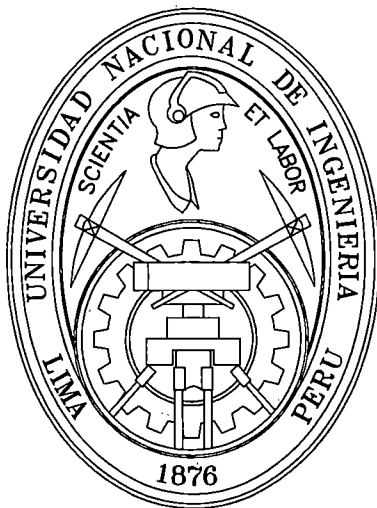


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL



**“COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA ANAEROBIO DE
FLUJO ASCENDENTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE UN MATADERO”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO

PRESENTADO POR:
**BAQUERIZO NOLE FIORELLA MARIEL
FLORES MORI PAOLA ISABEL**

LIMA, PERÚ

2011

Digitalizado por:

Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse

**A mis padres, por el amor y apoyo incondicional
que siempre me han brindado.**

A mi hermana, por su ejemplo y motivación.

FIGRELLA BAQUERIZO

A mis padres, por ser los guías en el camino de mi vida

A mi hermana Karol, por ser mi ejemplo a seguir; y

**A mi hermanita Patricia, por darme muchos
momentos felices**

PAOLA FLORES

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestras familias, por habernos apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que nos ha permitido culminar este arduo trabajo.

Gracias a nuestro asesor de tesis, el Ing. Otto Rosasco Gerkes, por su tiempo, apoyo así como por la sabiduría que nos transmitió durante el desarrollo de nuestra formación profesional y especialmente por haber guiado el desarrollo de este trabajo y llegar a la culminación del mismo.

Del laboratorio N° 20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería, muy especialmente a la Sra. Margarita por que con sus palabras de aliento nos motivo a culminar esta tesis, a la Srta. Pilar y al Sr. Ricardo Jara por su cooperación y apoyo durante toda la tesis.

A la Universidad Nacional de Ingeniería y en especial a la Facultad de Ingeniería Ambiental porque nos dieron la oportunidad de formar parte de ellas. ¡Gracias!

RESUMEN

El agua residual proveniente de mataderos o camales, contiene un alto grado de contaminación orgánica, lo cual constituye un problema de índole ambiental, así como de supervivencia de esta industria de no cumplir con los requerimientos legales vigentes.

El objetivo de la presente tesis es determinar experimentalmente la eficiencia de los procesos anaerobios para su aplicación como tratamientos primarios, los que ayuden a bajar la contaminación inicial de estas aguas, para luego ser tratados con procesos más eficientes o de pulimento.

Se utilizó agua residual proveniente de un camal de la ciudad de Lima, sometido a una separación de sólidos en unidades de tamizado preliminar. El procedimiento consistió en utilizar reactores anaerobios a escala laboratorio, inoculados con lodo proveniente de una planta de aguas residuales domésticas, instalados en el Laboratorio N° 20 de la FIA. Para la eliminación de los sólidos inorgánicos remanentes en el afluente utilizado, se implementó un sistema de sedimentación con un tiempo de retención de 4h. Los reactores anaerobios fueron alimentados con valores entre 600 y 2,500mg/L de DBO_5 , 1,700 y 3,700mg/L de DQO, 4,400 y 7,300mg/L de ST; obteniéndose remociones de hasta 50% de remoción. Los caudales de alimentación a los reactores variaron desde 10mL/min, hasta 18mL/min. El Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) de los reactores fue de 8h.

Los antecedentes obtenidos en este estudio permiten concluir que a través de la aplicación de un tratamiento anaerobio al agua residual de camales, es factible obtener efluentes con menor grado de contaminación, traducándose esto en ahorros en los gastos de operación y mantenimiento de los subsiguientes procesos de tratamiento.

I.	INTRODUCCION.....	8
1.1	ANTECEDENTES	9
1.2	PROBLEMA A INVESTIGAR.....	12
1.3	JUSTIFICACION	13
II.	OBJETIVOS.....	14
2.1	OBJETIVO PRINCIPAL	14
2.2	OBJETIVOS SECUNDARIOS.....	14
III.	MARCO TEORICO.....	15
3.1	DIGESTION ANAEROBIA	15
3.1.1	PROCESO MICROBIOLÓGICO Y BIOQUÍMICO DE LA DIGESTION ANAEROBIA.....	15
3.1.2	FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE DIGESTION ANAEROBIA.....	26
3.2	REACTORES ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE.....	36
3.2.1	BALANCE DE MASA EN UN REACTOR UASB	40
3.2.2	PUESTA EN MARCHA DE UN REACTOR UASB	42
3.2.3	CONSIDERACIONES IMPORTANTES PARA EL ARRANQUE DE REACTORES UASB	44
3.2.4	INOCULACIÓN DEL REACTOR UASB.....	44
3.3	MEDICIÓN DE METANO	45
3.3.1	SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO DE LÍQUIDO	45
3.3.2	FACTOR DE CONVERSIÓN DE DQO PARA METANO.....	48
3.4	CAMALES.....	49
3.4.1	PROCESO DE BENEFICIO DEL GANADO.....	49
3.4.2	DESECHOS DE UN MATADERO	53
3.4.3	AGUAS RESIDUALES DE CAMALES	61
IV.	METODOLOGÍA	66

4.1	DESARROLLO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	66
4.1.1	UNIDAD DE ALMACENAMIENTO DE DESAGUE CRUDO	66
4.1.2	UNIDAD DE SEDIMENTACION	67
4.1.3	SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE FLUJO CONTINUO.....	68
4.1.4	CARACTERISTICAS DE LOS REACTORES ANAERÓBIOS	70
4.1.5	UNIDAD DE MEDICIÓN DE GAS	74
4.2	INOCULACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL LODO	76
4.2.1	INOCULACIÓN DE LODO	76
4.2.2	ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA	77
4.2.3	CARACTERIZACIÓN DEL LODO DE ARRANQUE	78
4.3	PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA A ESCALA	
	LABORATORIO.....	80
4.4	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA	81
4.4.1	OPERACIÓN DEL SISTEMA.....	81
4.4.1.1	Recojo de muestra (agua residual de camal):.....	82
4.4.1.2	Eliminación de sólidos sedimentables:.....	84
4.4.1.3	Recuperación y Caracterización de los Efluentes	86
4.4.1.4	Instalación y Puesta en Marcha de la Unidad de Medición de Gas	88
4.4.2	MANTENIMIENTO DE TODOS LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO.....	90
4.5	CARACTERIZACION DEL LODO DESPUES DEL PERIODO DE EVALUACION.....	94
4.5.1	SÓLIDOS TOTALES Y VOLATILES.....	94
4.5.2	COLIFORMES TOTALES Y FECALES	95
4.5.3	CULTIVO DE BACTERIAS EN AGAR PARA ANAEROBIOS SEGÚN BREWER.....	98
V.	RESULTADOS.....	102

5.1	DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO).....	102
5.2	DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO).....	105
5.3	SÓLIDOS	108
5.3.1	SÓLIDOS TOTALES.....	109
5.3.1.1	SÓLIDOS DISUELTOS.....	112
5.3.1.2	SÓLIDOS SUSPENDIDOS	115
5.3.2	SÓLIDOS VOLATILES.....	118
5.3.2.1	SÓLIDOS VOLATILES DISUELTOS.....	121
5.3.2.2	SÓLIDOS VOLATILES SUSPENDIDOS	124
5.4	NITROGENO TOTAL	127
5.5	FOSFORO TOTAL	129
5.6	pH Y TEMPERATURA	131
5.7	PRODUCCION DE BIOGAS EN EL REACTOR R1	135
5.8	CARACTERISTICAS DE BACTERIAS PROCEDENTES DE LODOS.....	136
5.9	COLIFORMES TOTALES Y FECALES DEL LODO FINAL	140
VI.	DISCUSIONES.....	143
6.1	RESPECTO AL SEDIMENTADOR	143
6.2	RESPECTO A LA UNIDAD DE ALMACENAMIENTO (CONGELADORA).....	143
6.3	RESPECTO A LOS REACTORES.....	144
6.4	RESPECTO AL FRASCO DE MARIOTTE	145
VII.	CONCLUSIONES.....	146
VIII.	RECOMENDACIONES	150
	ANEXOS	151

I. INTRODUCCION

El tratamiento de las aguas residuales provenientes de camales no es una prioridad para dicha industria en el país. Pocos camales en el Perú cuentan con algún tipo de tratamiento, y de estos, muchos menos con sistemas eficientes que aseguren la eliminación de los contaminantes. En su mayoría, los camales cuentan con sedimentadores colmatados que no reducen el alto contenido orgánico del agua residual obtenida. Esto ocasiona un problema de índole público, ya que la disposición final de estas aguas residuales puede darse en cuerpos de agua usados por poblaciones aledañas, o en sistemas de tratamiento no diseñados para tratar tan altas cargas orgánicas.

Para solucionar esta problemática, es necesaria la elección de tecnologías no solo eficientes, sino económicamente atractivas para la industria cárnica, ya que la aplicación de procesos inapropiados, los cuales demanden grandes cantidades de insumos químicos y por ende altos costos de operación, serán difícilmente considerados de implementar en los camales del país, los cuales están empezando a aplicar tecnologías de tratamiento para sus desechos.

Mundialmente, el tratamiento de aguas residuales de camales mediante reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA), es considerado una tecnología eficiente y económicamente viable, especialmente en Latinoamérica. Frente a los procesos aerobios, los tratamientos anaerobios presentan las ventajas de no necesitar aireación y de generar un biogás que puede ser recuperado y utilizado en la misma planta con finalidades energéticas, permitiendo en muchos casos la autonomía o autosuficiencia de las plantas de tratamiento. Otra ventaja es que la generación de lodos es menor, por lo que también se reducen costes en el tratamiento y vertido de los fangos.

La presente tesis se basa en el tratamiento primario del agua residual proveniente de un camal ubicado en Lima, mediante la aplicación de un RAFA a escala laboratorio. A lo largo de este trabajo describiremos las características del agua residual a tratar, los procesos de tratamiento aplicados, los resultados obtenidos después de cada proceso y las conclusiones a las que llegamos una vez analizados estos datos.

1.1 ANTECEDENTES

Se han encontrado en diversos países, experiencias de tratamiento de las aguas residuales provenientes de camales, mencionándose las siguientes:

✓ BRASIL

Debido al crecimiento poblacional de este país en las últimas décadas, el consumo de carnes y por ende la actividad de mataderos se incremento considerablemente, esto generó la inspección de las aguas residuales producidas en estos establecimientos, así como posteriormente investigaciones en dicho campo de tratamiento.

El año 2000 la Secretaria de Producción Rural y Reforma Agraria del Estado de Pernambuco, a través de su Departamento de Inspección y Fiscalización Agropecuaria – DEFIS realizó un diagnóstico de 170 mataderos municipales operativos en dicho estado, del cual concluyeron que el 98% de estos establecimientos no contaban con algún sistema de tratamiento para los efluentes líquidos de estos establecimientos. Así mismo en el año 2001 el Consejo Regional de Medicina Veterinaria presento al Consejo Estatal del Medio Ambiente un diagnóstico realizado en 48 mataderos, cuyas conclusiones reafirmaban el trabajo presentado por el DEFIS el año 2000.

Todos lo explicado anteriormente fue motivo de las investigaciones de tecnologías eficientes y económicas para ser aplicadas en los diferentes mataderos del país. A continuación se muestran algunos de los trabajos con mayor relevancia en este país:

- Título: "TRATAMENTO ANAERÓBIO DE EFLUENTES DE MATADOUROS DE BOVINOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE RECIFE EM UM REATOR UASB"

Presentado en el "22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental". Autores: Valmir C. Marqués de Arruda, Mario Takayuki Kato.

Objetivo: Conocer la eficiencia de un reactor UASB a escala piloto el cual trato las aguas residuales de un matadero de la ciudad de Recife – Brasil.

- Título: "TRATAMIENTO DE DESPEJOS DE MATADOURO EM BANHADOS ARTIFICIAIS DE LEITOS CULTIVADOS"

Presentado en el "20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental". Autores: Valmir C. Marques de Arruda, Mario Takayuki Kato.

Objetivo: Conocer la eficiencia de un reactor UASB a escala piloto el cual trata las aguas residuales de un matadero de la ciudad de Recife – Brasil.

✓ IRLANDA

Se han realizado investigaciones en tratamiento de efluentes de camales detallando: "Eliminación de nutrientes de aguas residuales de matadero en una secuencia intermitente de un reactor gaseoso batch".

En esta investigación se comprobó el rendimiento de un reactor batch de secuencias (SBR) de 10L para el tratamiento de aguas residuales del matadero, para lo cual se examinó a temperatura ambiente. El afluente de aguas residuales compuesto por 4.672 ± 952 mg demanda química de oxígeno (COD)/L, 356 ± 46 mg de nitrógeno total (TN)/L y 29 ± 10 mg de fósforo total (TP)/L. La duración de un ciclo completo fue de 8h, y comprende cuatro fases: llenar (7min.), reaccionar (393min.), resolver (30min.) y sacar / de ralenti (50min).

Durante la fase de reaccionar, el reactor fue intermitente gasificada con un suministro de aire de 0,8L/min. cuatro veces en 50min. En un afluente la tasa de carga orgánica fue de 1,2g COD/(Lxd), el promedio de las concentraciones de efluentes COD, TN y TP fueron 150mg/L, 15mg/L y 0,8mg/L, respectivamente. Esto representó COD, TN y la absorción de TP 96%, 96% y 99%, respectivamente. Fase de estudios biológicos demuestran que la absorción de fósforo se produjo en el primer período de aireación y la eliminación de nitrógeno se llevó a cabo en el siguiente tiempo de reacción por medio de la nitrificación parcial y desnitrificación. El balance de nitrógeno análisis indica que la desnitrificación y la síntesis de biomasa contribuyeron al 66% y el 34% de TN eliminado, respectivamente.

✓ **KUWAIT**

Existen estudios de investigación acerca de tratamientos de aguas residuales de camales, los resultados mostrados son muy favorables en la remoción de la DQO y DBO. Entre los últimos trabajos realizados se tiene la investigación de Nayef Z. Al-Mutairi cuyo tema fue: "Selectores Aerobios en matadero para Sistemas de Lodos Activados"; donde analizaron el Bulking filamentosa de las aguas residuales de un matadero, donde se aplicó un sistema de tratamiento de lodos activados la cual redujo significativamente mezcla la solución de las propiedades, lo que causó muchos problemas operacionales y el empeoramiento en la calidad del efluente. La principal causa de esta condición se atribuye a niveles significativos de influentes fácilmente biodegradable COD, que estuvo presente principalmente en forma de ácidos orgánicos. Un selector aerobio fue elegido para erradicar los incidentes habituales de Bulking en la planta de tratamiento de aguas residuales del matadero. Otras instalaciones incluyen mejoras en el aumento de la aireación del reactor por lotes de volumen, y el suministro de capacidad de paso de alimentación.

Comparación de datos antes y después de la instalación selector aeróbica mostró una mejoría significativa en la mezcla settleability, que excluye la necesidad de utilizar productos químicos para el control de filamentos y el control de los efluentes sólidos.

✓ **MEXICO**

Título: "EVALUACION DE UN REACTOR ANAEROBIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE GRANJAS PORCICOLAS"

Facultad de Ingeniería de la UNAM. - Autores: Vázquez Borges Elizabeth, Martínez Pereda Pedro, Fernández Villagómez Georgina.

Objetivo: Evaluar el compartimiento de un digestor anaerobio utilizado para el tratamiento de aguas residuales provenientes de una granja porcícola. Con dicha investigación se hallaron modelos matemáticos con los cuales se comprende el comportamiento del tratamiento anaerobio en este tipo de efluentes.

✓ URUGUAY

En un principio empezaron a utilizar sistemas biológicos para el tratamiento de efluentes de camales, pero identificaron una serie de limitaciones como consecuencia del material sólido presente, fundamentalmente grasas (Martínez et al. 1996), lo que hace necesario la utilización de tratamientos primarios eficientes. Si bien el material sólido no es fácilmente degradable, ensayos batch a escala de laboratorio indican una conversión de este tipo de sólidos en metano del orden de 50% (Sayed et al., 1988). Estudios a escala de laboratorio, utilizando reactores anaerobios de tipo manto de lodos, con tiempo de estadía de dos días, reportan degradaciones de DQO insoluble del orden de 80% (Martínez et al., 1996). Estos resultados indican que diseñando adecuadamente el sistema biológico es posible lograr una importante degradación del material particulado no removido en los tratamientos primarios.

Para efectos de mejorar el sistema de tratamiento en la actualidad se utiliza un tratamiento físico químico como es la flotación y posterior se pueden usar tratamientos biológicos como reactores anaerobios y lagunas anaerobias.

1.2 PROBLEMA A INVESTIGAR

Se sabe que las aguas residuales provenientes de los camales contienen un alto contenido de materia orgánica, por lo que un tratamiento previo a su descarga es fundamental, más aun si dicha descarga se realiza en un cuerpo natural de agua.

Es por esto que las autoridades ambientales del país, han considerado necesaria la introducción de nuevos límites máximos permisibles (LMP) los cuales aseguren una adecuada disposición de estos efluentes, evitando así la contaminación excesiva del sistema de alcantarillado y/o cuerpos naturales de agua en el cual descarguen. Actualmente, en el proyecto de ley presentado por el Ministerio del Medio Ambiente, dos de los parámetros a considerar en el tratamiento de este tipo de aguas residuales son la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), los que miden el grado de materia orgánica presente.

La implementación de sistemas de tratamiento en las plantas de mataderos y/o camales genera una inversión no recuperable a los inversionistas, por lo que estos buscan sistemas de tratamiento económicos, especialmente en pequeñas plantas como es el caso de la mayoría de mataderos presentes en nuestro país.

Las razones antes expuestas generaron la búsqueda de una tecnología eficiente y a la vez económica con la cual los efluentes descargados queden libres de agentes tóxicos y contaminantes, cumpliendo con las normatividad existente DECRETO SUPREMO N° 028-60 DEL 29.11.60 "REGLAMENTO DE DESAGÜES INDUSTRIALES", así como con los parámetros del "PROYECTO DE LMP PARA EFLUENTES DE ACTIVIDADES AGROINDUSTRIALES TALES COMO PLANTA DE CAMALES Y PLANTAS DE BENEFICIO".

1.3 JUSTIFICACION

Esta investigación permitirá determinar las ventajas y desventajas del uso de un reactor anaerobio de flujo ascendente en el tratamiento primario de las aguas residuales de un matadero, posterior a un proceso de pre tratamiento, para la reducción de sus contaminantes orgánicos y sustancias tóxicas.

Asimismo dicho tratamiento anaerobio contribuirá a disminuir la contaminación en los sistemas de alcantarillado y/o cuerpos receptores a los que se descarga el agua residual del matadero, cumpliendo con la normativa vigente ambiental dictada por el estado peruano.

Además, esta investigación permitirá determinar factibilidad técnica para la implementación de un RAFA como tratamiento primario de las aguas residuales de un matadero.

II. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

- Determinar experimentalmente que los reactores UASB son eficientes tratamientos primarios para la reducción de la carga orgánica contaminante del efluente de un camal.

2.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Establecer óptimos procesos de operación y mantenimiento de una planta piloto para aplicarlos en una planta de escala real.
- Encontrar los posibles problemas que puedan darse en la implementación de este tipo de tecnología, y encontrar una solución a estos.
- Colaborar con la investigación en el tratamiento de aguas residuales de la industria de camales en el Perú.

III. MARCO TEORICO

3.1 DIGESTION ANAEROBIA

La digestión anaerobia es un proceso biológico degradativo en el cual, parte de la materia orgánica contenida en un substrato es convertida en una mezcla de gases principalmente metano y dióxido de carbono, mediante la acción de un conjunto de microorganismos en ausencia de aceptores de electrones de carácter inorgánico (O_2 , NO_3^- , SO_4^{2-}).

3.1.1 PROCESO MICROBIOLOGICO Y BIOQUIMICO DE LA DIGESTION ANAEROBIA

La digestión anaerobia es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea sin una separación clara de fases.

Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaerobia de la materia orgánica en cuatro fases o procesos:

- Hidrólisis
- Etapa fermentativa o acidogénica
- Etapa acetogénica
- Etapa metanogénica

La primera fase es la hidrólisis de partículas y moléculas complejas (proteínas, hidratos de carbono y lípidos) que son hidrolizadas por enzimas extracelulares producidas por los microorganismos acidogénicos o fermentativos. Como resultado se producen compuestos solubles más sencillos (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga) que son fermentados por las bacterias acidogénicas dando lugar, principalmente, a ácidos grasos de

cadena corta, alcoholes, hidrogeno, dióxido de carbono y otros productos intermedios. Los ácidos grasos de cadena corta son transformados en ácido acético, hidrogeno y CO_2 , mediante la acción de los microorganismos acetogénicos. Finalmente ocurre la metanogénesis, que produce metano principalmente a partir de ácido acético y de H_2 y CO_2 .

En la figura 3.1, se muestra esquemáticamente las distintas fases del proceso de digestión anaerobia, los microorganismos que intervienen en cada una de ellas y los productos intermedios generados.

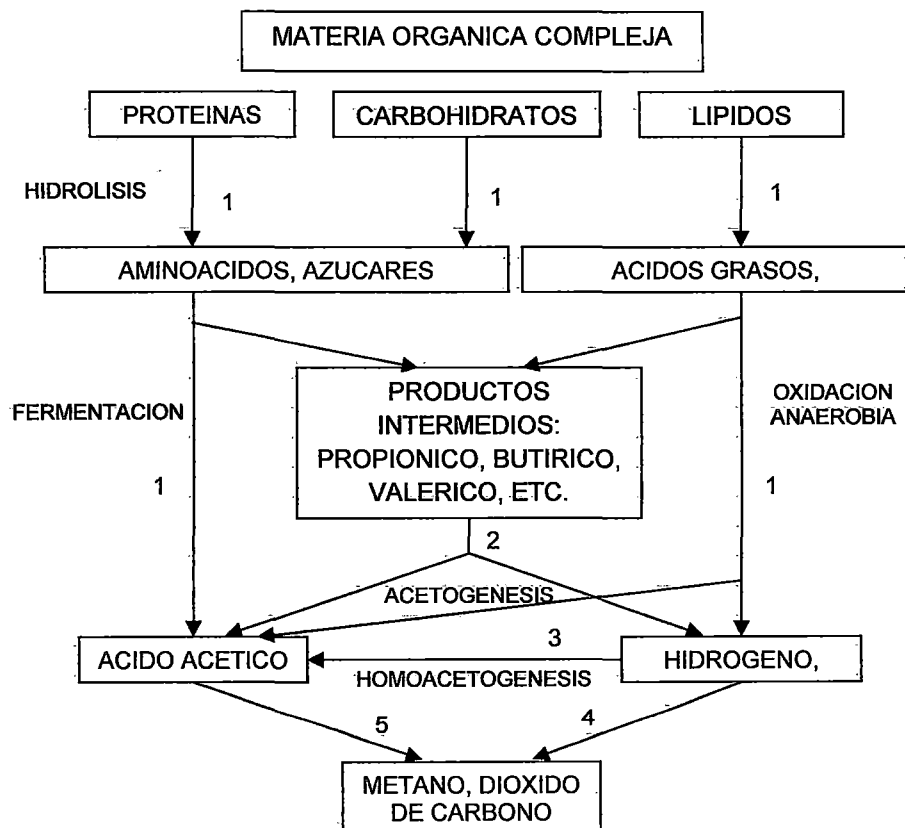


Figura 3.1: Esquema de reacciones de la digestión anaerobia de materiales poliméricos (Pavlosthatís y Giraldo-Gómez, 1991).

Los números indican la población bacteriana responsable del proceso.

- 1: Bacterias Fermentativas. 2: Bacterias acetogénicas productoras de hidrogeno. 3: Bacterias acetogénicas consumidoras de hidrogeno. 4: Bacterias metanogénicas reductoras de CO_2 . 5: Bacterias metanogénicas acetoclásticas

3.1.1.1 Hidrólisis

Dado que las bacterias no son capaces de asimilar la materia orgánica particulada, la primera etapa en el proceso de degradación anaerobia es la hidrólisis de materiales particulados complejos (polímeros) en materiales disueltos más simples (moléculas más pequeñas), que pueden atravesar las paredes celulares de las bacterias fermentativas. Esta conversión de material particulado en material disuelto se logra mediante la acción de exoenzimas (enzimas extracelulares) hidrolíticas excretadas por las bacterias fermentativas.

En la digestión anaerobia, la hidrólisis de los polímeros por lo general ocurre lentamente, siendo varios los factores que pueden afectar el grado y la velocidad a la que se hidroliza el sustrato (Lettinga et al., 1996 y Chernicharo - reactor anaerobio):

- *Temperatura de operación del reactor:* En general la tasa de hidrólisis aumenta con la temperatura (Pavlostathis y Giraldo-Gomez, 1991; Siegrist et al., 1993; Veeken y Hamelers, 1999), independientemente del compuesto de que se trate.
- *Periodo de retención del sustrato en el reactor,*
- *Composición del sustrato* (por ejemplo, la lignina, carbohidratos, proteínas y grasas),
- *Tamaño de la partícula:* Debido fundamentalmente a la disponibilidad de superficie para la adsorción de las enzimas hidrolíticas. Los pre tratamiento fisicoquímicos, cuyo principal efecto es la reducción del tamaño de las partículas, producen un aumento en la tasa de hidrólisis, y si esta fase es la limitante del proceso, supone un beneficio para el proceso general, produciendo menos tiempos de retención y tamaños de reactores menores.
- *pH del medio,*
- Así mismo, la hidrólisis puede verse afectada por la presencia de algún compuesto, que sea toxico, o inhibidor

de la población bacteriana responsable de la producción de enzimas extracelulares.

- *Concentración de NH_4^+* : Gallert et al. (1997), encontraron que la concentración de amonio influye negativamente en la desaminación de peptonas.
- *Concentración de Ácidos Grasos Volátiles*: Angelidaki et al. (1999), consideran que la tasa de hidrólisis de carbohidratos y proteínas, está limitada por la concentración total de ácidos grasos volátiles (AGV).
- *Concentración de Oxígeno y Nitrato*: Henze et al. (1995), considera que la tasa de hidrólisis esta inhibida por la concentración de oxígeno y nitrato.

Cualquier sustrato se compone de tres tipos básicos de macromoléculas: carbohidratos, proteínas y lípidos. La hidrólisis de cada tipo de compuesto se realiza por diferentes grupos enzimáticos.

Las proteínas constituyen un sustrato muy importante en el proceso de digestión anaerobia ya que además de ser fuente de carbono y energía, los aminoácidos derivados de su hidrólisis tienen un elevado valor nutricional. Las proteínas son hidrolizadas por proteasas, peptonas, péptidos y aminoácidos. Hay proteasas extracelulares, conocidas como proteinasas que atacan la proteína entera, y las peptidasas intracelulares, que cortan el aminoácido del extremo de proteínas y péptidos. Los aminoácidos producidos son degradados a ácidos grasos volátiles, dióxido de carbono, hidrogeno, amonio y sulfuro reducido. Generalmente la tasa de hidrólisis de proteínas es menor que la de los carbohidratos (Pavlostathis y Giraldo-Gomez, 1991).

