólidos en suspensión que se escapan del sedimentador secundario no están formados por partículas inertes sino por flóculos de microorganismos vivientes de pequeño tamaño que no alcanzaron a sedimentar.

Esos microorganismos respiran y consumen el oxígeno disuelto de los cuerpos receptores.

Es por esto que requieren especial atención los problemas operativos generados en las plantas de lodos activos. Cabe señalar que no necesariamente son causa del operador sino a cambios en los

parámetros característicos de las aguas residuales o la biocenosis del lodo activo.

Tipos de sedimentación

En la teoría de sedimentación se describen cuatro tipos de sedimentación, - la sedimentación de partículas discretas, sedimentación floculenta, sedimentación zonal o retardada y la sedimentación por compresión - de los cuales sólo tres son aplicables a los lodos activos o mejor dicho la sedimentación de partículas discretas no es relevante en los lodos activos. Se describen las tres aplicables a los sistemas de lodos activos.

- **Sedimentación Floculenta**

Este tipo de sedimentación o etapa de la sedimentación ocurre para partículas que no se comportan como partículas discretas. Por el contrario, tienden a agregarse unas a otras durante el proceso de sedimentación. Es decir se produce la coagulación o coalescencia, o mejor dicho la masa de partículas va aumentando y se deposita a mayor velocidad. Esta parte de la sedimentación ocurre en la parte superior del sedimentador

- **Sedimentación Zonal o Retardada**

En esta etapa de la sedimentación debido a las altas concentraciones de sólidos, el líquido clarificado tiende a ascender por los espacios intersticiales existentes entre las partículas. Como consecuencia de ello, los sólidos que entran en contacto tienden a sedimentar en zonas o capas, manteniendo entre ellas las mismas posiciones relativas. A medida que van sedimentando las partículas se produce una zona relativamente clara por encima de la región de sedimentación.

En esta etapa la velocidad de sedimentación es función de la concentración de sólidos y de sus características.

- **Sedimentación por Compresión**

Posterior a las dos etapas descritas, a medida que avanza el proceso de sedimentación comienza a formarse en el fondo del sedimentador una capa de partículas comprimidas. En esta región las partículas forman una estructura en que existe contacto entre ellas. En esta fase los flóculos se comprimen y la sedimentación sólo se produce por la compresión de las partículas a medida que siguen sedimentando partículas en la parte superior del sedimentador.

En la figura 2.5 se ilustran las fases de sedimentación en un cilindro para una concentración inicial C_0 y la curva de sedimentación Altura v/s Tiempo.

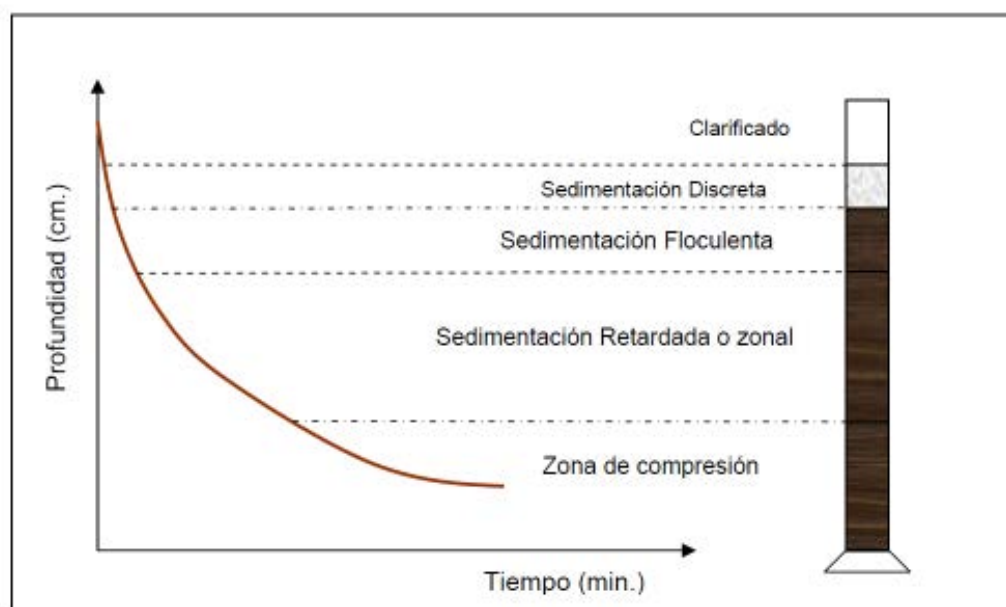


Figura 2.5 Tipos de sedimentación de lodos activos

Formación de flóculos de lodos activos

La formación de flóculos en los lodos activos es muy importante en el proceso de sedimentación, dado que si los microorganismos no flocculan, difícilmente sedimentarán gravitacionalmente como partículas discretas.

Los flóculos de lodos activos están formados por varias especies de microorganismos llamados formadores de floc (floc-formers).

Estos formadores de flóculos están representados principalmente por el género de las Pseudomonas, Achromobacter, Alcaligenes, Citromonas, Flaviobacterium, y Zoogloea. Éstos y muchos otros quimiorganotróficos son capaces de convertir sustratos orgánicos en materia extracelular específico llamado glycocalyx.

El glycocalyx es un polisacárido que contiene una membrana que rodea la membrana extracelular de células Gram negativas y el peptidoglycan en células Gram positivas. Dado que el glycocalyx es un polímero orgánico, éste incrementa la viscosidad del agua, lo que ayuda a las células individuales a formar el medio ambiente necesario para la actividad de las enzimas extracelulares. Este polímero viscoso habilita la unión de células individuales o la unión a agregados de un tamaño mayor.

En suma, la floculación es producida gracias a la existencia de este polímero en el licor de mezcla. Sin embargo dependiendo de su concentración dará lugar a una buena o mala sedimentación.