La degradación de lípidos, en ambientes anaerobios, consiste en una ruptura inicial de las grasas por un grupo de enzimas

hidrolíticas (lipasas), en los correspondientes ácidos grasos de cadena larga y moléculas de glicerol o galactasa.

Uno de los principales componentes de la materia orgánica, especialmente en residuos ganaderos, son los materiales lignocelulosos, compuestos principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa. La lignina es un material muy resistente a la degradación por parte de los microorganismos anaerobios, afectando también a la biodegradabilidad de la celulosa, de la hemicelulosa y de otros hidratos de carbono, convirtiéndose su degradación en el proceso limitante de la velocidad de la hidrólisis y por tanto, de la degradación anaerobia de determinados substratos (Sleat y Mah, 1987; Pavlostathis y Giraldo-Gomez, 1991; Veeken y Hamelers, 1999). Los principales productos de la hidrólisis de la celulosa son celobiosa y glucosa, mientras que la hemicelulosa produce pentosas, hexosas y ácidos urónicos.

3.1.1.2 Etapa Fermentativa o Acidogénica

Las moléculas orgánicas solubles son fermentadas por varios organismos, formando compuestos, que pueden ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (ácido acético, fórmico, H₂), y compuestos orgánicos más reducidos (láctico, etanol, propiónico, butírico, principalmente), que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas a substratos que puedan utilizar las bacterias metanogénicas (Stams, 1994). La mayoría de las bacterias acidogénicas son anaerobias estrictas, pero aproximadamente el 1% está formado por bacterias facultativas que pueden oxidar el sustrato orgánico por oxidación. Esto es particularmente importante, dado que las bacterias anaerobias estrictas están protegidas de la exposición al oxígeno que pueda presentarse en el medio (Van Haandel y Lettinga et al. Chernicharo y 1996).

No se han descrito muchos inhibidores de esta etapa, destacándose tan solo los ácidos grasos de cadena larga (AGCL), señalados por Angelidaki et al. (1999). La concentración de hidrogeno juega un papel regulador importante del funcionamiento de la fermentación, tal y como describen Boone y Xun (1987).

Fermentación de Carbohidratos Solubles

La principal ruta metabólica de degradación de la glucosa para formar ácidos orgánicos es la de Embden-Meyehof (Figura 3.2) que tiene como principal intermediario el piruvato.

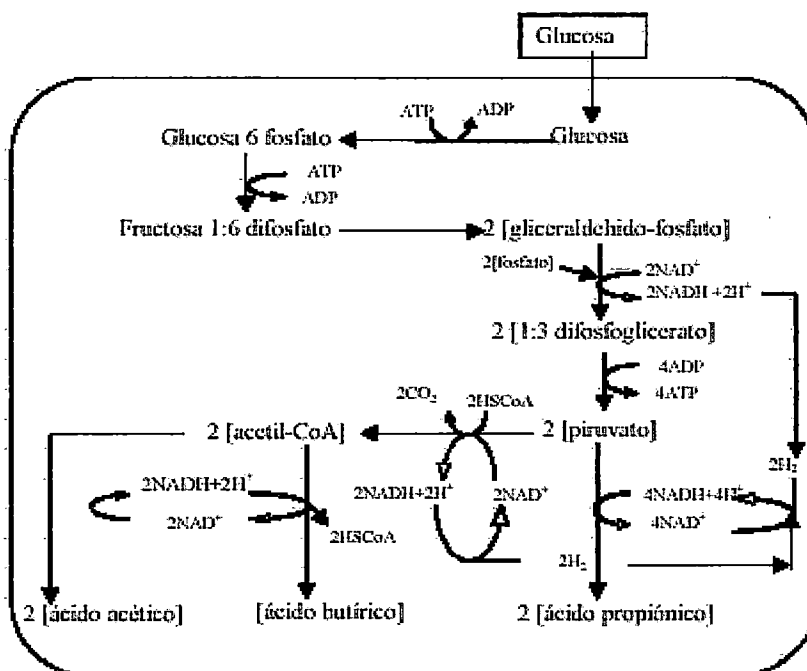


Figura 3.2. Simplificación de la ruta metabólica de Embden-Meyer de degradación de la glucosa por las bacterias acidogénicas

La fermentación de azúcares se realiza por diversos tipos de microorganismos, siguiendo diferentes rutas metabólicas, en función del organismo responsable, y obteniendo productos finales diferentes. Los principales microorganismos son los que producen butírico o butanol, básicamente del género *Clostridium*,

que convierten la glucosa y algunos aminoácidos en ácido butírico, acético y CO_2 y H_2 . La glucosa se convierte en piruvato mediante la ruta Embden-Meyerhof, y el piruvato se desdobra a Acetil-CoA y CO_2 . El Acetil-CoA se reduce en los productos de fermentación empleando como transportador de electrones el NADH derivado de las reacciones glucolíticas de la ruta Embden-Meyerhof.

Las bacterias ácido-propionicas, del género *Propionibacterium*, llevan a cabo un proceso distinto, conocido como fermentación ácido-propionica, en el que se produce la fermentación del ácido láctico, carbohidratos y polihidroalcoholes, produciendo, principalmente, ácido propiónico, succínico, acético y CO_2 . Sus requerimientos nutricionales son complejos y crecen con lentitud. Las diferencias en el metabolismo respecto a los *Clostridium* se producen a partir de la formación del piruvato por la ruta Embden - Meyerhof.

Fermentación de Aminoácidos

Los principales productos de la formación de aminoácidos, y de otras moléculas hidrogenadas, son ácidos grasos de cadena corta, succínicos, aminovalérico y H_2 . La fermentación de aminoácidos se considera un proceso rápido y en general, no limita la velocidad de degradación de compuestos proteicos (Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991).

Algunos organismos del género *Clostridium* pueden fermentar aminoácidos, aunque otras especies tales como *Peptococcus* y *Bacteroides* también están presentes. Los productos finales de la oxidación son NH_3 , CO_2 y un ácido carboxílico con un átomo de carbono menos que el aminoácido oxidado (Madigan et al., 1998). Producen n.butírico y ácido isobutírico, isovalérico, caproico, sulfuro de hidrógeno, metilmercaptano, cadaverina, putrescina (en función del tipo de aminoácido que proceda), etc.

Oxidación anaerobia de ácidos grasos de cadena larga

Los ácidos grasos de cadena larga son oxidados a ácidos grasos de cadena corta por el mecanismo β -oxidación. Los ácidos grasos libres son introducidos en la célula a través de la pared celular y una vez en su interior, son transformados en el correspondiente tio-este-CoA. La β -oxidación es un ciclo en espiral que va liberando un acetyl-CoA en cada bucle, produciendo, principalmente ácido acético.

3.1.1.3 Etapa Acetogénica

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por las bacterias metanogénicas (H_2 y acetato), otros (etanol, ácidos grasos volátiles como valerato, butirato, propionato, etc. y algunos aminoácidos) necesitan ser transformados en productos más sencillos, acetato y H_2 , a través de las bacterias acetogénicas. Representantes de los microorganismos acetogénicos son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini* (Boone y Bryant, 1980).

Desde el punto de vista termodinámico, estas reacciones no son posibles porque en condiciones estándar, presentan energías libres de reacción positivas, tal como se muestra en la Tabla 3.1. Los procesos acetogénicos son energéticamente difíciles, por lo que necesitan ser ayudados por los organismos metanogénicos, u otros organismos consumidores de hidrógeno (Stams, 1994).

Un tipo especial de microorganismos acetogénicos, son los homoacetogénicos, que consumen H_2 y CO_2 , y producen acetato. Los principales exponentes son *Acetobacterium woodii* o *Clostridium acetivum*. Este tipo de bacterias son capaces de crecer heterotróficamente en azúcares o compuestos monocarbonados (como la mezcla H_2/CO_2), al contrario que los metanogénicos, siendo más parecidos a los fermentativos que a los metanogénicos, a pesar de utilizar los mismos sustratos (Madigan et al., 1998).

Tabla 3.1: Reacciones acetogénicas que ocurren en sistemas anaerobios

Reacciones acetogénicas	ΔG° (KJ)
Etanol y láctico	
Etanol + H ₂ O \longrightarrow Acetato + H ⁺ + 2H ₂	+9.6
Lactato ⁻¹ + 2H ₂ O \longrightarrow Acetato ⁻¹ + H ⁺ + 2H ₂ + HCO ₃ ⁻	-4.2
Ácidos Grasos	
Acetato ⁻¹ + 4H ₂ O \longrightarrow H ⁺ + 4H ₂ + 2HCO ₃ ⁻	+104.6
Propionato ⁻¹ + 3H ₂ O \longrightarrow Acetato ⁻¹ + HCO ₃ ⁻ + H ⁺ + 3H ₂	+76.1
Butirato ⁻¹ + 2H ₂ O \longrightarrow 2Acetato ⁻¹ + H ⁺ + 2H ₂	+48.1
Valerato ⁻¹ + 3H ₂ O \longrightarrow 3Acetato ⁻¹ + 2H ⁺ + 4H ₂	+96.2
Aminoácidos	
Alamina + 3H ₂ O \longrightarrow Acetato ⁻¹ + HCO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺ + H ⁺ + 2H ₂	+7.5
Aspartato ⁻¹ + 3H ₂ O \longrightarrow Acetato ⁻¹ + HCO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺ + H ⁺ + 2H ₂	-14.0
Leucina + 3H ₂ O \longrightarrow Isovalerato ⁻¹ + HCO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺ + H ⁺ + 2H ₂	+4.2
Glutamato ⁻¹ + 3H ₂ O \longrightarrow Propionato ⁻¹ + HCO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺ + H ⁺ + 2H ₂	-5.8
Glutamato ⁻¹ + 3H ₂ O \longrightarrow Acetato ⁻¹ + HCO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺ + H ⁺ + 2H ₂	+70.3

Fuente: (Stams, 1994)

El principal inhibidor de la acetogénesis, cuya acumulación provoca la rápida acumulación de los substratos, es el hidrogeno molecular (Ahring y Westermann, 1987 y Fukuzaki et al., 1990). Otros compuestos pueden inhibir el correcto desarrollo de las poblaciones acetogénicas, como el propio ácido acético (producto de la acetogénesis) (Ahring y Westermann, 1987 y Fukuzaki et al., 1988; Angelidaki et al., 1993; Hyun et al., 1998), o los ácidos grasos de cadena larga (Galbraith et al., 1971; Hanaki et al., 1981; Angelidaki et al., 1999), además de estar muy afectado por el valor de pH (Siegrist et al., 1993; Angelidaki et al., 1993).

3.1.1.4 Metanogénesis

Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaerobia mediante la formación de metano a partir de substratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato, H₂/CO₂, formato,

metanol y algunas metilaminas. Todos estos sustratos son convertidos a metilCoM ($\text{CH}_3\text{-S-CoM}$), el cual es convertido a CH_4 por la metilCoM reductasa (Ritchie et al., 1997).

La metanogénesis, ocurre en forma natural en sedimentos de fondo, o en el rumen de herbívoros. Los organismos metanogénicos, crecen lentamente en el agua residual, y su tiempo de generación oscila desde 3 días a 35°C , hasta los 50 días a 10°C (Ritchie et al., 1997).

Tipo de metanogénesis

Se pueden establecer dos grandes grupos de microorganismos, en función del sustrato principal, dividiéndose en los hidrogenotrofos, que consumen hidrogeno y formico, y los metilotropicos o acetoclasticos, que consumen grupos metilos del acetato, metanol y algunas aminas (Cairó y Paris, 1988). Las principales reacciones se recogen en la tabla 3.2.

La mayoría de los organismos metanogénicos son capaces de utilizar el H_2 , como aceptor de electrones, mientras que solo dos géneros son capaces de utilizar el acetato (Ferguson y Mah, 1987). A pesar de ello, en ciertos ambientes anaerobios, este es el principal precursor del metano, considerándose que alrededor del 70% del metano producido en los reactores anaerobios se forma a partir de acetato (Jeris et al., 1965, citado en Ferguson y Mah, 1987). Los dos generos que tienen especies acetotrofosas son *Methanosarcina* y *Methanothrix*, siendo el principal exponente *Methanosarcina barkeri*, que es capaz de crecer en diversos sustratos, entre los que están H_2 y CO_2 , acetato, metanol, metilaminas y CO (Cairó y Paris, 1988).

- Metanogenesis Hidrogenotrofica

Convierte el hidrogeno y CO_2 en metano. La mayor parte de los methanococcales y methanobacteriales, usan el H_2 y CO_2 (Ritchie et al., 1997).

Tabla 3.2: Principales reacciones metanogénicas y otras consumidoras de hidrogeno

Principales reacciones metanogénicas y otras consumidoras de Hidrogeno		ΔG° (KJ)
Reacciones hidrogenotróficas		
$4H_2 + H^+ + 2HCO_3^- \longrightarrow$	Acetato + $4H_2O$	+104.6
$4H_2 + 4S^\circ \longrightarrow$	$4HS^+ + 4H^+$	-112
$4H_2 + H^+ + 2HCO_3^- \longrightarrow$	$CH_4 + 3H_2O$	-135.6
$4H_2 + H^+ + 4SO_4^{2-} \longrightarrow$	$HS^+ + 4H_2O$	-151.9
$4H_2 + 4\text{fumarato} \longrightarrow$	4succinato	-344.6
$4H_2 + 2H^+ + NO_3^- \longrightarrow$	$NH_4 + 3H_2O$	-599.6
Interconversion formato – hidrógeno		
$H_2 + HCO_3^- \longrightarrow$	formato + H_2O	-1.3
Metanogénesis acetoclastica		
Acetato + $H_2O \longrightarrow$	$2HCO_3^- + CH_4$	-31.0
Metanogénesis a partir de otros substratos		
<i>Fórmico</i>		
$4HCOOH \longrightarrow$	$CH_4 + 3CO_2 + 2H_2O$	
<i>Metanol</i>		
$4CH_3OH \longrightarrow$	$3CH_4 + CO_2 + 2H_2O$	
<i>Trimetil – amina</i>		
$4(CH_3)_3N + 6H_2O \longrightarrow$	$9CH_4 + 3CO_2 + 4NH_3$	
<i>Dimetil – amina</i>		
$4(CH_3)_2NH + 2H_2O \longrightarrow$	$3CH_4 + CO_2 + 2NH_3$	
<i>Monometil – amina</i>		
$4(CH_3)NH_2 + 2H_2O \longrightarrow$	$3CH_4 + CO_2 + 4NH_3$	

Fuente: Adaptada de Stams, 1994 y Fergusson et al., 1987).

- Metanogénesis acetoclastica o acetotrofica.

Este grupo comprende dos géneros principales: Methanosarcina (Smith y Mah, 1978) y Methanotherix (Huser et al., 1987).

Cerca de los dos tercios de metano, proviene de la conversión del acetato por la metanogénesis acetotrofica. El tercio restante resulta de la reducción del CO_2 , por el hidrogeno (Mackie and Bryant, 1981).

Inhibición de la metanogénesis

Diversos compuestos se han descrito como inhibidores del crecimiento de los microorganismos metanogénicos. Entre los más conocidos están: el nitrógeno amoniacal, los ácidos grasos de cadena larga, ácidos grasos volátiles, algunos cationes, etc. No todos los grupos de metanogénicos resultan igualmente inhibidos por los mismos compuestos. La inhibición por amoníaco libre es más fuerte para los metanogénicos acetoclasticos que para los hidrogenotróficos (Hansen et al., 1998).

3.1.2 FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE DIGESTION ANAEROBIA

La utilización de la digestión anaerobia, en la depuración de la materia orgánica contenida en las aguas residuales, es una operación que debe ser controlada para lograr óptimos resultados, ya que el proceso bioquímico, que en ella tienen lugar, está influenciado por diversos factores, que a continuación se señalan.

3.1.2.1 Temperatura.

La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que a su vez, dependen de la temperatura, A medida que aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión dando lugar a mayores producciones de biogás. El efecto de la temperatura sobre la velocidad específica de desarrollo de las células está descrito por la ecuación de Arrhenius:

$$K_{(T)} = K_{(20^{\circ}\text{C})} \theta^{(T-20^{\circ}\text{C})}$$

Donde $K(T)$ y $K(20^{\circ}\text{C})$ son las velocidades específicas metabólicas a las temperaturas T y 20°C respectivamente y θ es

una constante, cuyos valores están entre 1.0 y 1.2, de esto se puede ver que la tasa de crecimiento de las bacterias termofílicas es más alta que las mesofílicas.

La temperatura de operación del digestor, está considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaerobia. Variaciones bruscas de temperatura en el digestor pueden provocar la desestabilización del proceso. Por ello, para garantizar una temperatura homogénea en el digestor, es imprescindible un sistema adecuado de agitación y un controlador de temperatura.

Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaerobios: psicrófilico (por debajo de 25°C), mesofílico (entre 25 y 45°C) y termofílico (entre 45 y 65°C), siendo la velocidad máxima específica de crecimiento (μ_{max}) mayor conforme aumenta el rango de temperaturas. Dentro de cada rango de temperatura, existe un intervalo para el cual dicho parámetro se hace máximo, determinando así la temperatura de trabajo óptima en cada uno de los rangos posibles de operación. (Figura 3.3)

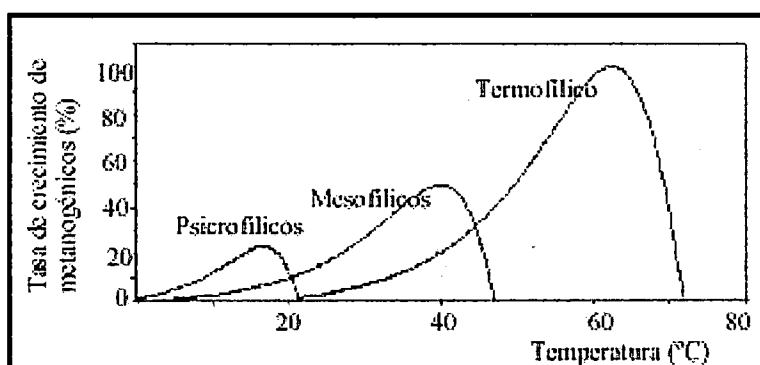


Figura 3.3. Dependencia de la constante de crecimiento de la temperatura

Hasta el momento, el rango psicrófilico ha sido poco estudiado y, en general, se plantea como poco viable debido al gran tamaño

del reactor necesario. Sin embargo, presenta menores problemas de estabilidad que en los otros rangos de operación.

El régimen mesofílico de operación es el más utilizado a pesar de que en la actualidad se está utilizando cada vez más el rango termofílico para conseguir una mayor velocidad del proceso (lo que significa un aumento en la eliminación de materia orgánica y en la producción de biogás) y una mejor eliminación de organismos patógenos. Sin embargo, el régimen termofílico suele ser más inestable a cualquier cambio de las condiciones de operación y presenta además mayores problemas de inhibición del proceso por la mayor toxicidad de determinados compuestos a elevadas temperaturas, como el nitrógeno amoniacal o los ácidos grasos de cadena larga.

Una técnica interesante es la combinación de dos fases de digestión, una primera termofílica de elevada carga orgánica y una segunda mesofílica con menor carga. Con este sistema se aprovechan las ventajas del sistema termofílico pero se reducen los problemas de inestabilidad.

La temperatura del proceso actúa también sobre aspectos físico-químicos del mismo. La solubilidad de los gases generados desciende al aumentar la temperatura, favoreciéndose la transferencia líquido-gas. Esto supone un efecto positivo para el caso de gases tales como NH_3 , H_2 y H_2S , dada su toxicidad sobre el crecimiento de los microorganismos anaerobios. Una posible desventaja de este fenómeno es que el descenso de la solubilidad del CO_2 provocaría un aumento del pH, lo que generaría, en fangos de elevada concentración de amonio, posibles situaciones de inhibición por NH_3 . Por otro parte, la solubilidad de la mayoría de las sales aumenta con la temperatura de manera que la materia orgánica es más accesible para los microorganismos aumentando así la velocidad del proceso.

3.1.2.2 pH y alcalinidad

Los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaerobia presentan unos niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad:

- Fermentativos: entre 7.2 y 7.4
- Acetogénicos: entre 7.0 y 7.2
- Metanogénicos: entre 6.5 y 7.5

Para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6 ni subir de 8. El valor del pH en el digestor no solo determina la producción de biogás sino también su composición. Una de las consecuencias de que se produzca un descenso del pH a valores inferiores a 6 es que el biogás generado es muy pobre en metano y, por tanto, tiene menores cualidades energéticas.

El pH es una de las variables utilizadas en el diagnóstico de los sistemas anaerobios (aunque no se considera una buena variable de control por ser demasiado lenta) ya que muchos fenómenos tienen influencia sobre el mismo. Un ejemplo de ello, son las situaciones de acidificación de un reactor anaerobio provocadas por desequilibrios en la producción y consumo de ácidos grasos volátiles. La acumulación de estos provoca un descenso en el pH que será más o menos acusada en función de la alcalinidad del medio.

Por otra parte, el pH afecta a los diferentes equilibrios químicos existentes en el medio, pudiendo desplazarlos hacia la formación de un determinado componente que tenga influencia en el proceso. Este es el caso de los equilibrios ácido-base del amoníaco y del ácido acético: Al aumentar el pH se favorece la formación de amoníaco que, en elevadas concentraciones, es inhibidor del crecimiento microbiano y a pH bajos se genera mayoritariamente la forma no ionizada del ácido acético, que inhibe el mecanismo de degradación del propionato.

La alcalinidad es una medida de la capacidad tampón del medio. En el rango de pH del proceso de digestión anaerobia, el principal equilibrio que controla la alcalinidad es el del dióxido de carbono/bicarbonato.

En muchas ocasiones la capacidad natural del sistema para mantener el pH en las condiciones adecuadas es sobrepasada, por lo que es necesario controlar este parámetro de modo artificial, mediante la adición de sustancias básicas como: hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de sodio o hidróxido de calcio; el uso de este último puede representar algún problema, debido a la posibilidad de formar sales de calcio de baja solubilidad; el empleo de compuestos de sodio para esta operación no provoca este problema, pero la acumulación de cationes alcalinos en el medio puede dar lugar a la inhibición de la actividad microbiana. En el caso de algunas descargas industriales, la formación de grandes cantidades de amoníaco contribuye muy bien al control del pH; sin embargo, en otros casos de aguas residuales industriales la ausencia de nitrógeno es notable y el control del pH tiene que ser artificial.

El control del pH es una operación que debe ser llevada con mucho rigor, debido a que tanto el aumento como la disminución del mismo detienen el funcionamiento metabólico de las bacterias, con el consecuente fallo del proceso.

3.1.2.3 Nutrientes

Una de las ventajas de los procesos de digestión anaerobia, frente a los procesos aerobios, es su baja necesidad de nutrientes derivada de los bajos índices de producción de biomasa que presentan los microorganismos anaerobios. Los principales nutrientes necesarios para el crecimiento de los microorganismos son el carbono, el nitrógeno y el fósforo, y una serie de elementos minerales como S, K, Na, Ca, Mg y Fe que deben de estar presentes a nivel de trazas. Diversos autores han

estudiado la relación necesaria entre los nutrientes mayoritarios considerando una relación C:N entre 15-30:1 y C:P de 75-113:1 (Speece, 1987).

Para el caso de fangos de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales, todos estos nutrientes suelen estar presentes en las cantidades requeridas.

3.1.2.4 Potencial Redox

Conviene mantener el valor del potencial redox por debajo de -300mV o -330mV para asegurar el ambiente fuertemente reductor que las bacterias metanogénicas necesitan para su óptima actividad.

3.1.2.5 Tóxicos e inhibidores

El proceso de digestión anaerobia es inhibido por la presencia de tóxicos en el sistema. Estas sustancias pueden ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos anaerobios o pueden formar parte del influente. Experimentalmente se ha comprobado que la magnitud del efecto toxico de una sustancia puede ser reducido significativamente por aclimatación de la población de microorganismos al toxico. Por otra parte, muchas de estas sustancias a bajas concentraciones pueden ser estimuladoras del proceso.

A. Ácidos grasos volátiles

La concentración de ácidos grasos volátiles, productos intermedios mayoritarios del proceso anaerobio, es uno de los parámetros que más eficazmente pueden indicar la evolución del proceso. De hecho, este parámetro es uno de los más utilizados en los sistemas de control debido a su rápida respuesta ante variaciones del sistema. Un ejemplo de ellos, es la acumulación de ácidos grasos volátiles que tiene lugar en el sistema cuando la velocidad de degradación de estos, por parte de las bacterias responsables, disminuye por alguna causa adversa. Por tanto,

un aumento en la concentración de ácidos volátiles en el sistema, siempre significa una desestabilización del proceso y, en consecuencia, una disminución de la producción de biogás.

B. Hidrógeno

El hidrogeno es también un compuesto intermedio del proceso anaerobio. Su acumulación en el medio provoca la inhibición de la acetogénesis y, en consecuentemente, la acumulación de ácidos grasos volátiles con más de dos átomos de carbono.

C. Nitrógeno amoniacal

Durante el proceso anaerobio, el nitrógeno orgánico es hidrolizado dando lugar a formas amoniacales. Aunque el nitrógeno amoniacal es un nutriente importante para el crecimiento bacteriano, una concentración excesiva puede limitar su crecimiento.

El nitrógeno amoniacal es la suma del ion amonio (NH_4^+) y del amoniaco (NH_3). Ambas especies se encuentran en equilibrio químico, y la concentración relativa de cada una depende del pH, tal como indica la ecuación de equilibrio: $\text{NH}_4^+ \leftrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}^+$.

De las especies, la que parece inhibir el proceso es el amoniaco libre ya que se ha comprobado experimentalmente que el efecto inhibitorio por amonio aumenta a pH alcalinos. Además del pH, la cantidad de amoniaco libre depende de la concentración del sustrato, de la relación C/N, de la capacidad tamponadora del medio y de la temperatura de digestión. Obviamente, aquellos residuos que contengan mayores proporciones de proteínas u otros compuestos nitrogenados son los que presentan más problemas de inhibición por amonio.

D. Sulfatos y Sulfuros

La presencia de elevadas concentraciones de sulfatos en el sustrato puede producir la inhibición del proceso anaerobio,

especialmente de la metanogénesis. En presencia de sulfatos, las bacterias metanogénicas compiten con las sulfato-reductoras por los mismos sustratos (acetato e hidrogeno), mostrando estas últimas ventajas termodinámicas y cinéticas sobre las primeras. El resultado de esta competición determinara la proporción de sulfhídrico y metano en el biogás producido.

El sulfuro es también un inhibidor para muchos grupos bacterianos. En general, los metanogénicos son más sensibles que los acidogénicos y acetogénicos, comenzando la toxicidad a una concentración de 50mg/L si los microorganismos metanogénicos no están aclimatados a los sulfuros. Parece que la forma toxica es la no ionizada, por lo que la inhibición se favorece a pH bajos y a bajas temperaturas.

Por tanto, la inhibición tiene dos etapas, la primera debida a la competición por el sustrato entre los microorganismos metanogénicos y sulfato-reductores y la segunda es una inhibición directa del crecimiento metanogénico por la presencia de sulfuros solubles.

E. Cationes y metales pesados

Los cationes de metales alcalinos y alcalino-terreos tienen un efecto estimulador de la actividad de las bacterias a bajas concentraciones. A partir de un nivel de concentración, pueden proporcionar toxicidad provocando una disminución de la velocidad de crecimiento.

La toxicidad de los cationes aumenta con el peso molecular, por lo que los metales pesados son los que provocan toxicidad a menor concentración. El orden de toxicidad de los metales pesados es Ni>Cu>Cr(IV) ≈ Cr(III)>Pb>Zn.

Los niveles de inhibición varían mucho en función de varios factores. Si la introducción del catión en el reactor se produce de forma gradual, los microorganismos pueden aclimatarse y el

efecto toxico es menor. La presencia de sulfuros también disminuye la inhibición debido a la precipitación de estos con los metales pesados, pudiendo llegar a tolerarse elevadas concentraciones de metales pesados en estos casos.

Cuando se presentan combinaciones de estos cationes, el efecto que se produce es más complejo. Algunos actúan antagonicamente, reduciendo la toxicidad, y otros actúan sinérgicamente aumentándola.

En el caso de aguas residuales industriales las elevadas concentraciones de metales suelen ser la causa de la ineficiencia del proceso anaerobio.

F. Otros inhibidores

Debido a que la etapa de fermentación metánica tiene etapas realizadas por microorganismos estrictamente anaerobios, es obvio que el oxígeno es un toxico mas del proceso. Parece ser que concentraciones del orden de 1µg/L son inhibidoras.

Tambien podemos sepalar como inhibidores del proceso: el pH, determinadas sustancias organicas como acidos grasos de cadena larga y alcoholes, en elevadas concentraciones, y la presencia de desinfectantes y antibióticos.

3.1.2.6 Velocidad de Carga Orgánica y Tiempo de Retención

El tiempo de retención, junto con la velocidad de carga orgánica determinada por el tipo de sustrato, son los principales parámetros de diseño, definiendo el volumen del digestor.

En los sistemas de mezcla completa, el tiempo de retención hidráulico (TRH) coincide con el celular, por lo que el tiempo de retención deberá ser suficientemente largo como para asegurar el crecimiento de la población bacteriana. Al aumentar el TRH, aumenta el grado de materia orgánica degradada así como la producción de metano, aunque este último valor comenzará a

disminuir una vez alcanzado el óptimo. El tiempo de retención usual en el rango mesofílico para lodos de depuradora está entre 15 y 20 días, aunque este valor depende del tipo utilizado.

La velocidad de carga orgánica (VCO) es la cantidad de materia orgánica introducida diariamente en el reactor por unidad de volumen, siendo directamente dependiente de la concentración del sustrato y del tiempo de retención fijado. En ausencia de inhibidores, altas cargas orgánicas proporcionan altas producciones volumétricas de biogás aunque también aumenta el riesgo de sobrecargas puntuales que conllevan a la acidificación del reactor.

3.1.2.7 Agitación

La experiencia ha demostrado que una adecuada mezcla del contenido del digestor es esencial y persigue los siguientes objetivos, descritos por Noone, 1990:

- Poner en contacto el sustrato fresco con la población bacteriana y eliminar los metabolitos producidos por los metanogénicos al favorecer la salida de gases.
- Proporcionar una densidad uniforme de población bacteriana.
- Prevenir la formación de espumas y la sedimentación en el reactor.
- Prevenir la formación de espacios muertos que reducirán el volumen efectivo y la formación de caminos preferenciales.
- Eliminar la estratificación térmica, manteniendo una temperatura uniforme en todo el reactor.

El sistema de agitación puede ser mecánico, hidráulico y neumático. La velocidad de agitación debe ser suficientemente fuerte para asegurar una correcta homogenización pero sin romper los agregados bacterianos.

3.2 REACTORES ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE

El reactor UASB es la tecnología anaerobia de alta tasa con mayor éxito y más usada para tratar diferentes tipos de aguas residuales. El éxito de este tipo de reactores se atribuye a su capacidad de retener altas concentraciones de lodo, así como también de la exitosa separación de fases sólido-líquido-gaseoso, que se obtiene en este sistema. Este reactor consiste de un tanque circular o rectangular en el cual el residuo a tratar, fluye en dirección ascendente a través de un manto de lodo anaerobio activo de gránulos o flocs altamente sedimentables. Durante el paso a través del manto de lodo el proceso de tratamiento ocurre gracias a la retención de sólidos y a la conversión de la materia orgánica en biogás y lodo. Las burbujas de gas producido automáticamente se dirigen a la parte superior del reactor, llevando agua y partículas de sólidos, por ejemplo lodo biológico y residuos sólidos. Las burbujas de biogás son dirigidas (gracias a los deflectores) a una zona gas-líquido ubicada en la parte superior del reactor, produciéndose una adecuada separación sólido-líquido-gaseoso. Las partículas de lodo regresan a la superficie del manto de lodo, mientras que el gas producido es capturado en una especie de cono invertido o estructura similar, ubicado en la parte superior del reactor. El residuo líquido pasa a través de unas aberturas, ubicadas al costado de los deflectores, llevando algunas partículas sólidas, las cuales sedimentan en el área de sedimentación, este último proceso se da gracias al incremento del área superficial en la altura del sedimentador. Mientras las mencionadas partículas regresan al manto de lodo, el efluente sale del sedimentador por rebose.

Desarrollos en la tecnología de reactores anaerobios de alta tasa revelan que el tratamiento anaerobio es factible para tratar aguas residuales frías y diluidas a unas tasas de carga que exceden los 10 kg/m³ a temperaturas de 10°C y TRH de pocas horas (Lettinga, 1995 citado por Peña, 1998).

Tabla 3.8 Valores aproximados de carga orgánica volumétrica en relación a °T

Temperatura (°C)	Carga Orgánica volumétrica Kg DQO/m ³ .d
40	15 – 25
30	10 – 15
20	5 – 10
15	2 – 5
10	1 – 3

Fuente: Lettinga *et. al.* (1983).

A inicios del 2007, cerca de 1,750 UASB a escala real han sido puestos en operación a nivel mundial. La mayoría de estos sistemas son usados para el tratamiento de aguas residuales agro-industriales, pero su aplicación en aguas residuales provenientes de la industria química y desagüe doméstico está aumentando. La figura 3.13 muestra la representación esquemática de un reactor UASB. Dos ejemplos de instalaciones de UASB a escala real se muestran en la figura 3.14.

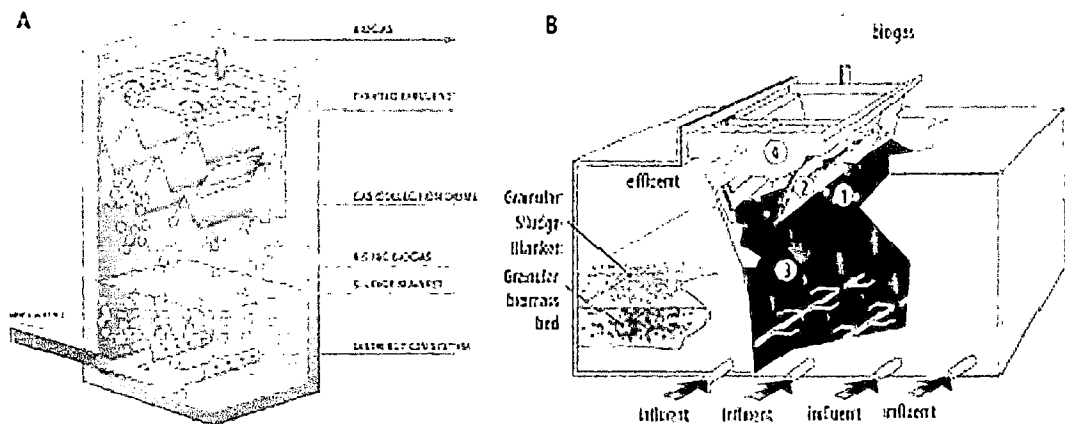


Figura 3.13: Reactores UASB de los principales fabricantes de sistemas anaerobios (A) Paques B.V y (B) Biothane B.V.



Figura 3.14: Instalación de UASB para el tratamiento de desagüe doméstico en Indonesia

Similar a los sistemas UAF, el agua residual tiene un movimiento ascendente en este reactor. Sin embargo, a diferencia de los AF, generalmente no existe ningún material de soporte. El concepto de manto de lodo en los reactores está basado en los siguientes principios:

- 1) El lodo anaerobio tiene o adquiere buenas propiedades de sedimentación, siempre y cuando la agitación de este en el reactor no sea tal que perjudique este proceso, y que el reactor sea operado correctamente. Por esta razón, y por los costos de inversión y mantenimiento, la mezcla mecánica no es aplicada en los reactores UASB. Debido a las buenas características bacterianas del lodo, altas velocidades superficiales pueden ser aplicadas sin ningún riesgo considerado de lavado de lodo.
- 2) El contacto necesario entre el lodo y el agua residual en un sistema UASB generalmente se logra (i) alimentando el agua residual lo más uniformemente posible en el fondo del reactor, o (ii) como resultado de la agitación causada por la producción de biogás.
- 3) Particularmente en aguas residuales con baja concentración de carga orgánica, los reactores con altas relaciones altura-diámetro son usados para profundidades de 20-25m. Pequeñas áreas facilitarán la alimentación del sistema, mientras que la acumulación de biogás producido por encima de la fase líquida causará un flujo turbulento. El aumento de la velocidad de flujo ascendente también produce un mejor

contacto entre el lodo y los agentes contaminantes del agua residual. En aguas residuales con alta contaminación se obtienen mejores resultados aplicando recirculación del flujo. Como resultado, se adquiere un mejor flujo mixto y la estratificación del substrato y productos intermedios por encima de la altura del reactor se minimiza, reduciendo potencialmente la inhibición del proceso.

- 4) El arrastre del lodo se evita separando el biogás producido, esto se logra instalando un compartimiento de recolección de gas en la parte alta del reactor. De esta manera una zona de baja turbulencia se crea en la parte superior del reactor, por consiguiente el reactor es equipado con un clarificador secundario incorporado. La cúpula de recolección de gas actúa como un sistema de separación gas-liquido-sólido (GLSS). Esto constituye una parte esencial en los UASB y sirve para:
 - a) Recolecta, separa y descarga el biogás producido. Para una mejor performance de la zona gas-liquido, el área proporcionada debe ser lo suficientemente grande, de manera que el gas pueda salir fácilmente. Esto es particularmente importante en los casos en que se formen natas en la superficie del líquido en esta zona. La agitación de mezcla generada por la turbulencia del biogás producido debe prevalecer a la interferencia gas-liquido, combatiendo así este fenómeno. Dado que la formación de natas es un fenómeno muy complejo con una amplia diversidad de apariencias, es imposible dar una clara y unificada guía para el dimensionamiento de la interfase gas-liquido.
 - b) Reduce la turbulencia producida en el líquido por el biogás, mejorando así la sedimentación de lodo. Para prevenir la formación de burbujas de gas en la zona superior de sedimentación, uno o más deflectores deben instalarse debajo de la abertura entre la cúpula de gas, así como entre la cúpula de gas y pared del reactor.
 - c) Remueve partículas de lodo mediante un mecanismo de sedimentación, floculación y/o captura en el tanque de lodos (si se encuentran presentes en el sedimentador). El lodo recolectado puede deslizarse hasta el compartimiento de digestión, en caso que el lodo recolectado no llegue al sedimentador, o pueda ser

descargado ocasionalmente junto con el exceso de lodo en el compartimiento de digestión.

- d) Limita la expansión del manto de lodo en el compartimiento de digestión. El sistema actúa como una barrera contra la expansión excesiva de la zona menos densa del manto de lodo. En caso que el manto de lodos se expanda hasta el sedimentador, el lodo tendera a espesarse (porque el gas ha sido separado). El lodo más denso, presente en el sedimentador, permanece en la parte superior del compartimiento de lodos que tiende a subir al sedimentador.
- e) Reduce o previene la posibilidad de que las partículas de lodos sean eliminadas del sistema. Por esta razón, los deflectores deben ser instalados en la parte baja del sedimentador. Tales deflectores son particularmente esenciales para el tratamiento de aguas residuales con bajas concentraciones de carga orgánica debido a la alta posibilidad de arrastre de lodo en estos casos.
- f) Logra un tratamiento de pulimento del agua residual, con respecto a materia suspendida.

3.2.1 BALANCE DE MASA EN UN REACTOR UASB

El balance de masa se define por las variaciones que ocurren durante una reacción en un determinado sistema cerrado o en alguna porción definida de una masa líquida.

En la mayoría de las aplicaciones del tratamiento de ARD, la solución de las ecuaciones del balance de masa, puede ser simplificada considerando que es de interés la concentración resultante a largo plazo en el régimen permanente (Metcalf & Eddy, 1995):

$$V \frac{dC}{dT} = Q C_0 - Q C + V r_g + V r_c \quad (2.4)$$

Donde:

V = Volumen del reactor

C₀ = Concentración en el afluente

Q = Caudal que entra o que sale del reactor

C = Concentración en el reactor y efluente

r_g = tasa de generación

r_c = tasa de consumo

Básicamente existen cuatro opciones para la degradación o no del material orgánico (DQO) en los sistemas de tratamiento (van Haandel & Lettinga, 1994):

- Conversión en lodo (proceso anabólico o de absorción)
- Conversión en metano (proceso catabólico fermentativo)
- Mineralización a través de la oxidación (catabolismo oxidativo)
- Permanencia en la fase líquida (descarga en el efluente)

Si no existe acumulación de MO en el sistema de tratamiento (estado estacionario), la masa diaria de MO debe ser igual a la suma de las masas diarias del MO que deja el sistema en forma de metano, lodo presente en el efluente más la masa diaria de MO destruido (oxidado). De esta manera se puede establecer el siguiente balance de masa del MO:

$$MO_a = MO_e + MO_l + MO_d + MO_o$$

Donde los subíndices indican: MO en el afluente "a", efluente "e", lodo en exceso "l", digerida "d" y oxidada "o" respectivamente. De la misma manera se puede expresar un balance respecto a la DQO (Fig. 2.15 y 2.16).

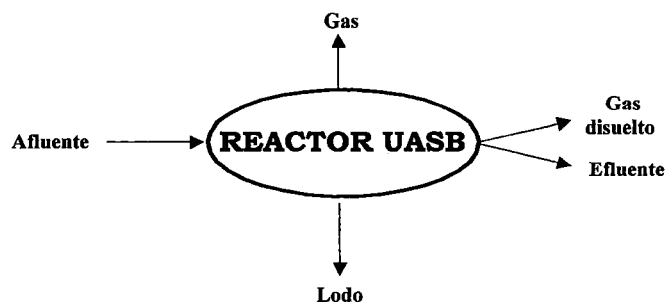


Fig. 2.15 Esquema de los componentes del balance de masa de un reactor UASB.

Fuente: Lettinga *et. al.* (1980).

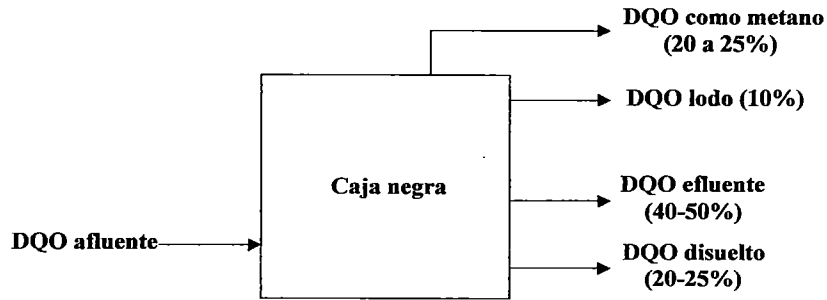


Fig. 2.16 Balance de masa respecto a la DQO en un reactor UASB

Fuente: Lettinga *et. al.* (1995).

3.2.2 PUESTA EN MARCHA DE UN REACTOR UASB

La puesta en marcha de un reactor anaerobio frecuentemente se considera como una de las principales desventajas del tratamiento anaerobio. Debido a la lenta velocidad de crecimiento de los organismos metanogénicos y la formación de lodo granular (Imai, 1997). El arranque del proceso utilizando inóculo inadaptado o sin utilizar inóculo, generalmente toma un largo período de tiempo. Sin embargo una vez que arranca, puede ser para siempre (Lettinga y Hulshoff, 1995a).

En general la puesta en marcha del reactor UASB procede rápida y fácilmente cuando el inóculo utilizado es más adaptado a la composición del agua residual. Reactores de flujo ascendente, utilizando inóculo inadaptado como el lodo digerido, normalmente necesitan de dos a más de seis meses, dependiendo de la calidad del inóculo y de las características del agua residual (de Zeeuw y Lettinga, 1980).

De Zeeuw y Lettinga (1983), distinguen cuatro etapas, en el proceso de puesta en marcha de un reactor UASB con lodo digerido:

Etapla 1: La más ligera, poco o mucho de la fracción coloidal del lodo digerido es lavado del reactor. La producción de gas incrementa rápidamente de cero al nivel correspondiente a la actividad específica del lodo residual, cuando se aplica una carga orgánica suficiente.

Etapla 2: Un ligero lavado del lodo continúa debido a la erosión de la cama de lodo, primero como resultado del incremento de la producción de gas y

segundo por el incremento en la carga hidráulica, la cama de lodo eventualmente se expandirá hasta llenar el volumen del reactor. Como resultado del efecto combinado del crecimiento bacteriano y del lavado del lodo, la actividad específica del lodo retenido incrementa.

Etapa 3: Un rápido incremento en la producción de gas (y un menor aumento en la carga hidráulica), causa que la cama de lodo sea empujada hacia fuera del reactor permitiendo un lavado del lodo floculento pesado. La actividad específica del lodo retenido rápidamente incrementa, lo que se perdió era una mezcla de lodo activo e inactivo, mientras que solamente crece lodo activo (SSV). Las partículas de lodo más pesadas son mejor retenidas y las partículas ligeras son por tanto lavadas. Los primeros lodos granulares macroscópicos aparecen, gradualmente constituyen una segunda cama en la parte baja del reactor, haciendo que el lodo floculento remanente suba al manto de lodos. Esta etapa de la puesta en marcha acaba cuando el lodo retenido creciente es igual al lodo que se lava.

Etapa 4: El lodo crece mucho más y las partículas pesadas están más concentradas en la cama de lodos y exceden más el lavado de lodo. Como resultado la cantidad total de lodo activo en el reactor comienza a incrementar nuevamente, permitiendo cada vez mayor incremento en la carga orgánica, que es acompañada con una alta producción de gas. Debido a las altas cargas de alimentación la presión selectiva en las partículas de lodo incrementa y el remanente de lodo floculento eventualmente será lavado del reactor. El crecimiento del lodo entonces es exclusivamente en forma de lodo granular y el lavado de lodo cae a un nivel muy bajo.

La duración del período de puesta en marcha es definida como el tiempo necesario para obtener una calidad de efluente constante y una masa de lodo que no varía ni cualitativamente ni cuantitativamente con el tiempo. Naturalmente esa acumulación está limitada por el tamaño físico del reactor y en algún momento después de iniciada la puesta en marcha, el lodo comenzará a aparecer en el efluente del reactor en la forma de partículas sedimentables. El reactor entonces estará lleno de lodo, en el sentido que se alcanzó la masa máxima de lodo que el reactor puede contener. A partir de

este momento la masa de lodo en el reactor se mantendrá esencialmente constante y la masa de lodo generado en el reactor será igual a la masa descargada en el afluente (van Haandel y Lettinga, 1994).

El inóculo inadaptado se considera un lodo con características definidas (de Zeeuw y Lettinga, 1983)

- a. El lodo deriva de un proceso de tratamiento anaerobio que no tiene un separador de fases, tal como los digestores mezclados convencionales, rumiantes, tanques sépticos o sedimentos de agua clara.
- b. El lodo ejerce una actividad metanogénica específica baja o menor a 0.2 Kg CH₄-DQO/Kg SSV.d.
- c. La sedimentabilidad del lodo es baja.
- d. La población bacteriana del lodo no está balanceada con respecto a la composición necesitada para la digestión simultánea de todos los ingredientes del agua residual.
- e. El lodo no está adaptado a los inhibidores específicos del agua residual (sulfuro, amoníaco, etc.).

3.2.3 CONSIDERACIONES IMPORTANTES PARA EL ARRANQUE DE REACTORES UASB

Según Hulshoff (1987), entre los factores que pueden influir en el período de tiempo requerido para el arranque se pueden mencionar cuatro de mayor importancia:

1. La calidad de la semilla de lodo.
2. El contacto del agua residual con el lodo.
3. Una posible inhibición o escasez de nutrientes esenciales.
4. La tasa a la cual ocurre la pérdida de lodo (biomasa) del reactor.

3.2.4 INOCULACIÓN DEL REACTOR UASB

La inoculación de un reactor UASB puede ser muy sencilla. Inicialmente no son necesarias condiciones estrictas de anaerobiosis. Si el agua no está en condiciones anaerobias, éstas se alcanzan el primer día, debido al consumo de oxígeno de las bacterias presentes en el inóculo (Hulshoff, 1987).

El inóculo del reactor debe tener alguna actividad metanogénica. Cuanto mayor sea la actividad metanogénica, más corto será el período de arranque. La intención es hacer crecer las bacterias metanogénicas, pues estas están en muy pequeña concentración en el inóculo. El uso de lodo proveniente de un reactor anaerobio es, por supuesto, altamente recomendable. Si este no está disponible se debe elegir algún tipo de inóculo que contenga gran cantidad de MO en condiciones anaerobias, tal como estiércol de vaca u otros estiércoles e incluso lodo doméstico. Por ello, el primer paso puede ser eventualmente el que más tiempo consume del proceso de arranque.

3.3 MEDICIÓN DE METANO

3.3.1 SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO DE LÍQUIDO

El volumen de gas metano producido en experimentos de laboratorio puede medirse por desplazamiento de un líquido. El método más común es el que utiliza la “botella de Mariotte” (figura 3.16A). También pueden usarse botellas de suero, como sistema menor de desplazamiento de líquido, como se muestra en la figura 3.16B. El líquido utilizado es una solución concentrada de NaOH o KOH en un rango entre 15 – 20 g/L. A medida que el biogás pasa a través de estas soluciones de pH alto, el CO₂ del biogás se convierte en carbonato y es absorbido dentro del líquido.

Únicamente el gas metano pasa a través de la solución y un volumen equivalente es impulsado afuera de la botella de Mariotte. El líquido desplazado puede medirse en un cilindro graduado o puede pesarse. Si se pesa el líquido, se debe medir también su densidad para calcular el volumen. Las soluciones alcalinas deben contener un gran exceso de equivalentes de hidróxido para estar seguros que todo el CO₂ es absorbido por el líquido. Debe mantenerse como exceso mínimo el doble, esto significa que por cada litro de biogás al menos 2g de NaOH deben estar presentes en el líquido contenido en la

botella de Mariotte. Se puede calcular cuando se necesita reemplazar la solución alcalina como sigue (para una temperatura de 30°C)

$$[\text{Vol.}_{\text{min}} \times \text{Conc.}_{\text{NaOH}}] \times 0.35 = \text{Vol.}_{\text{CH}_4}$$

Vol.min (L): El mínimo tolerado de solución alcalina en el Mariotte.

Conc._{NaOH} (g/L): Concentración de NaOH, de la solución alcalina,

Vol._{CH₄} (L): Volumen de metano medido en la botella de Mariotte, cuando es tiempo de reemplazar la solución alcalina.

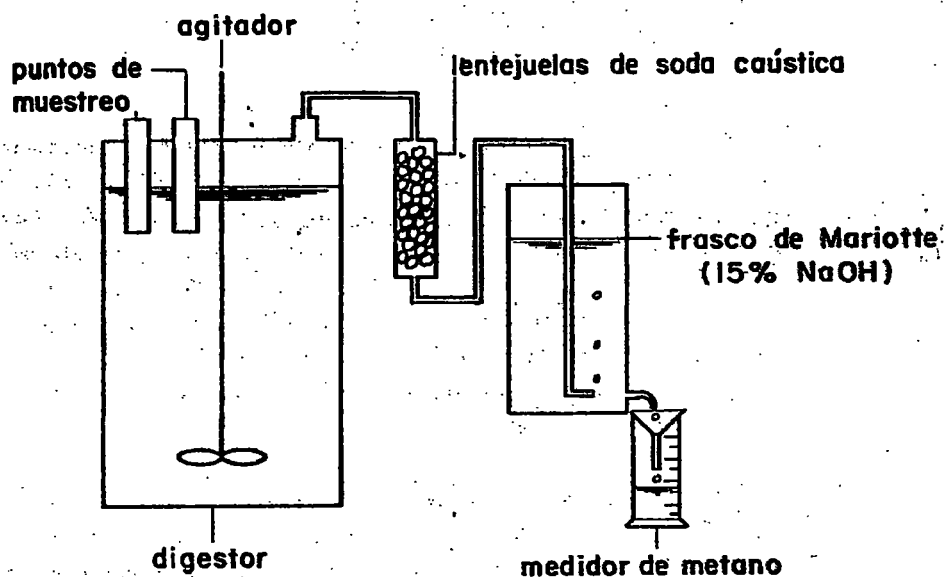


Figura 3.16A: Ensayo establecido para digestión anaeróbica en reactor de flujo discontinuo y régimen mezclado con una botella de Mariotte para medir la producción de gas metano.

Otro método para la vigilancia de la solución alcalina es medir el pH de la solución. La solución debe reemplazarse cuando el pH es menor o igual que 12.

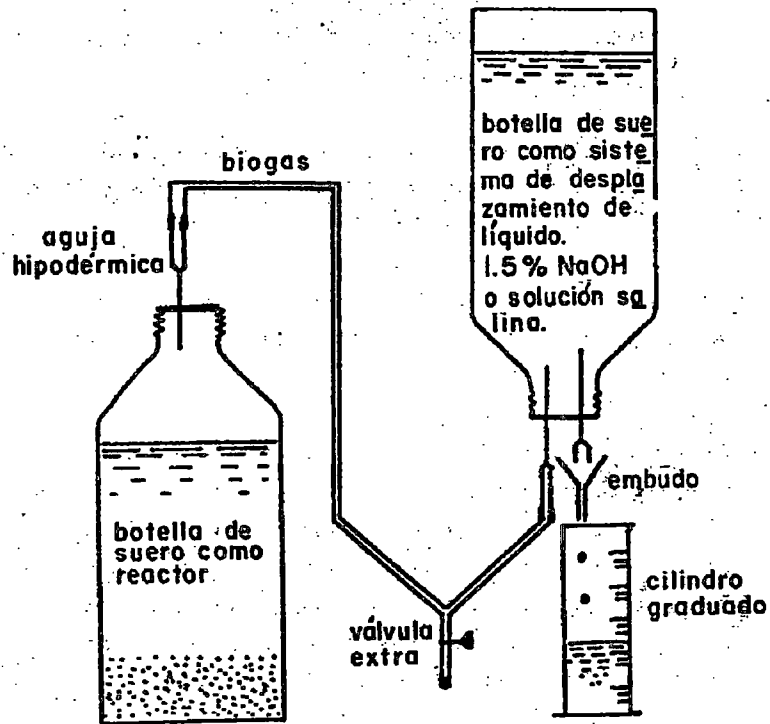


Figura 3.16B: Ensayo establecido para digestión anaeróbica en reactores de flujo discontinuo y, régimen estático por el sistema de desplazamiento del líquido con botella de suero, para medir la producción de gas metano.

En los sistemas de desplazamiento, frascos de Mariotte o botellas de suero, se deben controlar los escapes (fugas). Los frascos se deben llenar hasta la mitad con solución alcalina, debe cerrarse el tubo de gas y se deja por un día para permitir que el sistema se equilibre a la temperatura del cuarto. La tasa de desplazamiento del líquido debe iniciarse al día siguiente y continuar su control por unos días. Si ocurre algún desplazamiento del líquido, la fuga es evidente.

Los sistemas de desplazamiento de líquido, también pueden fallar si en la solución alcalina hay presente jabón. Se debe tener especial cuidado que todos los residuos de jabón sean enjuagados de las botellas antes de usar.

Si solamente se controla el volumen de biogás, puede ser necesario medir la composición del mismo. El CO₂ y el CH₄, gases componentes del biogás, pueden medirse tomando una jeringa grande, 100mL de la muestra de biogás e impulsándola lentamente (10mL/min), a través de un sistema de desplazamiento de líquido de 500 mL, botellas de suero.

El volumen de la solución alcalina que es desplazado de la botella, dividido por el volumen de biogás inyectado es igual a la fracción de CH₄ en el biogás.

3.3.2 FACTOR DE CONVERSIÓN DE DQO PARA METANO

La DQO equivalente del gas emtano, puede calcularse usando los factores normalizados de conversión (FC) de g de DQO a mL de CH₄, listados en la tabla 3.8A para diferentes temperaturas, asumiendo una elevación a nivel del mar. A 0°C, 1g de DQO es igual a 350mL de gas metano seco. Los valores de la tabla 3.8A fueron calculados como sigue:

$$350 \times (273 + \text{Temperatura en } ^\circ\text{C}) / 273$$

Si se realiza a elevaciones mayores, se puede corregir el factor de conversión reportado para la presión atmosférica reducida:

$$\text{FC} \times 1000 / \text{presión (milibars)}$$

$$\text{FC} \times 760 / \text{presión (mm de mercurio)}$$

El gas metano medido generalmente es húmedo, el factor de conversión puede ser corregido para la presión de vapor del agua en el gas o también el gas puede secarse antes de su medición. El error causado por no contabilizar la humedad es pequeño (3 a 4%). Para trabajos precisos el factor de conversión de metano a DQO se puede corregir como sigue:

$$\text{FC} \times 1000 / (1000 - \text{presión de vapor en milibars})$$

En la tabla 3.8A, también se listan los factores de conversión del gas húmedo, calculado con esta ecuación para las temperaturas indicadas.

Tabla 3.8A: Factores de Conversión para el cálculo del contenido de DQO en el gas metano (A presión atmosférica = Nivel del mar)

TEMPERATURA °C	1G. DQO/L IGUAL A ML DE CH ₄ REPORTADO	
	CH ₄ SECO	CH ₄ HÚMEDO
10	363	367
15	369	376
20	376	385
25	382	394
30	388	405
35	395	418
40	401	433
45	408	450
50	414	471

Fuente: Jim Field - Universidad Agrícola de Wageningen (Holanda)

3.4 CAMALES

3.4.1 PROCESO DE BENEFICIO DEL GANADO

3.4.1.1 Recepción y Almacenamiento

Es la recepción de los animales aptos para su beneficio procedentes de los principales centros de engorde. Luego se los mantiene en condiciones de ayuno y reposo en corrales adecuados, por un tiempo no menor de seis horas, en el cual no deben ingerir alimento alguno, para garantizar:

- Una mejor sangría.
- Evitar vómitos durante el faenado.

- Aumento del glucógeno muscular perdido por el stress del transporte, para asegurar un nivel óptimo de ácido láctico, incrementando el tiempo de vida comercial del producto final.

3.4.1.2 Beneficio

Baño.- Lavado de las reses antes del proceso de matanza, con el uso de una ducha a presión, para evitar cualquier tipo de contaminación, lo cual favorece a un mejor rendimiento de la sangría y tranquiliza al animal.

Insensibilización y Aturdimiento.- El animal es conducido al brete de matanza, donde se efectúa el sacrificio mediante la insensibilización con una pistola neumática que dispara un perno y perfora la piel y hueso frontal, tratando de no lesionar la masa cerebral. Con éste método el animal no sufre y permite una excelente sangría. También se hace insertando una puntilla que succiona la médula espinal evitándose las lesiones a la masa cerebral.

Sangría.- Una vez aturdido el animal, se procede a realizar un desangrado lo más completo posible, en un lapso de 3 a 5 minutos.

Degüello.- En ésta fase de la matanza se realiza el seccionamiento o corte de la cabeza, la extracción de las orejas, lengua y cuernos.

Desollado.- Conjunto de operaciones que se efectúan en rieles aéreos, en forma seriada, mediante un movimiento continuo por acción de una cadena que traslada al animal, suspendido, a lo largo de la sala de beneficio. Comienza eliminando la piel de muslos, nalgas, vientre, verija, costillar, y partes genitales. Luego se realiza una apertura a lo largo de la línea ventral para el desuello del tórax, brazo, antebrazo, pecho, espalda y paleta.

En el desollado se requiere de mucha práctica y experiencia, para no dañar la calidad de la res en su acabado final y evitar cortes o rasgaduras que disminuyan el valor comercial del cuero.

Es importante que inmediatamente después del desollado se proceda a realizar la evisceración, para evitar riesgos de contaminación en la carcasa, por fuga de bacterias del tracto gastrointestinal.

Evisceración.- Luego de desollado, se procede a abrir el pecho y el resto de la cavidad abdominal, para proceder a la extracción de las viseras pélvicas, abdominales y torácicas.

Todas las operaciones de evisceración requieren de gran destreza por parte del personal que la realiza, con la finalidad de garantizar la limpieza de la carcasa.

Corte longitudinal y lavado de piezas.- Luego de la evisceración, la carcasa es dividida a lo largo de su línea media dorsal en dos piezas, que luego son lavadas a presión, con abundante agua potable.

Desgrase.- Se extrae la grasa de riñonada y bacinete.

Secado y control de peso.- Después de lavadas las medias carcasas son secadas empleando una esponja; luego, se realiza la numeración de cada pieza y finalmente se pesan.

Envío a cámaras de refrigeración.- Las carcasas ingresan a una cámara de refrigeración (de 0 a 5°C) para su almacenamiento.

El beneficio del ganado Vacuno y Ovino es como se describió anteriormente, sin embargo el ganado porcino tiene una variación.

El porcino después del aturdimiento y la sangría; izado en un riel continuo, se escalda en una caldera o por medio de una ducha a 65°C. Después, la piel y cerdas removidas se sacan por vía

mecánica y en un paso posterior, en forma manual. Luego, pasan por el flameado, en donde se emplea fuego en forma directa sobre la carcasa para eliminar todo remanente de cerdas.

De aquí en adelante se sigue el mismo procedimiento ya descrito para bovinos.

3.4.1.3 Procesamiento de Vísceras

Las vísceras blancas del animal son: panza, bonete, librillo, cuajar, intestino delgado e intestino grueso; las vísceras rojas son: corazón, pulmón, hígado, bazo y riñones. Además hay otras partes comestibles como son: Los sesos, el rabo, la lengua y los órganos genitales.

Tanto las vísceras blancas como rojas son depositadas en las bandejas de inspección. Un funcionario de saneamiento las revisa para determinar que sean aptas para el consumo humano. En la misma mesa de inspección, un operario se encarga de separar las vesículas para verificar la presencia o no de cálculos.

Las vísceras blancas, luego de la inspección veterinaria, son separadas y seleccionadas. El intestino delgado en su porción terminal es trenzado y cocido como chinchurria.

Los estómagos son lavados. Posteriormente el mondongo es pulido y congelado.

Las criadillas son lavadas y puestas en congelación.

El sebo, librillo, intestino grueso, sistema urogenital y restos del intestino delgado son evacuados, lavados y llevados a la zona de subproductos para el procesamiento de sebo fundido y harina de carne, etc.

Las vísceras rojas son separadas en lengua, pulmón, corazón, hígado, riñones y bazo, y puestas en congelación.

3.4.2 DESECHOS DE UN MATADERO

Todos los procesos que tienen que ver con la producción de carne contribuyen a la carga de desechos. Es importante destacar que, en ocasiones, resulta más práctico reutilizar los desechos como método de manejo, que verterlos al ambiente; ésta es una manera de hacer una mejor utilización de los recursos.

Por lo general en la industria del Matadero se dan una diversidad de desechos. Casi todas las operaciones, desde la salida de los corrales de descanso, son fuentes de desechos y aguas de lavado. Por donde el animal circula deja caer orinas, estiércol y restos intestinales de diferente naturaleza, de acuerdo con las especies faenadas, ya sea de alimentación herbívora u omnívora; en el primer caso materia de origen celulósico en diferente estado de descomposición y en el segundo, heces de diversa naturaleza de acuerdo a la alimentación del cerdo. En las subsiguientes operaciones se producen desechos que luego son arrastrados por las aguas de limpieza como restos cárneos, pelo, recortes de cuero, trozos de vísceras, coágulos sanguíneos.

Todos estos desechos son altamente putrescibles, se vuelven sépticos rápidamente, tienen una alta demanda de oxígeno y olor desagradable.

A continuación la tabla 3.9 muestra los principales desechos producidos en un matadero:

Figura 3.17: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE BENEFICIO EN MATADEROS Y SUS RESPECTIVOS DESECHOS

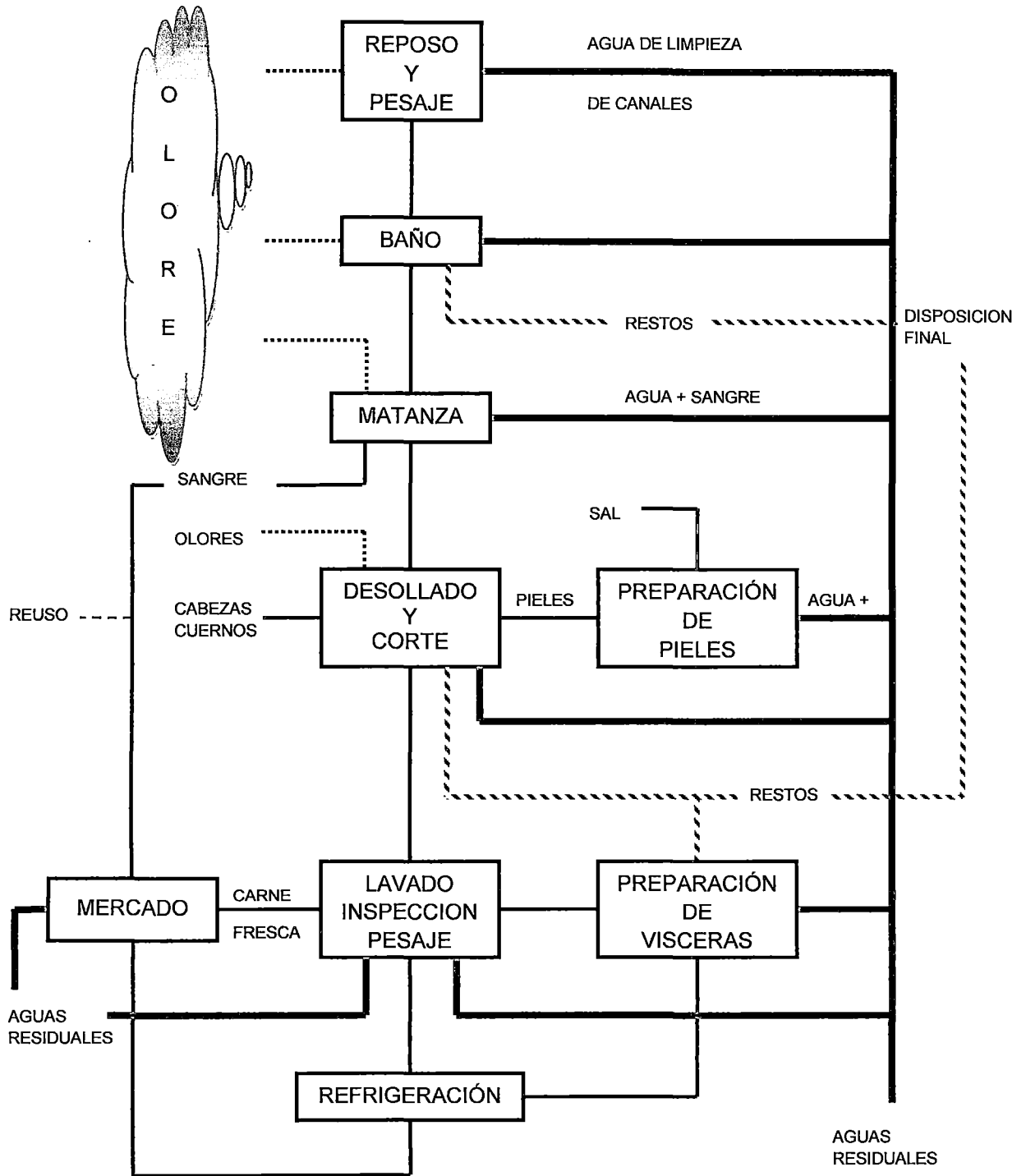


Tabla 3.9: Principales Desechos Producidos en un Matadero

FUENTE	DESECHO
<ul style="list-style-type: none"> - Corrales - Cuarto de Matanza - Remoción de pelo - Remoción interior - Derretimiento - Limpieza de la res abierta - Subproducto 	<ul style="list-style-type: none"> - Estiércol - Sangre - Pelo y suciedades - Estiércol de las barrigas y licor - Material de unión - Carne, grasa, sangre, estiércol - Grasa, asaduras

Fuente: Andrés Incer A., Tecnología disponible para el tratamiento de las aguas de las Principales industrias Costarricenses.

Los desechos se pueden agrupar en líquidos, sólidos y gaseosos. A continuación mencionaremos cuáles son y de donde provienen.

3.4.2.1 Desechos Líquidos

Los residuos líquidos en éste tipo de industria son variados, una de las características de éste es su contenido de sangre proveniente del beneficio de los animales o de restos de la misma que quedan en la carcasa, en las vísceras o en el cuero; y que luego son arrastrados en las respectivas operaciones de limpieza. La sangre descargada en el desagüe contribuye con una fuerte carga orgánica muy concentrada que gravita decididamente sobre las características del efluente final, que se diluye en el mismo, dándole su coloración roja característica y luego no puede separarse si no por medio de tratamientos costosos. Así mismo, es sabido que tiene un alto contenido proteico; lo que determina que en algunos países desarrollados se la utilice inclusive para alimento humano, con los consiguientes controles higiénicos y de identificación con el animal faenado. Una vez efectuada la matanza sigue el pelado por medios mecánicos en agua caliente durante 4 o 6 minutos a una temperatura aproximadamente de 60°C en el caso de los

cerdos; como resultado se obtiene agua caliente que contiene cerdas, pelos y algunas veces pequeñas cantidades de grasa. En las operaciones subsiguientes se producen desechos sólidos que son luego arrastrados por las aguas de limpieza.

De la misma manera, los animales antes de ser beneficiados son bañados para retirarles del cuerpo el polvo y las excretas. Los vertidos líquidos provenientes de los corrales donde se encierran los animales antes de su beneficio, cuya cantidad depende de acuerdo a la frecuencia de lavado resultan de abrevaderos, de la limpieza y de desechos de los animales. Si los corrales no se encuentran cubiertos, la precipitación pluvial también contribuye a la carga de desecho.

En las salas de beneficio la limpieza se realiza con agua a alta presión, siendo conveniente primero recolectar los desperdicios en seco y después realizar la limpieza con agua. Las aguas residuales que se producen en este lugar tienen un color rojizo resultado de los restos de las operaciones de sangrado, lavado de carcasa y productos rojos y lavado de cuero.

Las vísceras se limpian en la sección de procesamiento respectiva. De allí resultan gran cantidad de desechos, aguas de limpieza contaminadas con residuos de excrementos (estiércol), sustancias mucosas y detergentes, las cuales se conocen con el nombre de desagües verdes.

El procesamiento del sebo, producto de la fundición de sustancias con contenido graso de origen animal y restos de sangre, transportados en forma semifluida y elaborados en procesos simples y malolientes; originan desagües de elevada concentración orgánica que son caracterizados por su enorme contenido de grasas y temperatura elevada.

En algunas ocasiones se descargan conjuntamente los desagües cloacales del personal que ocupa el establecimiento

industrial, purgas de calderas (con gran contenido salino en el agua) y de circuitos de enfriamiento, descargas de frigoríficos, etc. Así mismo, en las operaciones de limpieza se emplean detergentes que aparecerán en diferente concentración en los desagües.

3.4.2.2 Desechos Sólidos

- ***Estiércol de los corrales.***- Se define al producto combinado de las deyecciones principalmente sólidas, eliminadas por los animales a sacrificar (transporte y espera a su sacrificio).

Sus características son variables según la especie de los animales, alimentación, etc. El volumen diario esperado de este residuo depende del ayuno previo de los animales a su llegada al establecimiento de faena así como del tiempo de permanencia o descanso de los mismos en corrales. Por lo general, éste último es de 24 a 72 horas para los vacunos, 12 hasta 24 horas para los ovinos y entre 6 a 12 horas para los equinos.

- ***Pelos.***- En el proceso de pelado del ganado porcino se obtiene una cantidad significativa de pelos que luego se convierten en desperdicios. Son de fácil separación (tamizado, por ejemplo), por lo que no entrañan mayores dificultades de manejo. Constituyen un subproducto con valor comercial y de colocación fluida por lo que en términos generales no representa mayor problema desde el punto de vista de su disposición final fuera de los establecimientos de faena.
- ***Sólidos provenientes del procesamiento de vísceras.***- Se define como el tratamiento parcialmente digerido, contenido en el estómago de los rumiantes. Estos constituyen una fuente de carga contaminante significativa. Constituye un material que causa múltiples inconvenientes ya que no se degrada biológicamente en las plantas de tratamiento. Tiende a sedimentar el material en suspensión y endurecerse, así como

provocar tupimientos en bombas, bocas de descarga de tolvas, etc. Además, el rumen contribuye aproximadamente con el 20% de la carga total de DBO. El 60-85% de su DBO es soluble en agua. Por ello es recomendable en lo posible, un procedimiento de vaciado primario en seco de los estómagos. Este sistema requiere aplicar al rumen, técnicas de transporte, similares a las utilizadas para el manejo de los materiales separados en zarandas. El procedimiento más común consiste en el vaciado húmedo por el que el contenido de los estómagos es vehiculizado con agua y el efluente en algunos casos se somete a separación posterior de sólidos en suspensión mediante zaranda.

La faena de vacunos da origen al mayor volumen relativo unitario de esta materia. Se calcula que la contribución en volumen de rumen es 70lbs por vacuno sacrificado. Es decir por cada 100 vacunos faenados se prevé la separación e alrededor de 7m³ de contenido rumial.

- **Barro proveniente del procesamiento de intestinos.-** Es la mezcla de la capa mucosa muscular y jugos del intestino acompañados de una cantidad variable de agua. Posee una atracción muy variada de insectos, en particular moscas. Constituye una suspensión fácilmente putrescible de manejo dificultoso en sección subproductos pero muy recomendable para la elaboración de heparina por ejemplo, con la que se recupera un material con valor comercial altamente contaminante.
- **Restos varios.-** Se incluye aquí, distintos tipos de materiales putrescibles y no putrescibles. Los primeros, constituyen material atractivo a moscas, roedores, etc; por lo que si no se disponen adecuadamente pueden dar lugar a inconvenientes graves, constituyendo un foco de deterioro sanitario.

Como residuos varios se tienen:

Materiales de envasamiento defectuosos, dañados, etc (envases de cartón, láminas, bolsas plásticas, restos de flejes, arpillera, etc). Estos no se canalizan por las líneas naturales de procesamiento de residuos y conviene manipularlos por separado.

Sólidos retirados por la limpieza de las canalizaciones de efluentes, cribas separadoras para la retención primaria de sólidos.

Ésta limpieza que debe ser de una frecuencia diaria, permite recuperar materiales que en función de su contaminación "verde" pueden ser incorporados o no a las líneas de procesamiento de subproductos no comestibles. Ésta acción de limpieza frecuente mejora también el efluente porque evita su contaminación con la materia orgánica que de permanecer en contacto por más tiempo entra en putrefacción. La recuperación es factible siempre que sean retirados frescos.

- **Barros separados del efluente en el tratamiento.-** Puede considerarse un subproducto del tratamiento de los efluentes líquidos. Consiste en separar las impurezas e suspensión y solubles de un líquido. Este material separado consiste en sustancia orgánica e inorgánica en forma de barro que contiene mucha agua. La disposición de las mismas constituye un problema serio del tratamiento de efluentes.

Los barros en general son de manejo difícil y costoso dado a su consistencia, putrescibilidad y baja concentración.

En general, los barros de los tratamientos primarios y secundarios son biológicamente activos y entran en putrefacción que puede conducir a olores apreciables.

3.4.2.3 Desechos Gaseosos

Se define como la existencia de sustancias en el aire resultante directo o indirecto de la actividad diaria de la industria en

concentraciones tal que pueden afectar la salud, seguridad y bienestar de los trabajadores o hasta incluso de una comunidad incluyendo sus propiedades.

En general las fuentes potenciales de olores en los establecimientos industrializadores de carnes tienen un origen común. En efecto, los materiales que se obtienen y procesan en las distintas etapas de elaboración son muy putrescibles por lo que deben procesarse lo más rápidamente posible. De lo contrario se descomponen con extremada facilidad dando origen entre los diversos productos de degradación a compuestos de olores ofensivos.

No obstante algunas unidades de procesamiento constituyen fuentes de potenciales más frecuentes debido a que la coexistencia de distintos factores tales como temperatura, estado de agregación de los materiales en proceso, etc., facilitan el desarrollo de las reacciones de descomposición recién mencionadas.

Como ejemplo se dan:

- Procesamiento de los materiales no comestibles para la obtención del sebo y harinas principalmente; para hacer uso más eficiente del equipo de procesamiento de subproductos no comestibles se requiere a menudo mantener los materiales a procesar almacenados durante ciertos períodos antes de someterlos a cocción.

En los meses de temperatura elevada a menos que estos se enfríen o calientes suficientemente para inactivar enzimas u otros agentes responsables del desdoblamiento de grasas, etc., éste almacenamiento prolongado aumenta el contenido en compuestos volátiles de fuerte olor agresivo que contamina la atmósfera particularmente cuando se volatilizan al iniciarse el proceso de cocción.

En el caso de la harina no existen problemas graves con material particulado, ya que es muy simple controlar la generación de polvos durante las operaciones de molienda y envasado de harinas.

- Procesamiento de intestinos en caso de operar con equipos modernos para la limpieza y desarrado de intestinos; no se tendrá problemas de mal olor, sin embargo habrá lugar a olores muy ofensivos y penetrantes en instalaciones donde se utiliza el proceso de fermentación.
- Pérdidas de amonio en los sistemas de refrigeración que operan con este refrigerante; tienen su origen por lo general en imperfecciones de operación (roturas) y/o diseño (presiones elevadas de condensación por entrada de aire en el sistema, superficie de condensadores insuficiente, etc), imperfecciones del mantenimiento, etc.
- Proceso de ahumado de pezuñas y cabezas; se realiza aplicando un soplete con el cual se eliminan los pelos de la cabeza y pezuñas de los animales por incineración. Al realizar dicha operación se produce gran cantidad de humo negro y denso, dando lugar a serios problemas de contaminación atmosférica.

3.4.3 AGUAS RESIDUALES DE CAMALES

Los desechos líquidos y sólidos que no se reutilizan o separan pasan a formar el agua residual de matadero que tiene alto contenido de materia orgánica; comprendido entre 1,500 y 2,200 mgDQO/L y nitrógeno en concentraciones que van de 120 a 180 mg/L en su composición predominan las proteínas y las grasas. La fracción insoluble del agua residual (SS Y coloides) forman el grueso de la DQO, siendo únicamente el 25% de la DQO materia soluble.

Tabla 3.10: Composición de las Fracciones Soluble e Insoluble del Agua Residual de Camal

CONSTITUYENTE		DQO (%)
FRACCIÓN INSOLUBLE	Grasas	67.5
	Proteínas	18.4
	Indeterminado	14.1
FRACCIÓN SOLUBLE	Grasas	1.0
	Proteínas	38.0
	AGV	54.0
	Indeterminado	7.0

Fuente: Andres Incer Arias, Tecnología disponible para el TAR.

3.4.3.1 Características de los Principales Desechos

a. Sangre

La sección de sangrado constituye una de las fuentes principales de carga orgánica en una industria de carne. El peso promedio de sangre generado por animal con un peso de 500Kg se ha encontrado que es de 14.77Kg con una DBO de 156,500mg/lit. Esto resulta de una contribución e 2.12 Kg de DBO por cada 454.55Kg de animal. La sangre descargada en el desagüe se diluye en el mismo

Tabla 3.11: Características de la Sangre Fresca de Ganado

CARACERÍSTICA	MEDIA	DESV. ESTANDAR	Nº DETERMINAC.
Ph	7.34	0.14	37
Humedad	82.40	3.40	39
DQO (mg/lit)	218,300.00	35,700.00	70
DBO (mg/lit)	156,500.00	58,000.00	35

Fuente: Andres Incer Arias, Tecnología disponible para el TAR.

b. Contenidos del Rumen

Las descargas de los contenidos del rumen de igual forma contribuyen en el aumento de carga orgánica, se estima que varía entre 18 a 27Kg con un promedio de 24.5Kg por animal y consiste principalmente en hierbas y cereales. La DBO de esta mezcla a sido estimada en 52,000mg/lt y contribuye con 1.14 Kg de DBO por cada 454.55Kg de peso vivo del animal. El contenido de sólidos suspendidos en este desecho es también considerable alto, alrededor de 15,000mg/lt. A continuación se muestra las características del contenido del rumen:

Tabla 3.12: Características del Contenido del Rumen

CARACERÍSTICA	MEDIA	DESV. ESTANDAR	Nº DETERMINAC.
pH	6.54	0.56	57
Humedad	84.70	3.4	58
DQO (mg/lt)			
- En la porción líquida	51,940.00	12,860.00	
- (% líquido)	88.40	3.30	
- En la porción sólida	1,138.00	82,000.00	
- (% sólido)	11.60	3.30	
DQO Total	177,300.00	38,500.00	
- % DQO del líquido	26.70		
- % DQO del sólido	73.30		
DBO (mg/lt)			
- En la porción líquida	28,240.00		
- En la porción sólida	151,900.00		
DBO Total	50,200.00	11,410.00	88
- % DBO del líquido	59.10	40,800.00	40
- % DBO del sólido	40.90	13,400.00	

Fuente: Andres Incer Arias, Tecnología disponible para el TAR.

c. Efluente del Procesamiento del Sebo

Otro efluente de carga orgánica importante lo constituye el procesamiento del sebo. Esta agua contiene alrededor de 75% del contenido de proteínas por lo tanto es una fuente importante

de DBO. Se ha estimado que el promedio de DBO del agua es 32,000mg/L además de un elevado contenido de grasas.

Los demás vertidos son de carga orgánica baja comparada con los anteriores.

Tabla 3.13: Principales Componentes de los Desechos de Plantas Empacadoras de Carne

FUENTE	SÓLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L)	NITRÓGENO ORGÁNICO (mg/L)	DBO (mg/L)
Piso de sacrificios	320	134	825
Sangrado y Tq. de agua	3,690	5,400	32,000
Tina con agua hirviendo	8,360	1,290	4,600
Corte de la carne	610	33	520
Lavado de entrañas	15,120	643	13,200
Dpto. de salchichonería	560	136	800
Dpto. de manteca de cerdo	180	84	180
Subproductos	1,380	186	2,200

Fuente: N. Nemerow, aguas Residuales Industriales

3.4.3.2 Biodegradabilidad Anaerobia del Agua Residual de Camal

La biodegradabilidad de las fracciones solubles e insolubles del agua residual de matadero fue estudiada en experimentos discontinuos (bacht). De acuerdo con los resultados, la fracción soluble es altamente biodegradable, lo que era de esperar dada la presencia de, principalmente AGV y proteínas solubles. Contrastando con éstos resultados, los sólidos suspendidos disminuyen únicamente en un 50%, indicando una degradación incompleta de las grasas. La fracción coloidal es degradada en último lugar. Basándose en los resultados experimentales podemos calcular que esta fracción es degradada en un 47%.

La eliminación de DQO total de la fracción que contenía sólidos suspendidos fue equivalente a la producción de metano. Esto indica que los sólidos suspendidos no degradados no se

acumularon en el reactor (fueron arrastrados fuera de éste). Sin embargo, la eliminación de DQO de los sólidos coloidales fue doble de la producción de metano (en DQO). Esto indica que la fracción coloidal no degradada fue absorbida en el lodo (eliminación de DQO no-biológica).

Tabla 3.14: Conversión de las diferentes fracciones del agua residual de matadero a metano y eliminación de DQO, durante la digestión anaerobia en un reactor con lodo granular con recirculación total del efluente.

(30°C, Duración del ensayo = 72h; Tiempo de contacto directo con el lodo = 17h). Referencia: Sayed, 1987

FRACCIÓN	METANIZACIÓN (%)	REMOCIÓN DE DQO (%)
Fracción soluble (Filtrado de membrana)	75	75
Soluble más coloidal (Filtrado en papel)	61	86
Sólidos suspendidos	50	50
Sólidos coloidales	47	97

Fuente: N. Nemerow, aguas Residuales Industriales

Durante el tratamiento anaerobio del agua residual de matadero, una parte mayoritaria de las proteínas es degradada y la fracción grasa es degradada parcialmente. La degradación de las grasas es el paso limitante de la velocidad del proceso de digestión. Generalmente la mitad de la grasa puede ser degradada mediante tratamiento en UASB.

Tabla 3.15: Porcentaje de Degradación De Grasas y Proteínas durante el Tratamiento en UASB de Agua Residual de Matadero

(Sayed, 1987)

COMPONENTES DE AGUA RESIDUAL	% ELIMINACIÓN $100 \cdot (\text{aflu} - \text{eflu}) / \text{aflu}$
Grasa	45.5
Proteínas	87.0

Fuente: N. Nemerow, aguas Residuales Industriales

IV. METODOLOGÍA

4.1 DESARROLLO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

El desarrollo del sistema de tratamiento para el agua residual proveniente de un camal se realizó mediante la utilización de una congeladora como unidad de almacenamiento, un sedimentador como pretratamiento, una bomba peristáltica para impulsar el agua residual a los reactores, cuatro tubos de acrílico como UASB y un Frasco de Mariotte para la medición de gas.

A continuación se describirá en detalle cada una de las unidades del sistema de tratamiento a escala laboratorio:

4.1.1 UNIDAD DE ALMACENAMIENTO DE DESAGUE CRUDO

Ésta congeladora se ubicaba dentro del laboratorio, adyacente a la bomba peristáltica y a los cuatro UASB. Se optó por almacenar la muestra en galoneras de 40L dentro de una congeladora a la temperatura de 4°C para retardar los cambios químicos y biológicos de la muestra, es decir mantener el afluente en condiciones constantes.

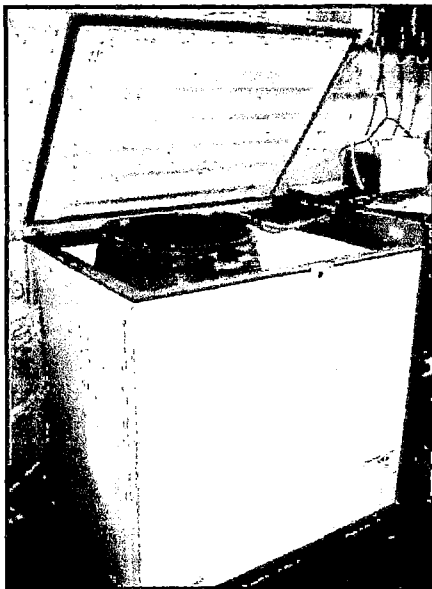


Figura N° 4.3: Congeladora a 4°C

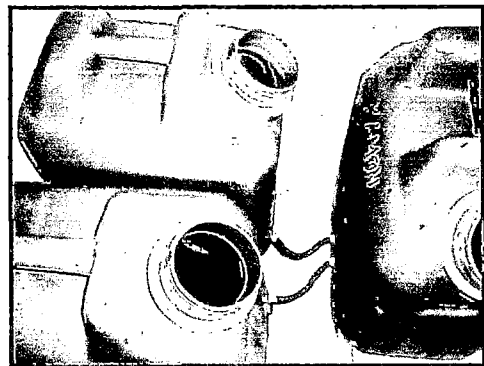


Figura N° 4.2: Galoneras dentro de congeladora

Características de la congeladora:

- Marca : Whirlpool
- Modelo : WHA 31
- Capacidad Total : 310L

4.1.2 UNIDAD DE SEDIMENTACIÓN

Debido a la gran cantidad de sólidos, así como de aceites y grasas presentes en los desagües de camales se utilizó un sedimentador como pretratamiento. Debido a falta de espacio, esta unidad se ubicó separada del resto del sistema, sobre un muro de concreto, a una altura adecuada del piso para la cómoda recolección del efluente.

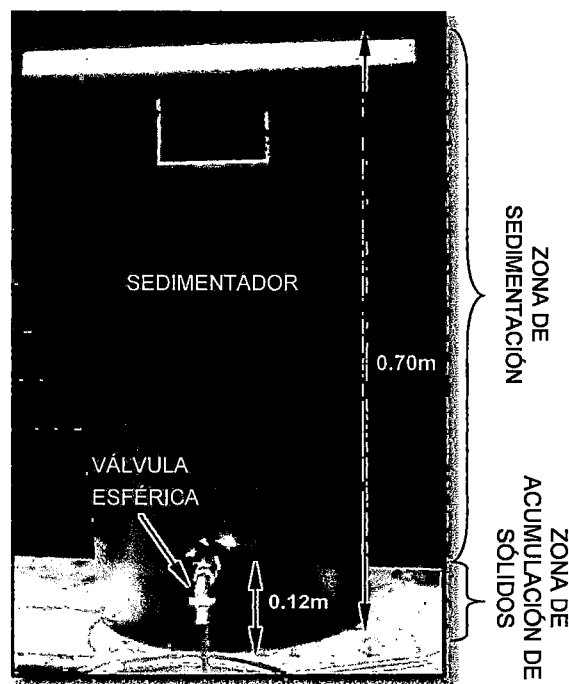


Figura N° 4.1: Sedimentador

Consistía en un balde plástico 70L, al cual se le adaptó una válvula esférica de $\frac{1}{2}$ " por donde se extraía el efluente, ésta válvula se encontraba a una altura de 12cm con respecto a la base inferior del sedimentador en donde se acumulaban los sólidos (Figura N° 4.1).

Características del sedimentador:

- | | |
|---------------------------|--|
| ▪ <i>Dimensiones:</i> | ▪ <i>Capacidad:</i> |
| Alto = 0.70m | Zona de sedimentación: 60L |
| Diámetro superior = 0.45m | Zona de acumulación de sólidos: 10L |
| Diámetro inferior = 0.30m | ▪ <i>Válvula esférica de bronce Ø ½"</i> |

4.1.3 SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE FLUJO CONTINUO

Se usó una bomba peristáltica para abastecer a los cuatro reactores anaerobios debido a las facilidades que ofrece al momento de proporcionar un flujo ascendente, graduar el caudal de bombeo, impulsar fluidos con carga de sólidos, maniobrarla y poder impulsar hacia dos destinos diferentes a la vez debido a que tiene dos cabezales.

La bomba no tiene contacto con el fluido, éste se transporta dentro de un tubo flexible empotrado en los cabezales de la bomba. Los tubos por ser flexibles tienen la facilidad de llegar a la zona de almacenamiento e impulsar el fluido hasta los reactores sin necesidad de accesorios; además, son resistentes, ya que el material se elige de acuerdo a la calidad del fluido que transporta y transparentes, por lo que se puede ver lo que ocurre dentro de ellos.

Se succionaba la muestra que contenían las galoneras dentro del congelador y se impulsaba a los cuatro reactores anaerobios. Debido a que la bomba sólo aceptaba dos cabezales y en cada cabezal se empotraba únicamente un tubo flexible se colocó una yee en los dos tubo, así se tenían 4 derivaciones, una para cada reactor. Además, luego de las yees se colocaron válvulas esféricas de ¾" en los cuatro tubos flexibles para el mantenimiento de los mismos y la calibración del caudal de ingreso para que sea igual en todos los reactores.

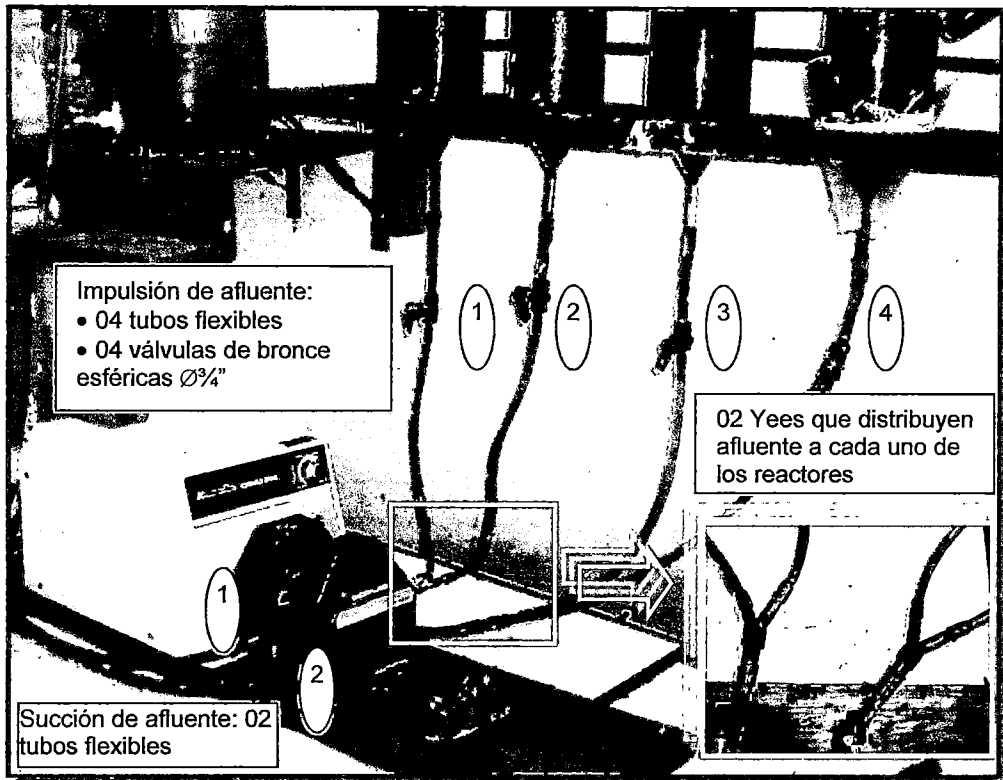


Figura N° 4.5: Bomba Peristáltica

Características de la bomba:

- Modelo: 77521-47
- Potencia de bomba: 0.1HP
- Revoluciones/minuto: 6- 600rpm

Características tubos flexibles:

- *Succión:*

Cantidad: 02 tubos flexibles.

Longitud de cada tubo usado: 1.70m

Diámetro interno: 8mm

- *Impulsión:*

Cantidad: 04

Diámetro interior: 5mm

Longitud de cada uno: 0.43m

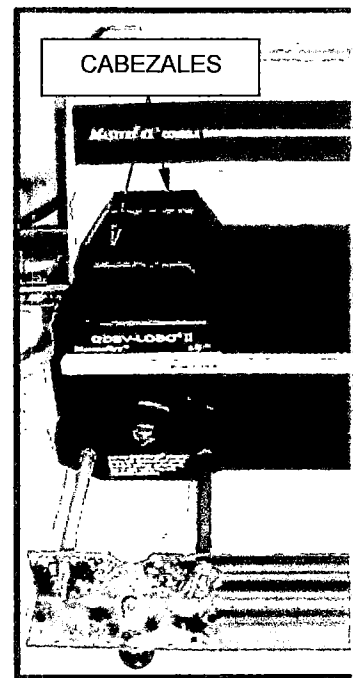


Figura N° 4.4: Bomba

4.1.4 CARACTERISTICAS DE LOS REACTORES ANAERÓBIOS

Para el tratamiento biológico se utilizaron cuatro tubos de acrílico de 8cm de diámetro como reactores anaerobios, apoyados en un soporte de madera y adosados en una pared con sujetadores metálicos

La alimentación a estos reactores se realizaba por la parte inferior, igual que en los UASB, con la finalidad que la muestra fluye hacia arriba y recorra todo el manto de lodos, haciendo posible la degradación de la materia orgánica. Para esto, se acoplo un embudo plástico que se conectaba con la línea de impulsión a través de su sección más pequeña. Este embudo se llenó con 25 canicas que servían como filtro; se utilizaron canicas del mismo diámetro para que este filtro sea una condición constante en los cuatro reactores.

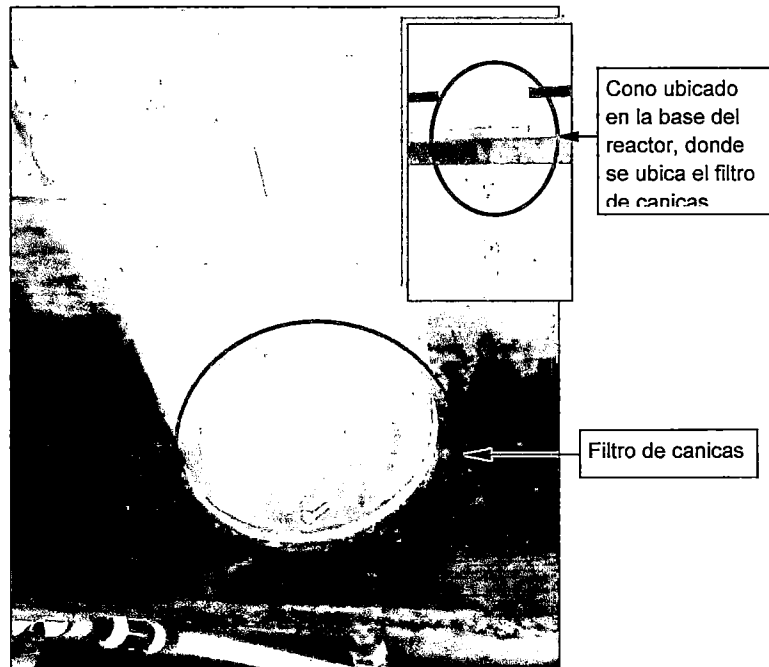


Figura N° 4.8: Filtro de canicas

Se utilizó dos alturas de manto de lodos, con la finalidad de evaluar con qué altura de lodo había más eficiencia; dos reactores contaban con 42cm de lodo mientras que los restantes con 28cm. Debido a la producción de gas en el reactor, y con la finalidad de formar una zona de separación de fases sólido-líquido-gas, se colocó a 0.10m del nivel

superior del manto de lodo, un embudo plástico con la sección de mayor diámetro hacia abajo que cabía exactamente en el interior del reactor, en la que se perforo agujeros triangulares en el borde, con la finalidad de liberar el gas que pueda quedar retenido en el embudo; la sección de menor diámetro del embudo estaba unida a un tubo de PVC $\text{Ø}1\frac{1}{2}$ " que era por donde debían escapar los gases producidos en el proceso de digestión anaerobia.

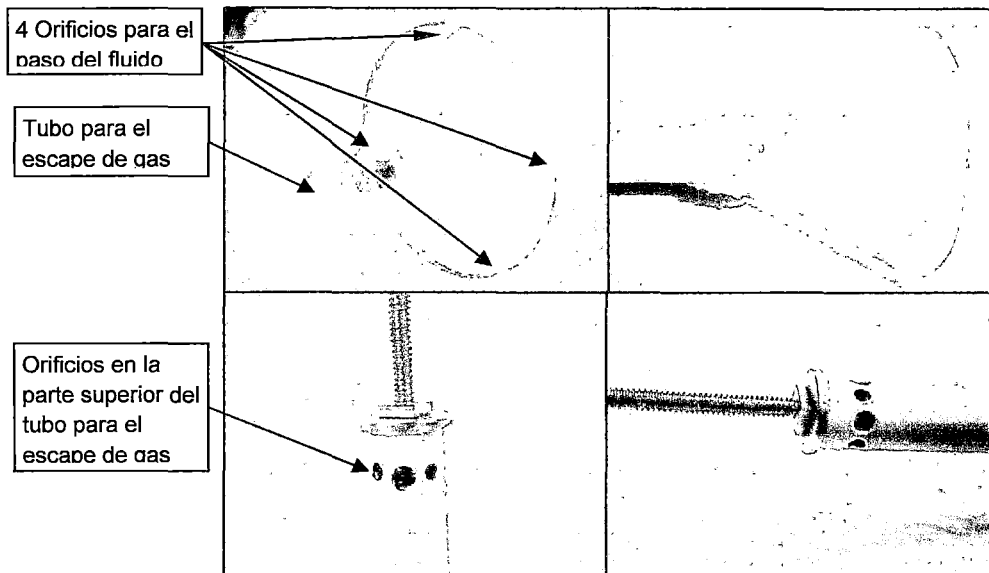


Figura N° 4.6: Embudo separador de la zona de sedimentación con la de digestión de lodo

Todos los reactores estaban tapados, para evitar condiciones aerobias, sin embargo para facilitar la salida de los gases estas tapas tenían un orificio para la ventilación del sistema. Solo el reactor 01 fue tapado herméticamente y conectado, a través de una manguera de silicona, a un Frasco de Mariotte para la medición del gas que producía.

La salida del efluente era por un tubito de vidrio adosado a 1.00m de altura con respecto a la base del reactor. Este tubito estaba unido a una manguera de látex, la cual estaba conectada un sistema de válvulas, necesarias en el muestreo de los efluentes.

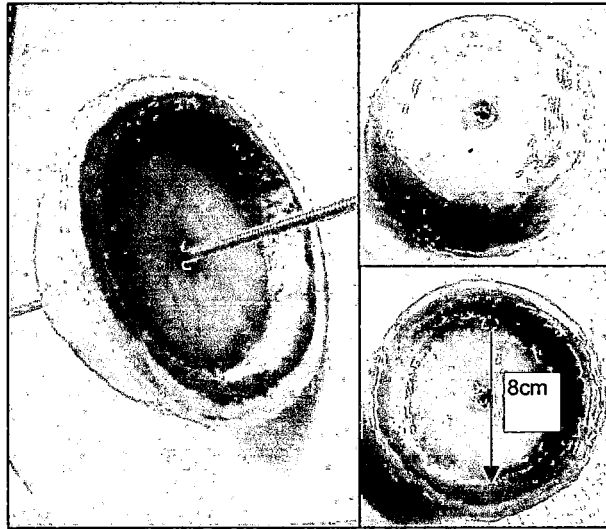


Figura N° 4.7: Tapas de los reactores

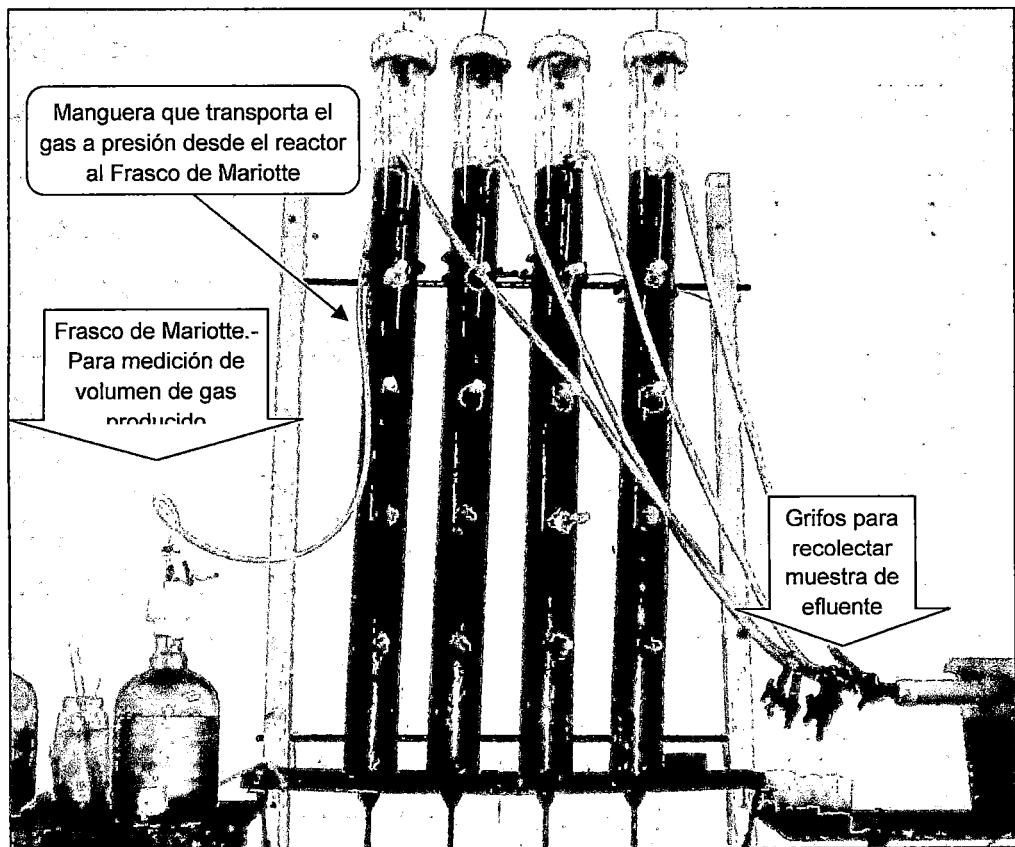


Figura N° 4.9: Reactores anaerobios alimentados con agua residual de matadero

- *Dimensiones de los reactores:*

Alto = 1.20m

Altura de salida del efluente = 1.00m

Altura de manto de lodo R1 y R2 = 0.42m. / Altura de manto de lodo R3 y R4 = 0.28m

\varnothing interior = 0.074m / \varnothing exterior = 0.080m

- *Diámetro de las canicas (Filtro) = 1.58cm*

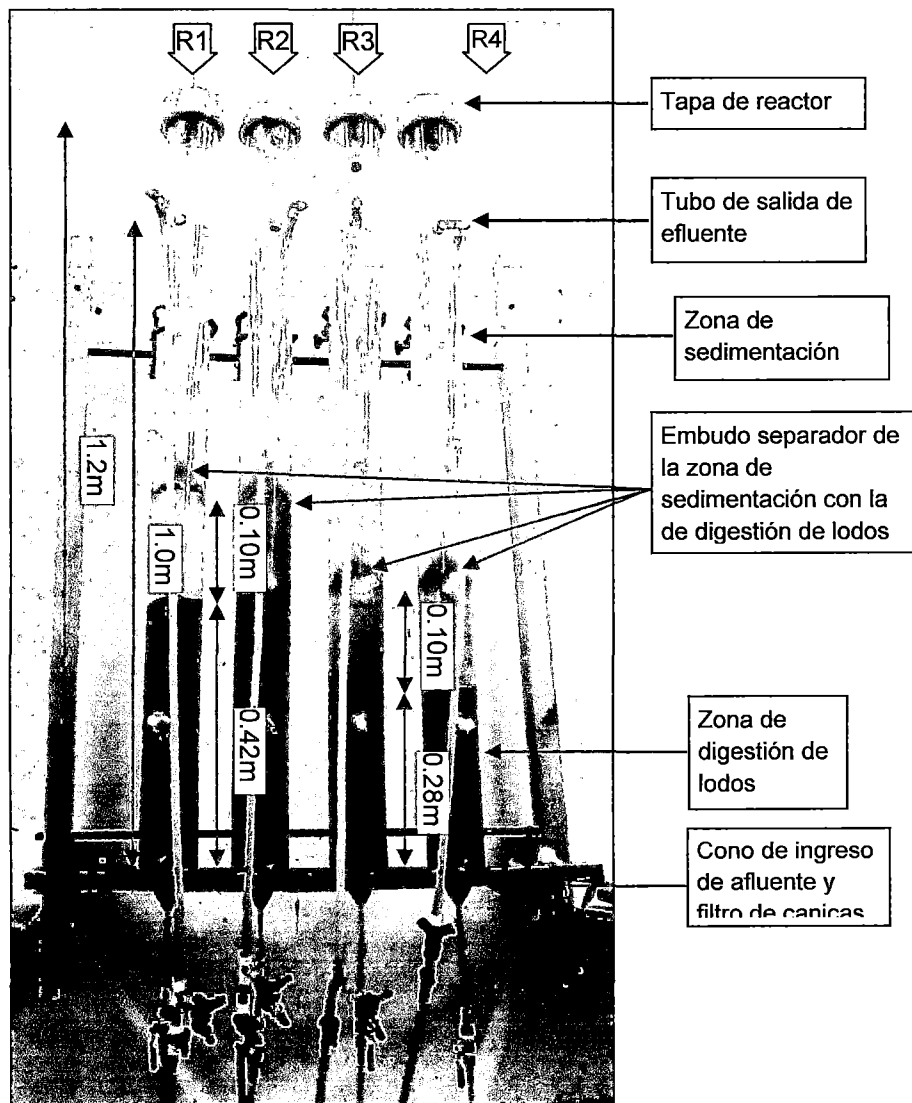


Figura N° 4.10: Reactores anaerobios alimentados con agua azucarada

4.1.5 UNIDAD DE MEDICIÓN DE GAS

Ya que en el proceso de digestión anaerobia se produce gran cantidad de gas resultante de la metanogénesis, se utilizó el principio de Mariotte para realizar la medición del volumen producido por el reactor anaerobio R1.

El Frasco de Mariotte consistía en una botella de vidrio con cuerpo ancho y boca angosta, de 5L de capacidad, provista de un tapón en la boca atravesado por una manguera de silicona y un pequeño agujero en la pared del cuerpo cerca a la base del frasco con un tubito incrustado en él. El diámetro de esta salida era pequeño, para evitar la entrada de aire a este frasco, y facilitar la visualidad del punto de equilibrio.

La manguerita que atravesaba el tapón del Frasco lo conectaba con el reactor R1 atravesando también la tapa de éste; dicha conexión era hermética. De ésta manera todo el gas que producía el reactor R1 pasaba al Frasco de Mariotte. Justo antes de atravesar el tapón de éste se había conectado en la manguera un sistema de válvulas que permitían aislar el Frasco del Reactor, introducir agua al Frasco y quitar aire de éste.

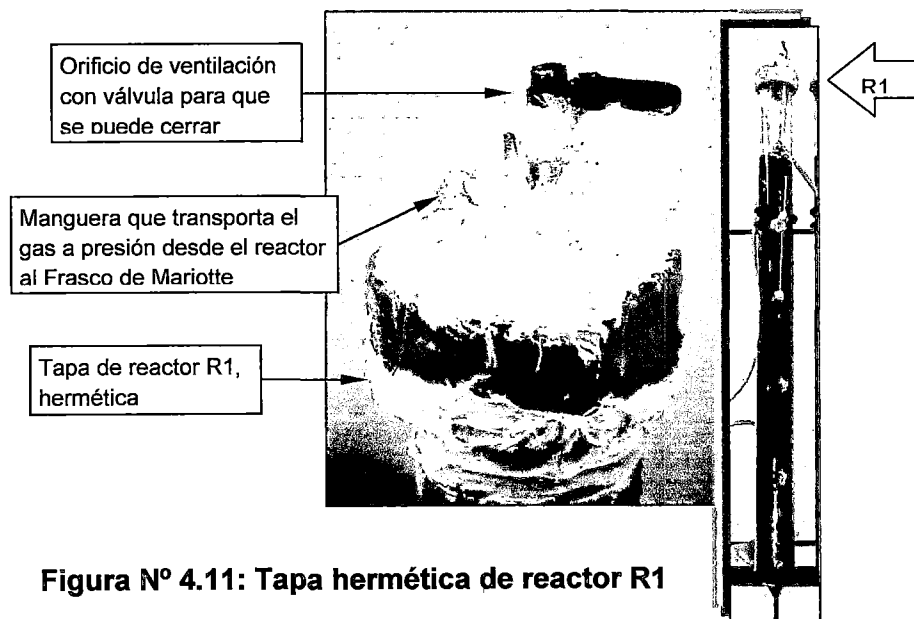


Figura N° 4.11: Tapa hermética de reactor R1

La tapa del reactor R1 tenía además de la manguerita incrustada en ella, un orificio de ventilación que se abría cuando no se estaba midiendo el volumen de gas producido, evitando así la acumulación del gas dentro del reactor.

Para medir el volumen de gas producido, el Frasco de Mariotte debía contener agua que al ser desplazada por el gas caía por goteo del pequeño orificio ubicado en la pared del frasco. Ésta agua se recolectaba durante un tiempo determinado en un envase para la posterior medición de su volumen.

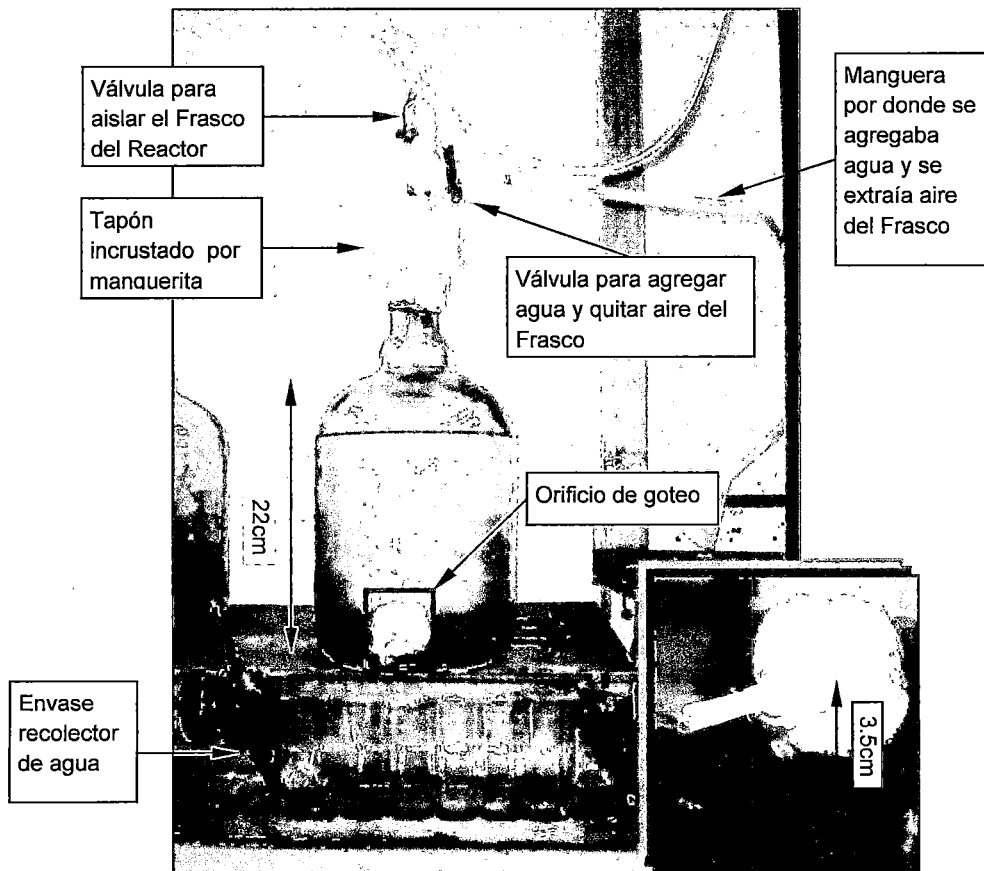


Figura N° 4.12: Frasco de Mariotte

▪ Dimensiones del Frasco de Mariotte:

Altura = 22.00 cm. Diámetro = 16.60 cm. Volumen = 5.00L.

Altura de orificio por donde gotea el agua = 3.50 cm.

4.2 INOCULACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL LODO

4.2.1 INOCULACIÓN DE LODO

La muestra de lodo a inocular se consiguió del RAFA de UNITRAR, que trata aguas residuales domésticas. La mitad de la muestra que se extrajo era del lodo que se encuentra a 2m de profundidad y la otra mitad, del lodo que se encuentra a 1.5m de profundidad.

Ésta mezcla de lodo de 1.5m y 2.0m de profundidad se llevó al laboratorio, en donde se caracterizó determinando los siguientes parámetros:

Tabla Nº 4.1: Análisis evaluados en el inóculo proveniente RAFA - UNITRAR

PARAMETRO	MAGNITUD	UNIDAD
Densidad del lodo	1.119	g/ml
Sólidos Totales	135.737	g/l
Sólidos Volátiles	70.658	g/l

Fuente: Elaboración Propia

Dentro del laboratorio se tenía armado un soporte de madera sujetando los cuatro tubos de acrílico vacíos a los que se les colocó, en la base, el filtro de canicas. Luego, se procedió a inocular en los reactores las siguientes alturas de lodo: En R1 y R2, 0.42m; y en R3 y R4, 0.28m, esta cantidades en peso equivalen a 2.12kg y 1,42kg respectivamente. A continuación, se colocaron los embudos separadores de las zonas de sedimentación y la de digestión de lodo a 0.10m de distancia de éste. Por último, se les colocaron las tapas a los reactores.

4.2.2 ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA

Éste período duró cinco semanas. Durante las cuales se buscó poner a trabajar a las bacterias del lodo a un ritmo acelerado y así puedan éstas adaptarse más rápidamente a un agua residual industrial, ya que inicialmente trataba agua residual doméstica.

Consistía en preparar una solución de agua azucarada con vinagre, en la siguiente proporción: 500ml de azúcar y 40 gotas de vinagre en 20L de agua potable.

Esta solución era vaciada en 02 galoneras de 40L cada una, ubicadas dentro del congelador a 4°C; para luego, encender la bomba peristáltica, de ésta manera acondicionar los reactores anaerobios. Además, con las válvulas esféricas ubicadas en las tubos flexibles de impulsión graduábamos el caudal de ingreso a los reactores alrededor de 9 ± 1 ml/min; éste caudal se verificaba a la salida de los reactores usando los grifos de muestreo.

Debido a que no es conveniente que la bomba funcione durante las 24 horas, parábamos de abastecer el reactor durante cuatro horas al día, las cuales aprovechábamos para preparar la solución de agua azucarada más vinagre y vaciarla en las galoneras. A diario se preparaba 48L de solución que se repartía en las dos galoneras, cada una de ellas abastecía a dos reactores.

Durante este período de acondicionamiento se caracterizó el agua azucarada más vinagre que ingresaba a los reactores (afluente) a través de los siguientes parámetros:

Tabla N° 4.2: Parámetros de medición: Agua con azúcar + vinagre

PARÁMETRO	MAGNITUD	UNIDAD
PH (a 2.3°C)	6.9	PH
DQO	54300	mg/lt
DBO	9717	mg/lt

Fuente: Elaboración Propia

El caudal elegido era adecuado para evitar que el lodo se levante y tenía un periodo de retención hidráulico de 10 horas.

4.2.3 CARACTERIZACIÓN DEL LODO DE ARRANQUE

Una vez concluido el período de acondicionamiento se tomó muestra de lodo a una altura de 10cm con respecto a la base de los reactores en cada uno de estos, para realizarle análisis y determinar así algunas de sus características.

Los análisis que se realizaron a los lodos fueron:

Análisis de Sólidos

Tabla N° 4.3: Valores de sólidos provenientes del lodo de arranque en cada reactor

LODO INICIO DE ARRANQUE	SOLIDOS		
	SOLIDOS TOTALES (mg/L)	SOLIDOS FIJOS (mg/L)	SOLIDOS VOLATILES (mg/L)
R1	94,152.38	36,485.71	57,666.67
R2	98,390.48	35,985.71	62,404.76
R3	96,004.76	34,042.86	61,961.90
R4	83,090.48	21,090.48	62,000.00

Fuente: Elaboración Propia

Microbiológicos – Tinción Gram de bacterias anaerobias

Se prepararon placas con agar para anaerobios según Brewer, dos por cada reactor para tener duplicidad de datos. En ellas se inoculó 1ml de lodo diluido a una concentración igual a 10^{-1} y se colocaron dentro de una jarra de anaerobiosis con un sobre de anaerobiosis para la generación de condiciones anaerobias, luego se incubaron a 35°C durante 24 horas.

En las placas de los cuatro reactores se identificaron mediante el estetoscopio tres colonias distintas denominadas C1, C2 y C3.

Se aislaron éstas tres colonias inoculándolas nuevamente en placas con agar para anaerobios según Brewer por separado. Para cada colonia (C1, C2 o C3) había una placa, ésta se dividió en cuadrantes y en cada cuadrante se inoculó la colonia de un reactor distinto. Luego se dejó incubar dentro de la jarra de anaerobiosis con el pack respectivo para la generación de condiciones anaerobias, a 35°C durante 24 horas.

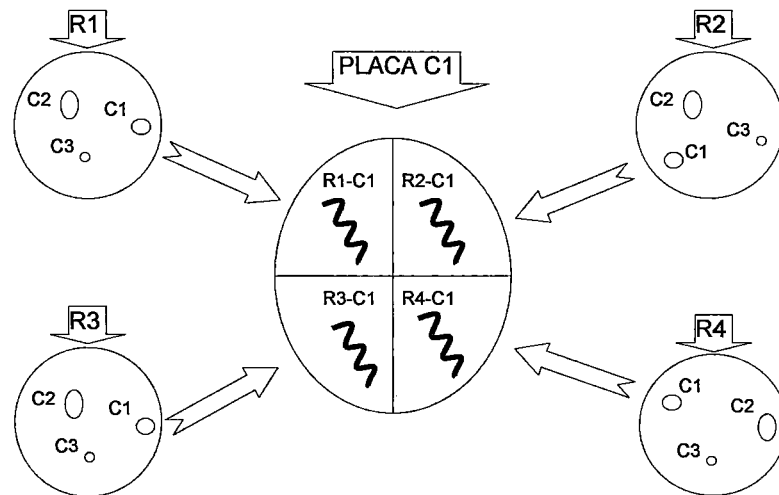


Fig. N°14.- Aislamiento de colonias diferenciadas en el lodo de arranque

Después de las 24 horas de incubación se realizó la tinción Gram en cada colonia de cada reactor. Con esto pudimos observar a las bacterias mediante el microscopio y hacer una sencilla caracterización. Además, también pudimos comprobar que las colonias C1 de todos los reactores pertenecían a la misma clase de bacteria, del mismo modo para las colonias C2 y C3.

La caracterización de las colonias y bacterias obtenidas de estas muestras de lodos se encuentran descritas en el capítulo 5, ítem 5.7.

4.3 PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA A ESCALA LABORATORIO

Se considera como puesta en marcha el periodo que empieza desde la primera vez que se alimentó al sistema con el agua residual proveniente del camal, hasta el punto en que se aprecia remoción positiva con tendencia ascendente en los análisis que se realizan en la evaluación de los mismos. Éste período duró aproximadamente quince días.

La primera vez que se alimentaron los reactores con el efluente del matadero se observó la transición de color en los reactores. El color amarillento que tenía el agua azucarada más vinagre dentro de los reactores se iba mezclando progresivamente con el rojo proveniente del agua residual de matadero; hasta que el color amarillento desapareció por completo y el tono rojo se hacía más intenso. De aquí en adelante se comenzaría a alimentar a los reactores de lunes a viernes con agua de matadero a razón de 12ml/min en promedio.

Además durante este período se realizaron análisis de DBO y DQO una a dos veces por semana; también se tomaron algunos datos de pH, Temperatura y sólidos de afluente y efluentes de los reactores y pH y Temperatura de lodo.

Tabla N° 4.5: Resultados DBO – Puesta en Marcha

FECHA	MUESTRA				
	CRUDO	R1	R2	R3	R4
22/09/2009	2,152.62	-	-	-	-
01/10/2009	2,572.25	2,632.25	3,472.25	2,692.25	2,782.25
07/10/2009	939.15	1,203.16	1,149.14	1,233.14	1,251.15
14/10/2009	663.60	813.18	753.16	795.15	813.17
15/10/2009	1,239.04	1,341.01	1,307.96	1,535.95	1,445.93
20/10/2009	1,485.30	1,476.30	1,315.05	984.30	1,308.30

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4.6: Resultados DQO – Puesta En Marcha

FECHA	MUESTRA					
	CRUDO SIN SEDIMENTAR	CRUDO SEDIMENTADO	R1	R2	R3	R4
22/09/2009	4,523	-	-	-	-	-
28/09/2009	-	4,785	-	-	-	-
01/10/2009	-	3,650	3,926	4,564	4,298	4,193
07/10/2009	-	2,960	2,660	2,560	2,520	2,390
12/10/2009	-	2,130	2,030	2,090	-	-
14/10/2009	-	1,960	2,330	2,230	1,830	2,120
15/10/2009	-	4,495	3,450	3,180	3,170	3,130

Fuente: Elaboración Propia

4.4 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

4.4.1 OPERACIÓN DEL SISTEMA

La operación de las unidades de tratamiento a escala laboratorio se realizó durante 18 semanas e involucro diferentes parámetros. La remoción y/o medición de dichos parámetros se evaluó en algunos casos en todas las unidades, mientras que en otros solo se evaluó en unidades específicas. A continuación se menciona los parámetros y las unidades en que se analizó la remoción y/medición de cada parámetro:

Tabla N° 4.7: Análisis realizados en cada unidad de tratamiento

PARÁMETRO ANALIZADO	Pre - Tratamiento	UASB			
		R1	R2	R3	R4
Demanda Bioquímica de Oxígeno	X	X	X	X	X
Demanda Química de Oxígeno		X	X	X	X
pH	X	X	X	X	X
Temperatura	X	X	X	X	X
Sólidos totales		X	X	X	X
Sólidos totales volátiles		X	X	X	X
Sólidos suspendidos		X	X	X	X
Sólidos suspendidos volátiles		X	X	X	X
Nitrógeno total		X		X	
Fósforo total		X		X	

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, cabe señalar que todos los análisis fueron realizados por las tesis en el Laboratorio N° 20 de la FIA-UNI, a excepción de nitrógeno y fósforo total, los que fueron analizados en Envirolab Perú SAC. La justificación del cálculo de los parámetros evaluados en la FIA, así como los informes entregados por Envirolab Perú SAC, se pueden encontrar en el capítulo Anexos.

A continuación se describirán los procedimientos operativos realizados durante todo el periodo de evaluación:

4.4.1.1 Recojo de muestra (agua residual de camal):

Se realizó dos veces por semana, los días lunes y miércoles, ya que en estos días mataban mayor número de animales en el camal, aproximadamente a las 8.00am. El volumen recolectado en cada muestreo era de 140L, teniendo un volumen total semanal de 280L. Previamente a la recolección, con la ayuda de un embudo y un colador de metal, se retenían algunos de los sólidos sedimentables, tal como se observa en la figura N° 4.16.

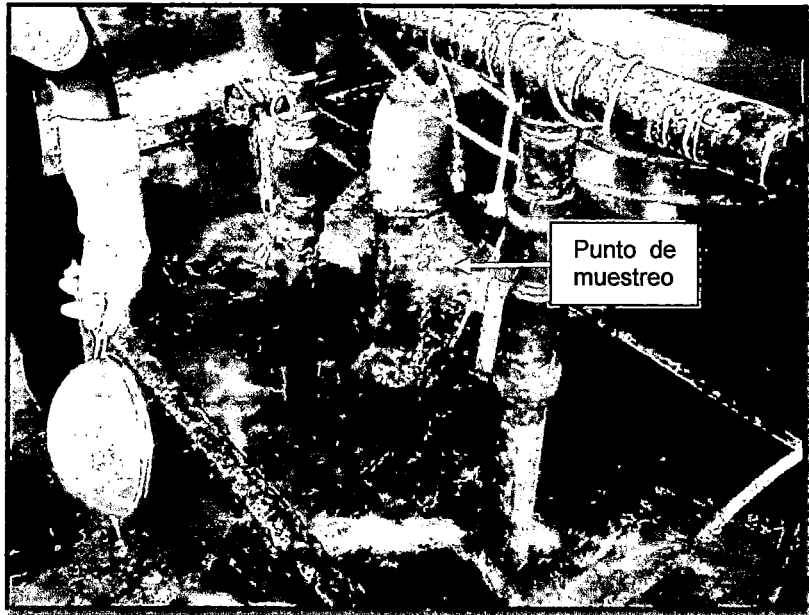


Figura N° 4.15: Lugar de Muestreo en el Camal

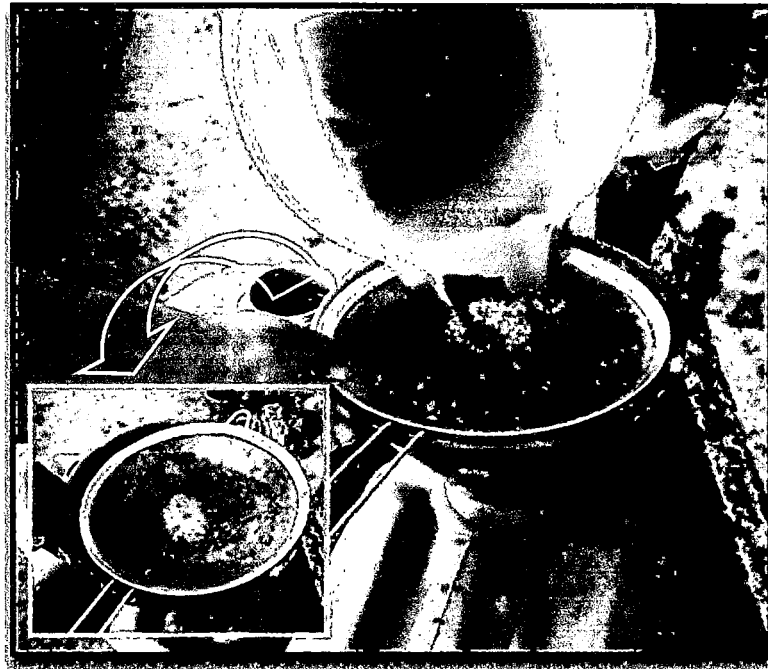


Figura N° 4.16: Sólidos sedimentables retenidos en el recojo de muestra

4.4.1.2 Eliminación de sólidos sedimentables:

Se realizaba con la ayuda del sedimentador acondicionado, se llenaba toda esta unidad y se dejaba el afluente durante 4 horas, pasado este tiempo se procedía a la recolección de la muestra libre de sólidos sedimentables. Para evaluar la remoción de materia orgánica en esta unidad, se tomaba muestra del agua residual antes y después de dicho proceso, el análisis realizado era Demanda Química de Oxígeno (DQO), también se midió pH y temperatura. Los muestreos en esta unidad se realizaban 3 veces a la semana, los días lunes, martes y miércoles. El volumen del efluente recolectado de esta unidad era de 60L, el cual era repartido en dos galoneras de cuarenta litros de capacidad, las cuales eran transportadas a una congeladora, con la finalidad de mantener sus condiciones hasta el día siguiente en que se utilizaba esta muestra para la alimentación de los reactores¹.

Cabe señalar que es muy probable que en esta unidad también se haya removido aceites y grasas, ya que al momento de revisar el sedimentador, pasadas las 4 horas, se encontró una nata de grasa en la superficie del líquido, sin embargo no se realizó mediciones de dichos parámetros en esta unidad.

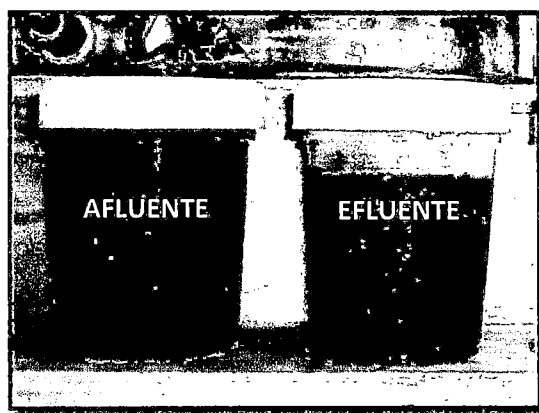


Figura Nº 4.17: Afluente y Efluente del sedimentador

¹ Esta interrupción en el proceso se realizaba para cumplir con los tiempos de retención en el muestreo en cada unidad y debido a las limitaciones de tiempo en el ambiente en donde se armó el sistema.

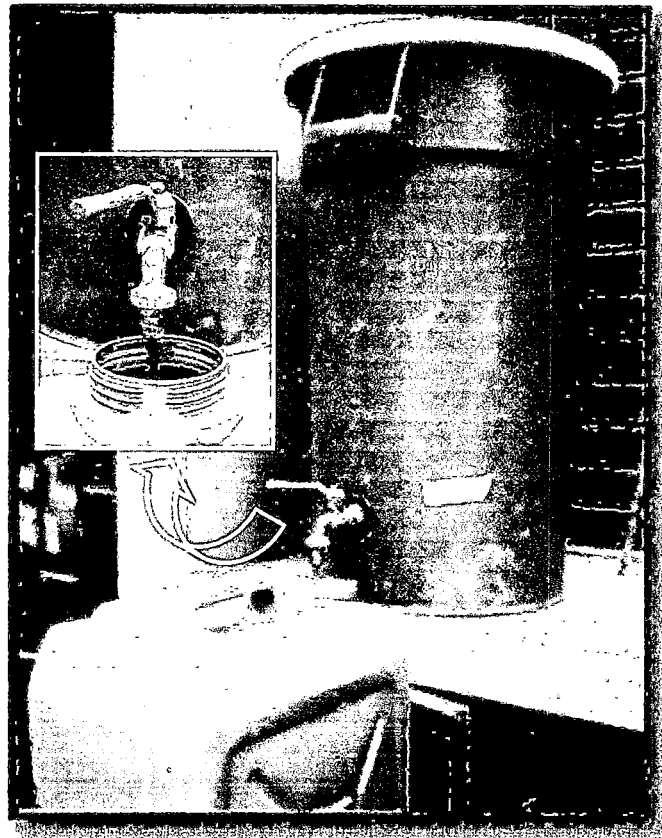


Figura N° 4.18: Recolección de agua residual previo proceso de sedimentación



Figura N° 4.19: Nata formada luego de 4 horas de sedimentación

4.4.1.3 Recuperación y Caracterización de los Efluentes

Los muestreos en estas unidades (R1, R2, R3 y R4) se realizaron tres veces a la semana, los días martes, miércoles y jueves, como ya se menciona al día siguiente de la recolección de la muestra sedimentada en la unidad anterior.

La jornada comenzaba a las 9.00am, recolectándose muestra suficiente para realizar las mediciones y análisis de pH, temperatura, DBO, DQO, ST, STV, SST, SSV y en algunas ocasiones nitrógeno total y fósforo total. Luego de la recolección de muestra comenzaba la contabilización del periodo de retención hidráulico, el cual era de aproximadamente 6 horas, es decir la toma de muestra de los efluentes se realizaba a las 3.00pm, recolectándose, de la misma manera que para el afluente, la cantidad suficiente de muestra para los análisis antes mencionados.



Figura Nº 4.20: Recolección de efluentes de los cuatro UASB a escala laboratorio

Esta recolección se realizaba con la ayuda del sistema de válvulas armado antes de la operación. En la operación, las válvulas de salida se encontraban abiertas mientras que las de muestreo estaban cerradas; al momento de proceder al muestro esta situación se invertía, se abrían las válvulas de muestreo, mientras que las válvulas de salida se encontraban cerradas, como se muestra en la figura N° 4.21.

El caudal de trabajo de cada reactor era aproximadamente de 12 mL/min, para lograr este caudal en todos los reactores se tenía que calibrar dicho sistema, con la ayuda de las válvulas de entrada, salida y muestreo. Este proceso consistía en abrir y cerrar las válvulas de muestreo y salida respectivamente, y cerrar parcialmente las válvulas de entrada para llegar al caudal deseado. Cabe señalar que este proceso se realizaba por dos razones: la presencia del accesorio Y, ubicado para la distribución de caudales en los reactores, el cual no aseguraba una distribución uniforme; y la diferencia de alturas de lodo en los reactores R1 - R2 y R3 - R4, debido a que la bomba peristáltica utilizada brindaba la potencia necesaria para impulsar el agua hasta la altura deseada, interviniendo en este valor la perdida de carga, diferente en los reactores debido a las diferentes alturas de lodos.

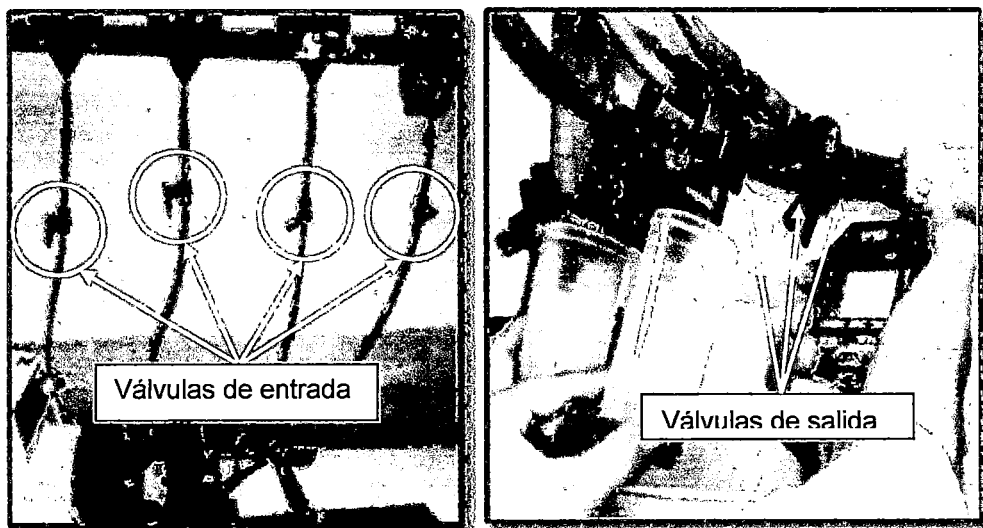


Figura N° 4.21: Válvulas de entrada, salida y muestreo usadas para el mantenimiento y calibración del sistema

4.4.1.4 Instalación y Puesta en Marcha de la Unidad de Medición de Gas

Para la medición de volumen de gas producido en el reactor N° 1, como ya se menciono, se utilizo un frasco de vidrio de 5L, que servía de frasco Mariotte, el cual debía ser calibrado cada vez que se necesitaba realizar la medición del volumen de gas producido por el reactor mencionado.

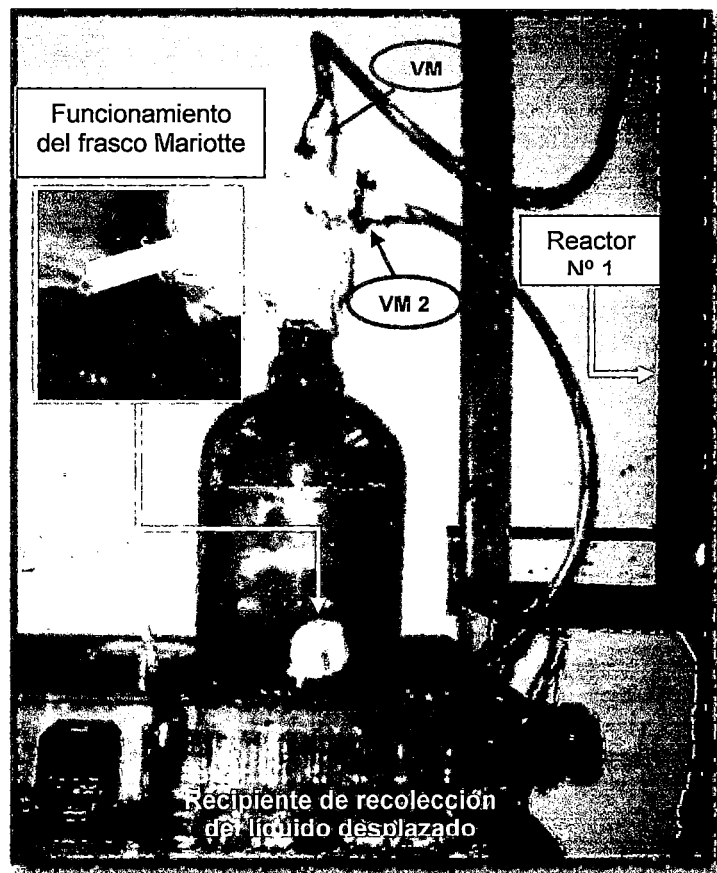


Figura N° 4.22: Funcionamiento del frasco de Mariotte

Para poner en funcionamiento este frasco, se debe realizar el proceso de calibración del mismo. Este proceso consistía en aspirar el gas atrapado con la ayuda de una aspiradora dentro del frasco, para esto se cerraba la válvula de entrada al frasco (VM 1), y la válvula de ventilación (VM 2) abierta, ya que por esta salida se extrae el aire. Cabe señalar que en este proceso hay que evitar la entrada de aire

por la salida de ventilación y/o salida del agua desplazada, esta última era tapada con silicona caliente. En la figura N° 4.23 se muestra el proceso de calibración.

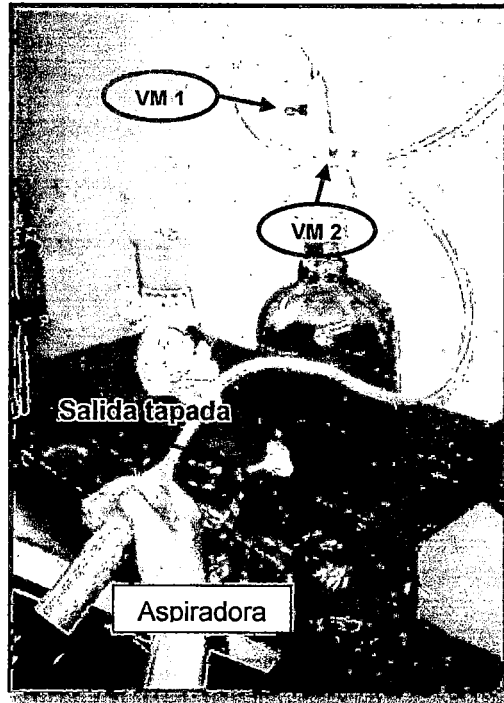


Figura N° 4.23: Extracción del gas atrapado en el sistema

Una vez extraído todo el aire dentro del frasco, se procedía a cerrar la válvula VM 2, manteniendo todavía cerrada la válvula VM 1, y se destapaba la salida que había sido bloqueada con una tapa hecha con silicona; en este punto se observaba como el sistema llegaba al punto de equilibrio, con la llamada "gota de equilibrio". Una vez listo el sistema se procedía a realizar la medición, es decir calcular el volumen de gas producido en un intervalo de tiempo cronometrado; para esto se abría la válvula de entrada del frasco (VM 1) y se cerraba la ventilación colocada en la tapa del reactor N° 1 simultáneamente.

Una vez realizada la medición, se procedía a llenar el frasco para volver a repetir el proceso, aspirando nuevamente el gas dentro del frasco e introduciendo agua por la tubería auxiliar del mismo.

4.4.2 MANTENIMIENTO DE TODOS LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO

Como todo sistema de tratamiento, nuestro sistema a escala laboratorio demandaba el mantenimiento del mismo. Las labores de mantenimiento realizadas fueron básicamente de limpieza manual de las mangueras de entrada y de salida. Este proceso se realizaba con la ayuda de un alambre y agua caliente para facilitar la remoción de la capa formada en las paredes de las mangueras. La frecuencia de limpieza era semanal, y generalmente se realizaba los días viernes.

De la misma manera, se realizaba la limpieza manual del sedimentador, una vez a la semana, los días lunes. Para este proceso, se destapa el balde y se esperaba aproximadamente 20 minutos, con el fin de dispersar los gases acumulados dentro de la unidad. Pasado este tiempo se procedía a limpiar las paredes, así como la tapa del sedimentador, con la ayuda de una esponja adherida a un alambre.

Así mismo, debido al esponjamiento del lodo encontrado en la semana 13 en los 4 reactores (Ver Figura N° 4.26). Las alturas encontradas en esta situación fueron las siguientes:

- Reactor 1: 46.50 cm
- Reactor 2: 43.00 cm
- Reactor 3: 34.00 cm
- Reactor 4: 34.00 cm

Por lo que se procedió a la evacuación de parte de los lodos alturas (Ver Figura N° 4.27), hasta las alturas iniciales de trabajo (42cm para los reactores R1 y R2, y 28cm para los reactores R3 y R4).

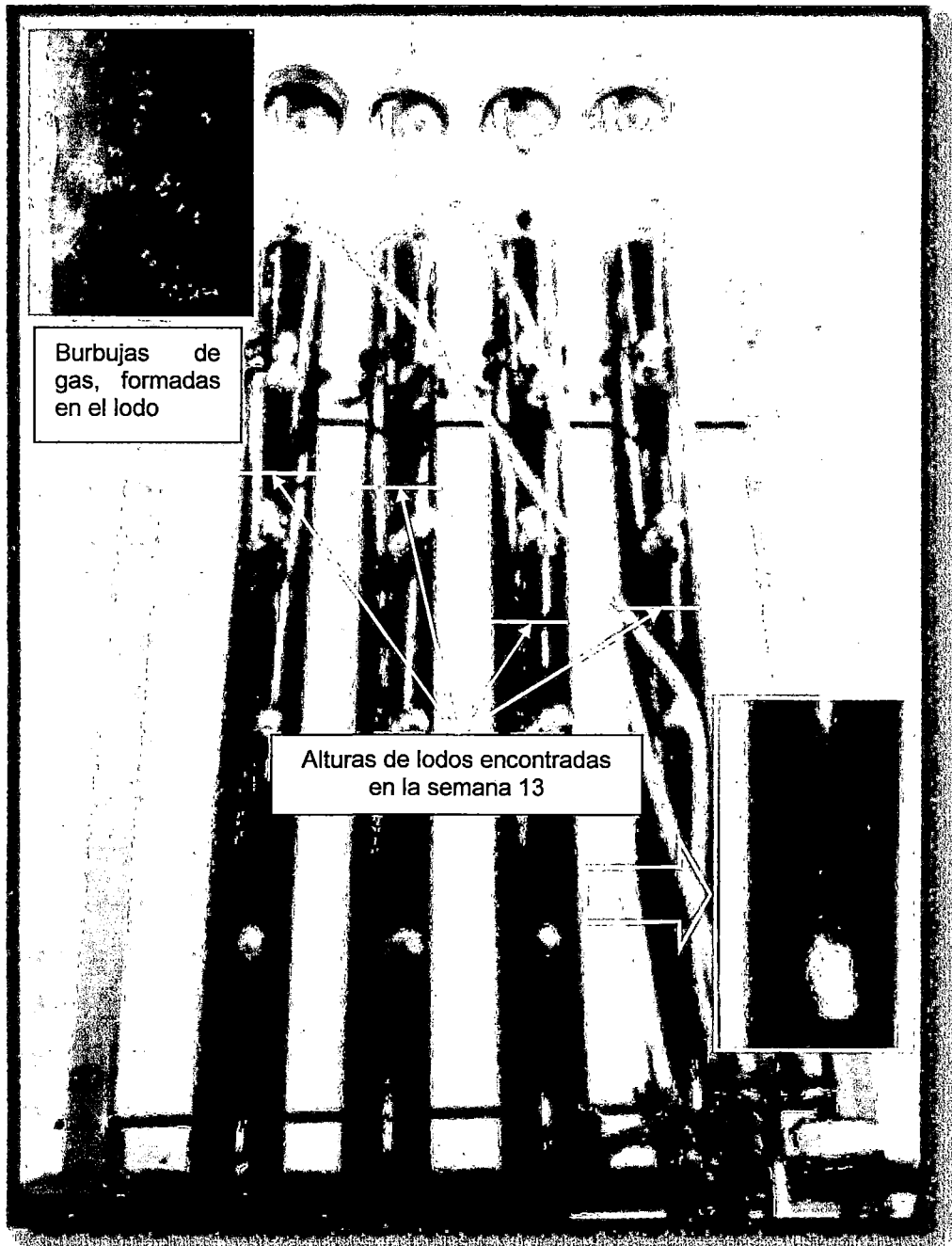


Figura N° 4.26: Expansión del lodo en los cuatro reactores a escala laboratorio, semana 13

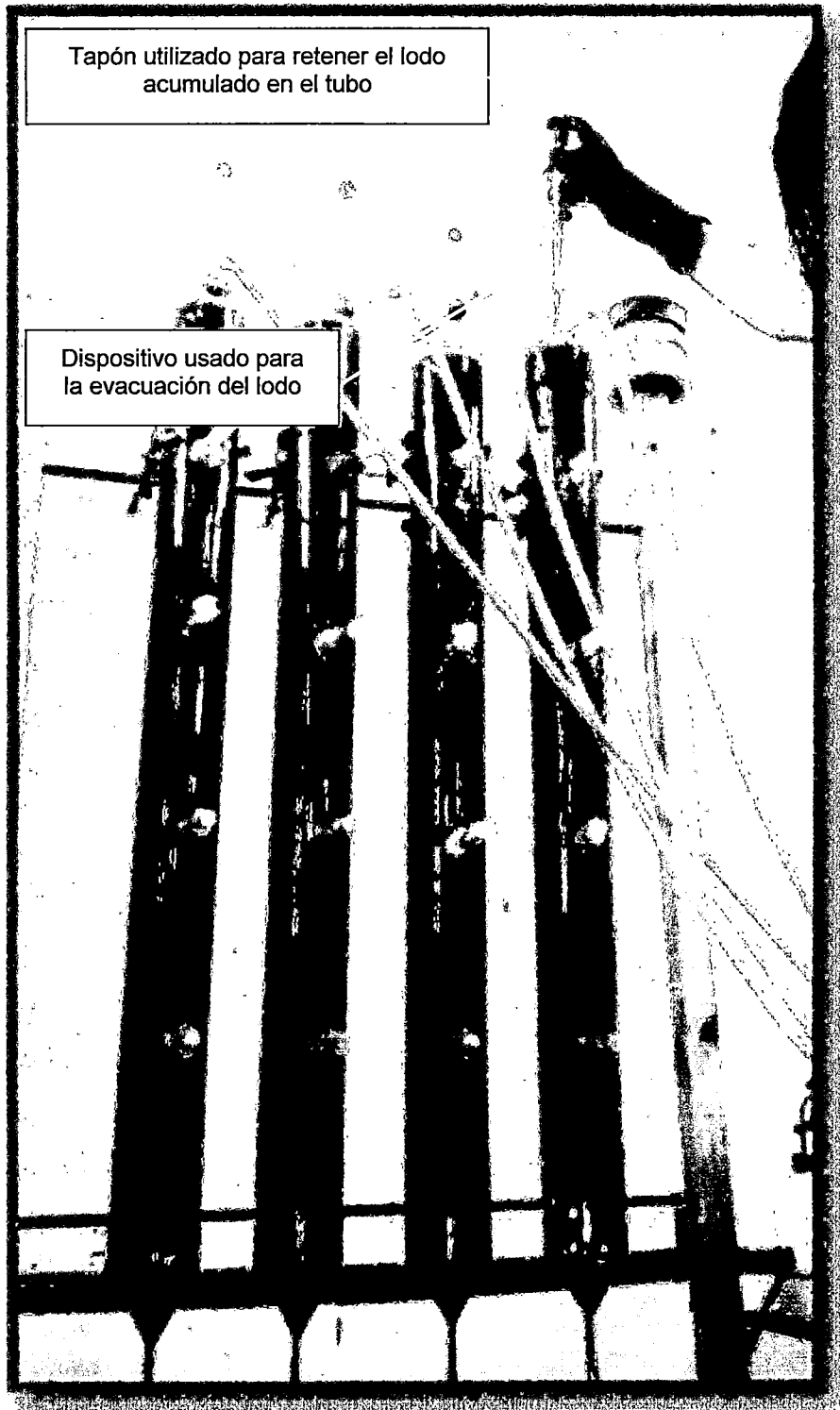


Figura N° 4.27: Evacuación del lodo de la parte inferior del reactor

Se realizaron análisis de ST y STV del lodo evacuado de la parte baja del reactor. Solo por fines comparativos se realizó los mismos análisis de lodo ubicado en la parte superior de cada reactor. Los resultados obtenidos de dichos análisis se muestran en la Tabla N° 4.8.

Tabla N° 4.8: ST y SVT del lodo evacuado en la semana 13

	SOLIDOS TOTALES (mg/L)	SOLIDOS FIJOS (mg/L)	SOLIDOS VOLATILES (mg/L)
Lodo R1 - Parte superior	80.890	24.695	56.195
Lodo R1 - Parte inferior	78.005	32.080	45.925
Lodo R2 - Parte superior	53.725	21.620	32.105
Lodo R2 - Parte inferior	98.985	34.290	64.695
Lodo R3 - Parte superior	54.085	15.580	38.505
Lodo R3 - Parte inferior	86.815	36.945	49.870
Lodo R4 - Parte superior	59.975	21.830	38.145
Lodo R4 - Parte inferior	83.725	34.080	49.645

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos, se deduce que el lodo evacuado de la parte inferior es más rico en materia orgánica, es decir más rico en vida microbiana, que el lodo de la parte superior, a excepción del R1, por lo que lo más conveniente hubiera sido evacuar el lodo de la parte superior.

Para el proceso de evacuación de lodo, mencionado en el párrafo anterior, se utilizó un tubo PVC de ½" de 1.25m de largo. Para la extracción, se introducía el tubo, hasta la altura en que se necesitaba evacuar lodo y se esperaba que por medio del fenómeno de vasos comunicantes, este tubo se llenara del lodo; una vez lleno, se procedía a tapar el extremo libre del tubo, con un tapón tipo hembra de ½", para luego sacarlo y llenar el lodo atrapado en este en un vaso de muestreo.

4.5 CARACTERIZACION DEL LODO DESPUES DEL PERIODO DE EVALUACION

Luego del periodo de evaluación del sistema, se procedió a estudiar las características del lodo obtenido, analizándose sólidos totales y volátiles, así como coliformes totales y fecales, y por ultimo sembrado y cultivo de muestras del lodo en un medio anaerobio (Agar para anaerobios según Brewer).

4.5.1 SÓLIDOS TOTALES Y VOLATILES

Se realizaron análisis de sólidos totales y volátiles del lodo obtenido al final del periodo de evaluación, tanto de la parte inferior como superior de cada reactor, para comparar las características de ambos. Como ya se explico, la toma de muestra se realizo con la ayuda de un tubo (capilar) utilizando el principio de vasos comunicantes. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla N° 4.9: ST y SVT del lodo evacuado al término del periodo de evaluación

	SOLIDOS TOTALES (mg/L)	SOLIDOS FIJOS (mg/L)	SOLIDOS VOLATILES (mg/L)
Lodo R1 - Parte superior	74.925	27.940	46.985
Lodo R1 - Parte inferior	120.215	46.405	73.810
Lodo R2 - Parte superior	72.395	26.485	45.910
Lodo R2 - Parte inferior	53.530	19.070	34.460
Lodo R3 - Parte superior	67.675	23.835	43.840
Lodo R3 - Parte inferior	88.645	30.840	57.805
Lodo R4 - Parte superior	68.890	24.150	44.740
Lodo R4 - Parte inferior	29.100	9.935	19.165

Fuente: Elaboración propia

4.5.2 COLIFORMES TOTALES Y FECALES

Para confirmar la presencia de *Escherichia Coli*, bacteria ácido génica presente en el proceso de digestión anaerobia, se realizó la prueba de coliformes fecales, comprobándose la presencia de la misma.

Para dicha identificación se utilizaron 3 caldos (medios ricos en nutrientes) diferentes, a continuación se mencionan la prueba realizada de acuerdo al caldo utilizado:

- Caldo Lauril: Prueba Presuntiva
- Caldo Brila: Prueba para Identificación de Coliformes Totales
- Caldo EC: Prueba para Identificación de Coliformes Fecales

Para estas pruebas, se prepararon diluciones de las muestras de lodo de cada reactor en tubos de ensayo, combinando 9mL de agua destilada esterilizada con 1mL de la muestra inmediata anterior². Cada siembra de dilución en todos los caldos se realizó por triplicado, según lo recomendado en la bibliografía revisada.

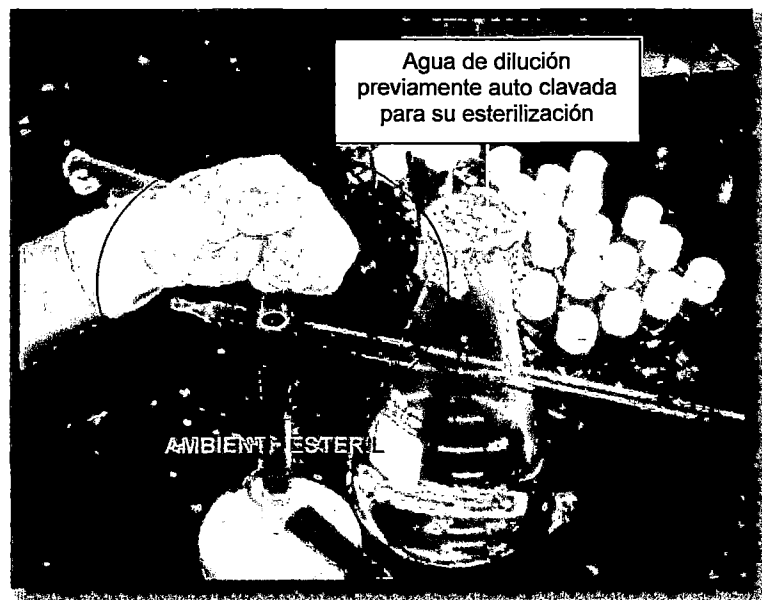


Figura N° 4.28: Preparación de diluciones

² El ambiente y los materiales utilizados para la preparación de las diluciones estuvo debidamente esterilizado.

Las diluciones sembradas en el primer análisis, caldo Lauril, fueron 10^{-2} hasta 10^{-11} . Después de 24 ± 2 horas de incubación a una temperatura de 35°C , se identifico presencia de turbidez y formación de gas hasta la dilución 10^{-7} en el reactor R4.

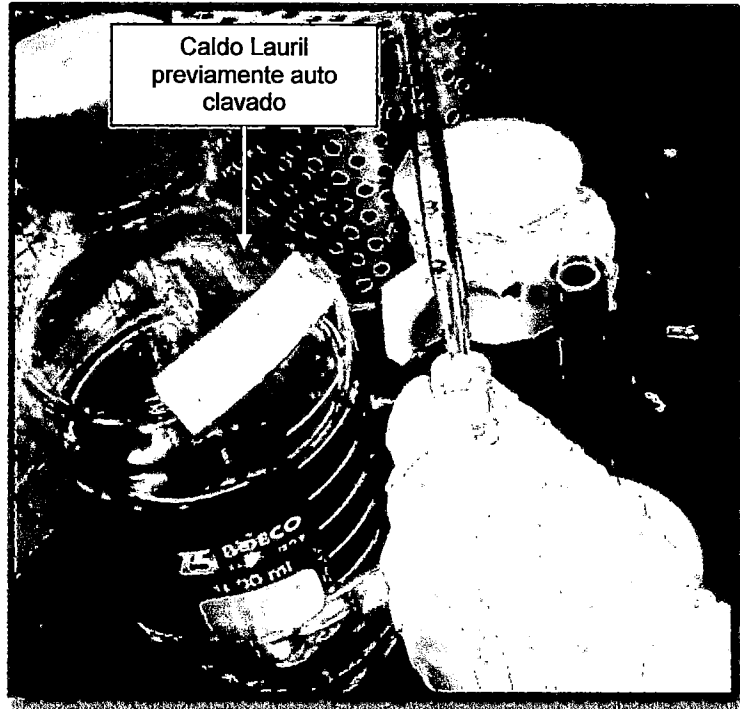


Figura N° 4.29: Preparación del Caldo Lauril



Figura N° 4.30: Presencia de turbidez y formación de gas en Caldo Lauril

Una vez obtenidos los resultados de la incubación del Caldo Lauril, se procedió a sembrar las diluciones provenientes de este caldo, en los tubos con Caldo Brila y EC, tomándose solo las diluciones 10^{-2} hasta 10^{-8} . La incubación del caldo Brila (coliformes totales) se realizó en un periodo de 24 ± 2 horas de incubación a una temperatura de 35°C ; mientras que, la incubación del caldo EC (coliformes fecales) se dio en un periodo de 24 ± 2 horas de incubación a una $^{\circ}\text{T}$ de 44.5°C .

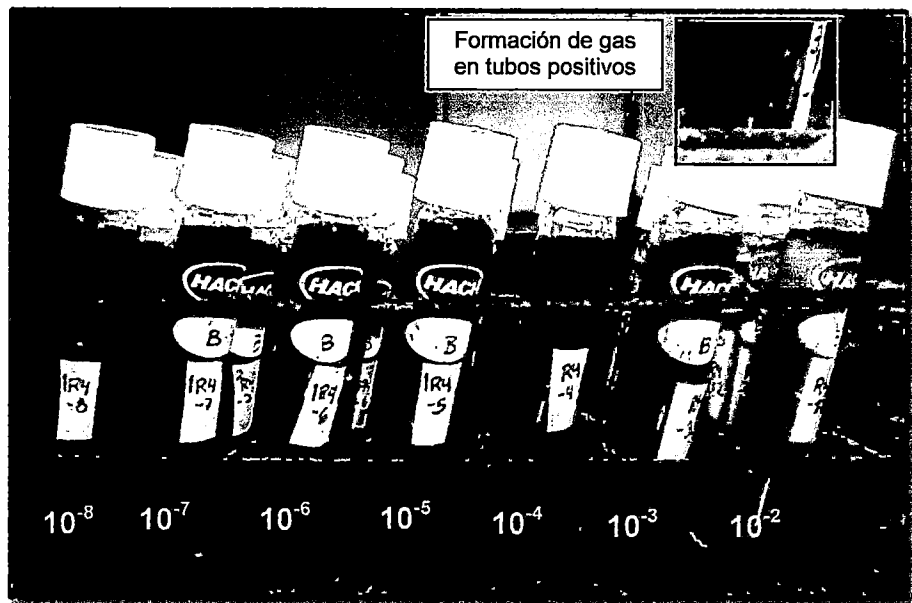


Foto N° 4.31: Presencia de turbidez y formación de gas (Caldo Brila)

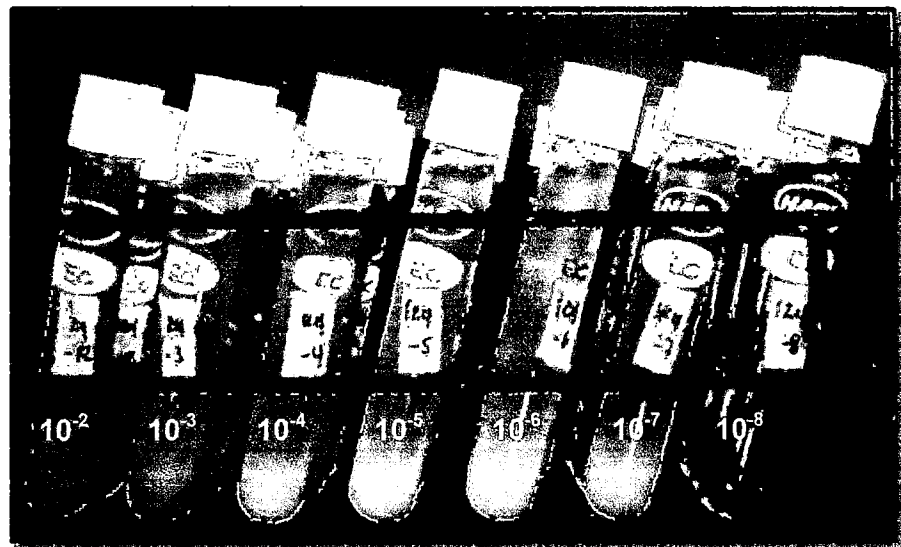


Foto N° 4.32: Presencia de turbidez y formación de gas (Caldo EC)

4.5.3 CULTIVO DE BACTERIAS EN AGAR PARA ANAEROBIOS SEGÚN BREWER

Para la identificación de las bacterias presentes en el lodo obtenido al final del periodo de evaluación, se prepararon placas con agar para anaerobios, en las cuales se colocó 1ml de muestra diluida de lodo (10^{-1}). Este proceso se realizó por triplicado en cada una de las muestras obtenidas de cada reactor, por lo que se obtuvo 12 placas. A continuación se muestra el proceso de preparación del agar, así como su vertido en las placas petri (en un ambiente estéril), las que fueron previamente esterilizadas en un horno a 180°C por 2 horas.



Figura N° 4.33: Preparación y vertido en placas petri del agar para anaerobios según Brewer

Una vez preparadas las placas antes descritas, se procedió a su incubación en una jarra para anaerobiosis, dentro de la cual se introdujo un pack para anaerobiosis, el cual consumía todo el oxígeno presente en la jarra. El periodo de incubación fue de 24 ± 2 horas a una temperatura de 35°C . Cabe señalar que las placas petri fueron colocadas boca abajo, para evitar transpiración en la placa.

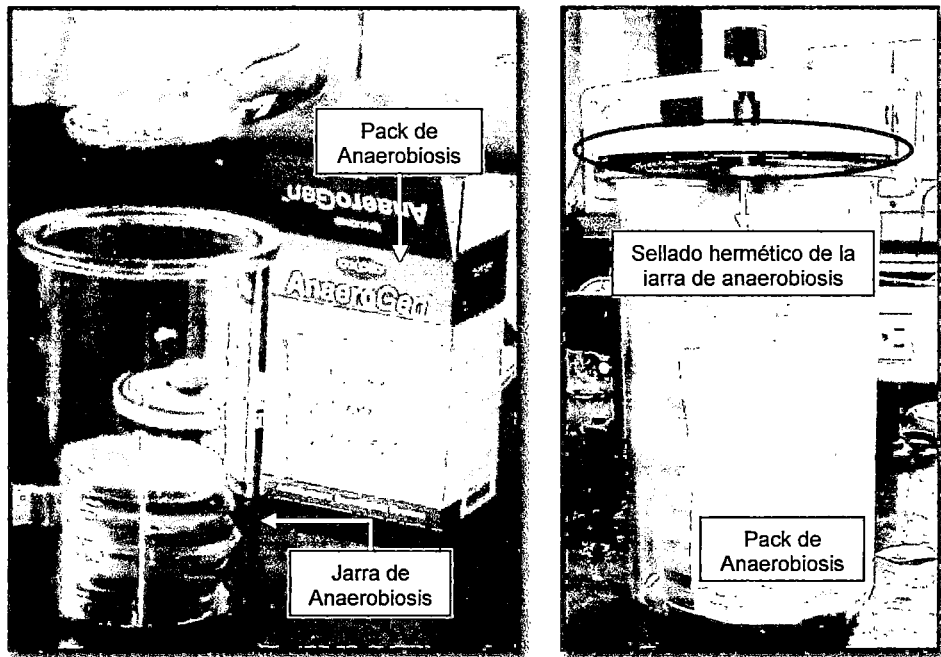


Figura N° 4.34: Placas petri en la jarra de anaerobiosis

Pasado el periodo de incubación, se obtuvo diferentes colonias de bacterias anaerobias en las placas cultivadas, las cuales fueron identificadas con la ayuda del estetoscopio. Para la caracterización del tipo de colonia encontrada, se tomó en cuenta características como tamaño, color, forma, geometría (plana, no plana), entre otras. En cada reactor se identificó 8 tipos de colonias diferentes.

Para la caracterización de cada colonia identificada, se realizó el cultivo de esta en una nueva placa con agar para anaerobios, dividiendo cada placa en 4 partes e inoculando cada colonia en cada una de estas. Esto se realizó debido al tamaño de la jarra de anaerobiosis con la que se contaba, ya que de no haber realizado

esta partición en las placas, se hubiera tenido que realizar las incubaciones en días diferentes.



Figura N° 4.35: Identificación de las colonias provenientes del cultivo de muestra de lodo proveniente de cada reactor

Luego de realizar el cultivo selectivo de las colonias identificadas en cada reactor, se procedió a ver si presentaban algún color diferente al del agar, ya que algunas bacterias metanogénicas presentan fluorescencia; para esto se colocó cada placa en el equipo de fluorescencia, no encontrándose ningún tipo de distinción particular. Cabe señalar que para el uso del equipo de fluorescencia se debió utilizar lentes protectores para evitar el daño en la resina de la persona que operaba dicho equipo.

Una vez finalizada la identificación de fluorescencia en las placas, se procedió a tomar muestra de cada colonia para realizar la tinción Gram y verlas en el microscopio. También se vieron algunas de estas colonias en vivo, sin embargo no se pudo tener una buena imagen de estas, por lo que esto no se realizó en todas las muestras. Así mismo, se preparó un medio para bacterias metanogénicas (LPBM), el cual fue preparado por las tesisistas. Adicionalmente a este medio se agregó 15g de agar por litro de medio para darle la consistencia necesaria y así poder realizar el cultivo en placas (Ver Figura N° 4.36). Las placas utilizadas para este proceso también fueron colocadas en la jarra de anaerobiosis e incubadas a una temperatura

de 35°C por un periodo de 24 ± 2 horas. Pasado este periodo de incubación se encontró crecimiento de colonias (Ver Figura N° 4.37).

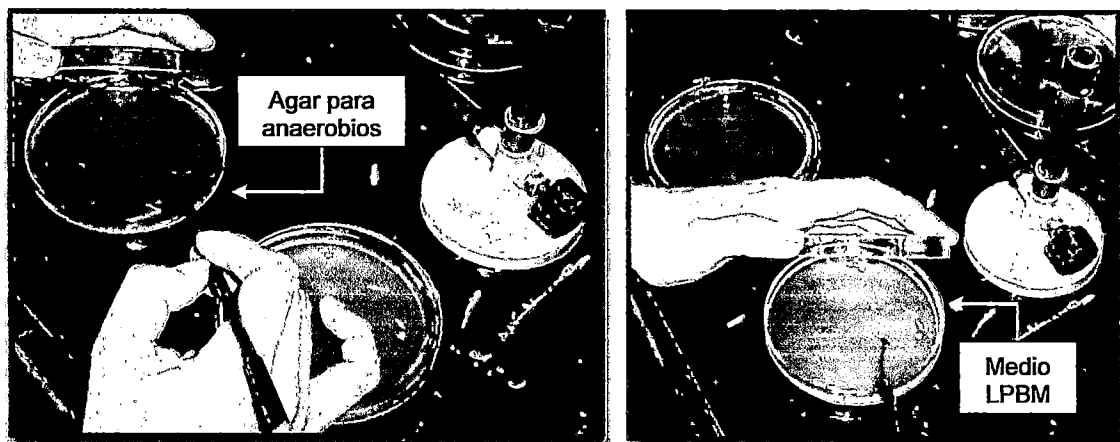


Figura N° 4.36: Cultivo de colonias anaerobias en agar LPBM (medio para bacterias metanogénicas)



Figura N° 4.37: Crecimiento de colonias en agar para anaerobios y medio LPBM respectivamente

V. RESULTADOS

5.1 DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO)

Como se mencionó en el capítulo IV, uno de los parámetros de evaluación en la presente tesis fue la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). La medición de este parámetro se realizaba generalmente dos veces por semana y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla N° 5.1: Valores de la DBO del afluente y efluentes en cada reactor

FECHA	DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (mg/L)				
	CRUDO	R1	R2	R3	R4
1-oct	2.572,25	2.632,25	3.472,25	2.692,25	2.782,25
7-oct	939,15	1.203,16	1.149,14	1.233,14	1.251,15
14-oct	663,60	813,18	753,16	795,15	813,17
15-oct	1.239,04	1.341,01	1.307,96	1.535,95	1.445,93
20-oct	1.485,30	1.476,30	1.315,05	984,30	1.308,30
21-oct	1.145,96	923,96	863,96	995,96	857,96
28-oct	1.419,50	1.305,50	1.401,50	-	-
29-oct	1.281,19	1.242,19	1.182,19	1.119,19	1.134,19
3-nov	993,52	925,79	861,71	927,58	826,09
4-nov	1.242,43	696,58	1.065,37	1.152,58	900,42
11-nov	876,53	813,84	768,55	876,62	831,91
12-nov	990,81	618,81	828,81	780,81	666,81
17-nov	900,70	762,70	801,70	879,70	789,70
18-nov	798,23	667,22	748,21	790,78	791,38
25-nov	680,25	605,25	630,25	530,25	655,25
1-dic	1.377,15	977,21	1.229,65	1.162,05	1.069,47
9-dic	1.099,63	929,63	817,13	909,63	887,13
10-dic	1.412,31	884,51	872,57	978,44	862,42
29-dic	1.525,32	868,05	922,03	745,05	700,06
5-ene	1.330,01	1.108,50	1.022,50	834,60	1.214,47
6-ene	1.468,87	843,09	1.111,14	943,08	1.025,09
12-ene	1.883,75	873,25	1.308,24	1.233,22	523,40
13-ene	1.660,45	1.358,34	1.258,31	1.310,32	1.388,30
20-ene	1.622,17	1.286,42	1.052,39	1.312,21	1.276,36

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados muestran que durante los 15 primeros días de evaluación, desde el 01/10/2009 hasta el 15/10/2009, no hubo remoción alguna, obteniéndose efluentes con mayor DBO que la del afluente aplicado. Como se verá más adelante, esto ocurre en todos los parámetros analizados durante este lapso de tiempo. Este período corresponde al periodo de acondicionamiento del sistema. Para efectos de valores máximos y promedios de remoción, se consideraran los valores obtenidos a partir del mes de Noviembre, en donde se empieza a notar más coherencia en los resultados.

El mayor valor de remoción de DBO encontrado para los cuatro reactores se produjo en la semana 15, dos semanas después de la evacuación del lodo excedente en los reactores. Los **valores máximos de remoción** encontrados en cada reactor fueron:

- R1: 43.09% remoción DBO
- R2: 39.55% remoción DBO
- R3: 51.15% remoción DBO
- R4: 54.01% remoción DBO

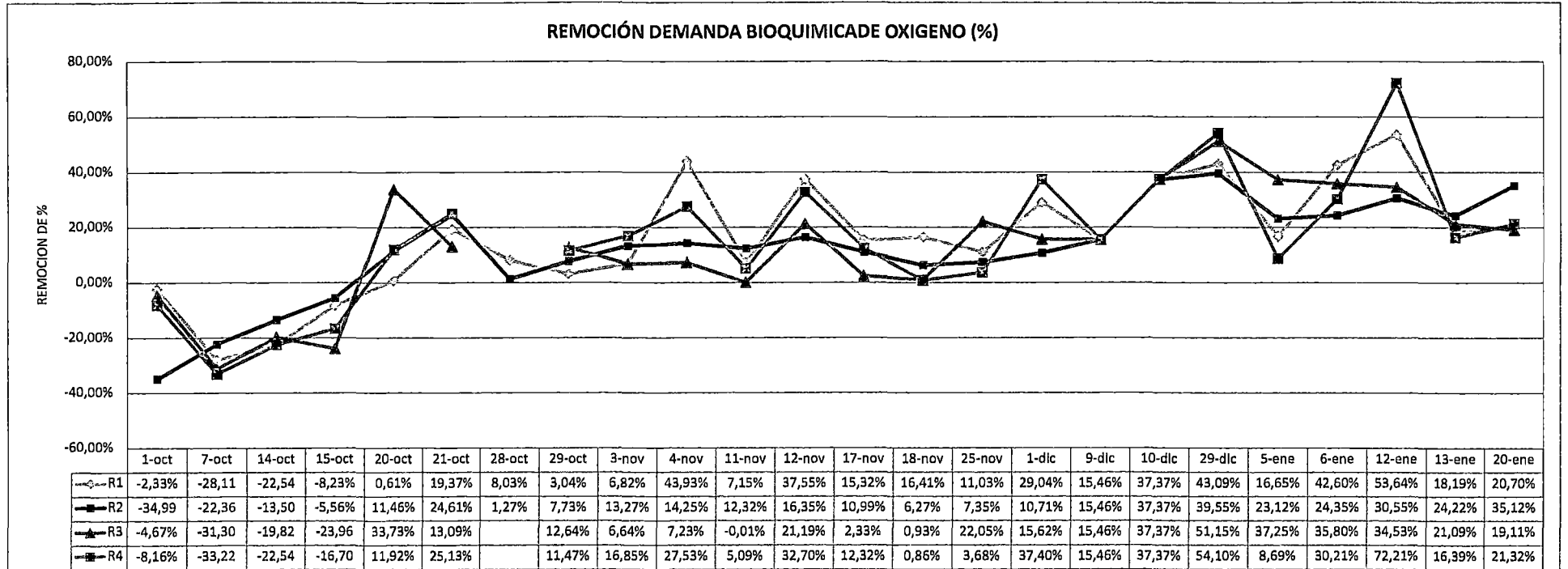
Cabe señalar que los valores de remoción 53.64% y 72.21% en los reactores R1 y R4 respectivamente, el día 12/01/2010, no fueron considerados debido a que no se alcanzó el caudal de trabajo para el periodo de retención aplicado, siendo posible que los efluentes recolectados en estos reactores no correspondan al afluente analizado. Esta acotación se aplica para los demás resultados presentados. En la tabla N° 5.1 estos valores se encuentran diferenciados con color naranja.

En cuanto a la mínima remoción alcanzada para este parámetro, la grafica N° 5.1, muestra algunos valores menores a 10%; de esto cabe señalar que dichos resultados coinciden con fallas operativas en el sistema, principalmente arrastre de lodo. Dicha razón obliga a no considerar algunos valores, los que se diferenciaron con color verde (tabla N° 5.1).

Los **valores promedios de remoción** encontrados en cada reactor fueron:

- R1: 26.42% remoción DBO
- R2: 18.05% remoción DBO
- R3: 15.88% remoción DBO
- R4: 25.76% remoción DBO

GRÁFICO N° 5.1: REMOCIÓN DE LA DBO EN EL SISTEMA ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE



Elaboración Propia

5.2 DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)

Otro parámetro de evaluación fue la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la medición de este parámetro se realizaba generalmente 3 veces por semana.

Tabla N° 5.2: Valores de la DQO del afluente y efluente del sedimentador, y a la salida de c/ reactor

ITEM	DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (mg/L)					
	CRUDO PURO	CRUDO SEDIMENTADO	R1	R2	R3	R4
1-oct		3,650.00	3,926.00	4,564.00	4,298.00	4,193.00
7-oct		2,960.00	2,660.00	2,560.00	2,520.00	2,390.00
12-oct		2,130.00	2,030.00	2,090.00	-	-
14-oct		1,960.00	2,330.00	2,230.00	1,830.00	2,120.00
15-oct		4,495.00	3,450.00	3,180.00	3,170.00	3,130.00
19-oct		4,350.00	3,150.00	2,930.00	3,190.00	3,130.00
20-oct		3,630.00	2,740.00	2,430.00	2,690.00	2,590.00
21-oct		2,900.00	2,140.00	2,110.00	2,430.00	2,290.00
27-oct		2,915.00	2,925.00	2,820.00	0.00	0.00
28-oct		3,053.33	2,766.67	2,683.33	2,870.00	2,946.67
2-nov		2,170.00	1,705.00	2,250.00	2,140.00	2,220.00
3-nov		2,630.00	2,830.00	2,705.00	2,620.00	2,240.00
4-nov		3,380.00	2,430.00	2,920.00	2,830.00	2,830.00
9-nov		2,160.00	2,170.00	2,120.00	2,185.00	2,315.00
11-nov		2,120.00	2,070.00	1,930.00	1,990.00	2,015.00
12-nov	3,385.00	2,285.00	1,885.00	1,945.00	1,940.00	1,785.00
17-nov	3,225.00	2,580.00	2,135.00	1,730.00	2,205.00	2,230.00
18-nov	2,992.50	2,190.00	2,070.00	2,230.00	2,120.00	2,065.00
20-nov	5,735.00	2,580.00	2,605.00	2,490.00	2,480.00	2,550.00
24-nov	2,420.00	1,840.00	1,860.00	1,860.00	1,600.00	1,580.00
25-nov	4,440.00	1,770.00	1,510.00	1,510.00	1,250.00	1,390.00
26-nov	3,770.00	2,420.00	1,970.00	2,230.00	1,710.00	2,070.00
1-dic	4,120.00	3,640.00	2,530.00	2,820.00	2,580.00	2,170.00
2-dic	7,520.00	3,710.00	2,700.00	2,540.00	2,900.00	2,840.00
9-dic	4,600.00	3,330.00	2,480.00	2,030.00	2,430.00	2,190.00
10-dic	5,100.00	2,540.00	1,920.00	1,790.00	2,080.00	1,960.00
11-dic	4,710.00	2,240.00	1,970.00	2,060.00	1,850.00	2,060.00
15-dic	4,120.00	2,980.00	2,020.00	2,060.00	2,050.00	2,130.00
23-dic	-	2,250.00	1,740.00	1,710.00	1,940.00	1,880.00
29-dic	7,580.00	5,250.00	3,520.00	3,580.00	2,740.00	3,480.00
5-ene	4,150.00	2,900.00	2,130.00	2,070.00	1,850.00	2,190.00
6-ene	3,720.00	2,520.00	1,830.00	2,180.00	1,970.00	2,090.00
7-ene	6,070.00	2,110.00	1,620.00	1,640.00	1,630.00	1,750.00
12-ene	6,040.00	4,280.00	2,050.00	3,230.00	3,330.00	1,490.00
13-ene	6,180.00	3,550.00	2,670.00	2,270.00	2,740.00	2,850.00
14-ene	5,860.00	4,180.00	2,930.00	2,760.00	2,510.00	2,610.00
19-ene	6,010.00	4,040.00	2,110.00	1,990.00	2,410.00	2,470.00
20-ene	4,720.00	3,310.00	2,250.00	2,180.00	2,470.00	2,930.00

Fuente: Elaboración Propia

Además de las mediciones de pH y T, este parámetro fue la única medición que se realizó en la unidad de sedimentación, es decir solo se evaluó la efectividad de remoción de esta unidad en términos de DQO. En la tabla N° 5.2 se muestran dichas mediciones a partir de la segunda semana de noviembre, que es cuando se implementó la unidad. El valor máximo de remoción en esta unidad fue de 65.24%, obtenido el día 07/01/2010, mientras que el valor mínimo de remoción obtenido fue de 11.65%, obtenido el día 01/12/2009.

De la misma manera que para la DBO, en la evaluación de la DQO se identificó un período de acondicionamiento para el conjunto de reactores, similar al del parámetro anterior. Las remociones mínimas fueron obtenidas a partir del 15/10/2009. Para efectos de valores máximos y promedios de remoción, se consideraran los valores obtenidos a partir del mes de noviembre.

El mayor valor de remoción de DQO encontrado en los reactores R1, R2 y R4 se produjo en la semana 18, última semana de evaluación, mientras que para el R3 la remoción máxima se dio en la semana 15, misma fecha de máxima remoción de DBO en todos los reactores. Los **valores máximos de remoción** encontrados en cada reactor fueron:

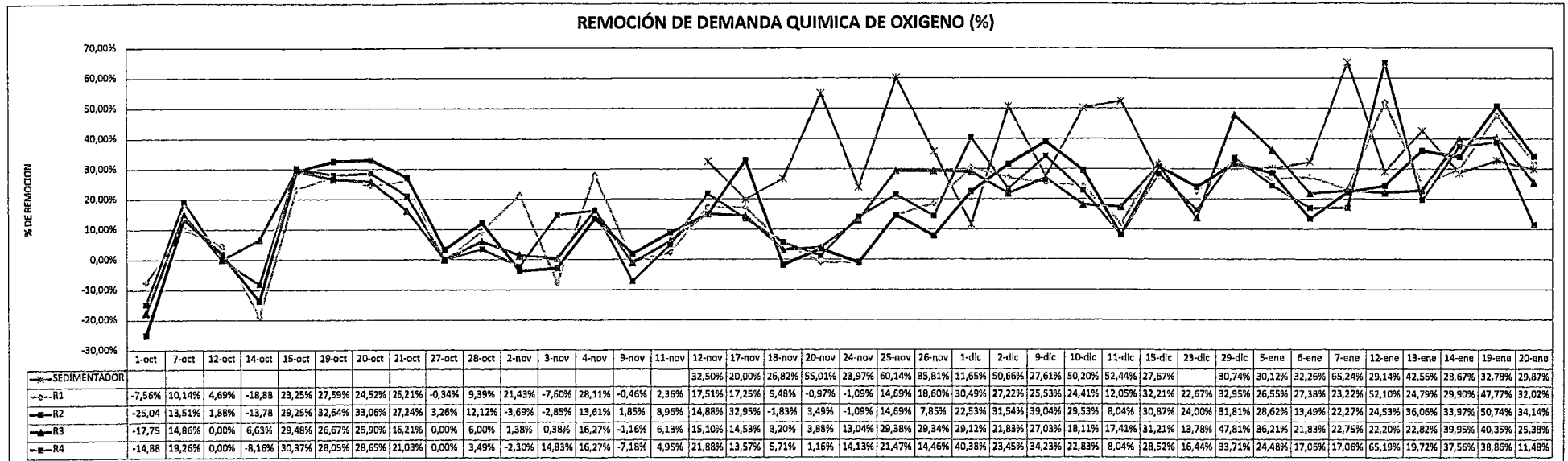
- R1: 47.77% remoción DQO
- R2: 50.74% remoción DQO
- R3: 47.81% remoción DQO
- R4: 38.86% remoción DQO

Por la razón expuesta en el acápite anterior, no se consideran los valores encontrados el día 12/01/2010 para los reactores R1 y R4.

Los **valores promedios de remoción** encontrados en cada reactor fueron:

- R1: 24.72% remoción DQO
- R2: 25.43% remoción DQO
- R3: 24.32% remoción DQO
- R4: 23.20% remoción DQO

GRÁFICO N° 5.2: REMOCIÓN DE LA DQO EN EL SEDIMENTADOR Y EN EL SISTEMA ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE



Elaboración Propia

5.3 SÓLIDOS

Otro importante parámetro de evaluación en la remoción de materia orgánica es el de sólidos. En la presente tesis se analizaron los siguientes tipos:

- Sólidos totales (ST).
- Sólidos volátiles totales (SVT).
- Sólidos disueltos (SDT).
- Sólidos volátiles disueltos (SVD).

A partir de estos análisis se calcularon los sólidos suspendidos y los sólidos volátiles suspendidos, siguiendo las siguientes relaciones:

$$ST = SDT + SST \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

$$SVT = SVD + SVS \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada parámetro de tipos de sólido evaluado:

5.3.1 SÓLIDOS TOTALES

Un importante parámetro de evaluación considerado fue el de remoción de sólidos totales, en todos los reactores. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla N° 5.3: Valores de sólidos totales del afluente y efluentes en cada reactor

FECHA	SOLIDOS TOTALES (mg/L)				
	CRUDO	R1	R2	R3	R4
14-oct	4,608.00	4,880.00	4,792.00	4,712.00	4,792.00
19-oct	7,224.00	6,500.00	5,696.00	6,360.00	5,636.00
22-oct	6,332.00	5,144.00	5,336.00	5,108.00	5,088.00
2-nov	4,212.00	3,780.00	4,344.00	4,180.00	4,412.00
4-nov	5,952.00	5,108.00	5,480.00	5,528.00	5,276.00
9-nov	5,580.00	5,012.00	5,064.00	4,940.00	4,952.00
11-nov	4,668.00	4,836.00	4,832.00	4,796.00	4,780.00
12-nov	4,888.00	4,864.00	4,812.00	4,800.00	4,756.00
17-nov	5,072.00	5,020.00	4,692.00	4,828.00	4,784.00
18-nov	4,976.00	4,672.00	4,640.00	4,584.00	4,700.00
20-nov	5,516.00	5,568.00	5,468.00	5,132.00	5,408.00
24-nov	4,476.00	4,404.00	4,988.00	4,324.00	4,332.00
25-nov	4,624.00	4,472.00	4,292.00	4,160.00	4,460.00
27-nov	5,124.00	4,868.00	5,240.00	4,932.00	5,056.00
1-dic	5,888.00	5,792.00	5,924.00	6,028.00	5,892.00
2-dic	6,464.00	5,692.00	5,176.00	5,832.00	5,956.00
9-dic	5,656.00	5,400.00	5,228.00	5,424.00	5,436.00
10-dic	5,436.00	5,075.00	4,715.00	5,095.00	4,935.00
15-dic	5,356.00	4,752.00	4,744.00	4,772.00	4,796.00
23-dic	4,908.00	4,580.00	4,556.00	4,660.00	4,616.00
29-dic	6,940.00	5,504.00	5,560.00	4,680.00	5,432.00
5-ene	5,832.00	4,372.00	4,048.00	3,964.00	4,380.00
7-ene	6,124.00	4,468.00	4,868.00	4,596.00	4,596.00
12-ene	6,924.00	4,844.00	5,672.00	5,688.00	4,172.00
13-ene	5,964.00	5,180.00	5,084.00	5,284.00	5,080.00
14-ene	5,548.00	5,212.00	5,228.00	5,096.00	5,252.00
19-ene	6,144.00	4,840.00	4,672.00	4,892.00	4,864.00
20-ene	6,336.00	5,220.00	4,996.00	4,348.00	5,652.00
21-ene	5,096.00	4,236.00	4,156.00	4,492.00	4,380.00

Fuente: Elaboración Propia

En este parámetro, el tiempo en que se obtuvo remociones fue mayor que en el caso de DBO y DQO. Como se muestra en el gráfico N° 5.3, a partir del mes de diciembre se pueden observar remociones mínimas, las cuales se incrementaron con el tiempo. Para efectos de valores mínimos, promedios y máximos, se consideraran los valores obtenidos a partir del mes de diciembre.

El mayor valor de remoción de ST encontrado en los reactores R1, R2 y R4 fue en la semana 16 (07, 05 y 07 de Enero del 2010, respectivamente), mientras que para el R3, la máxima remoción se obtuvo en la semana 15, el día 29/12/2009. Los **valores máximos de remoción** encontrados en cada reactor fueron:

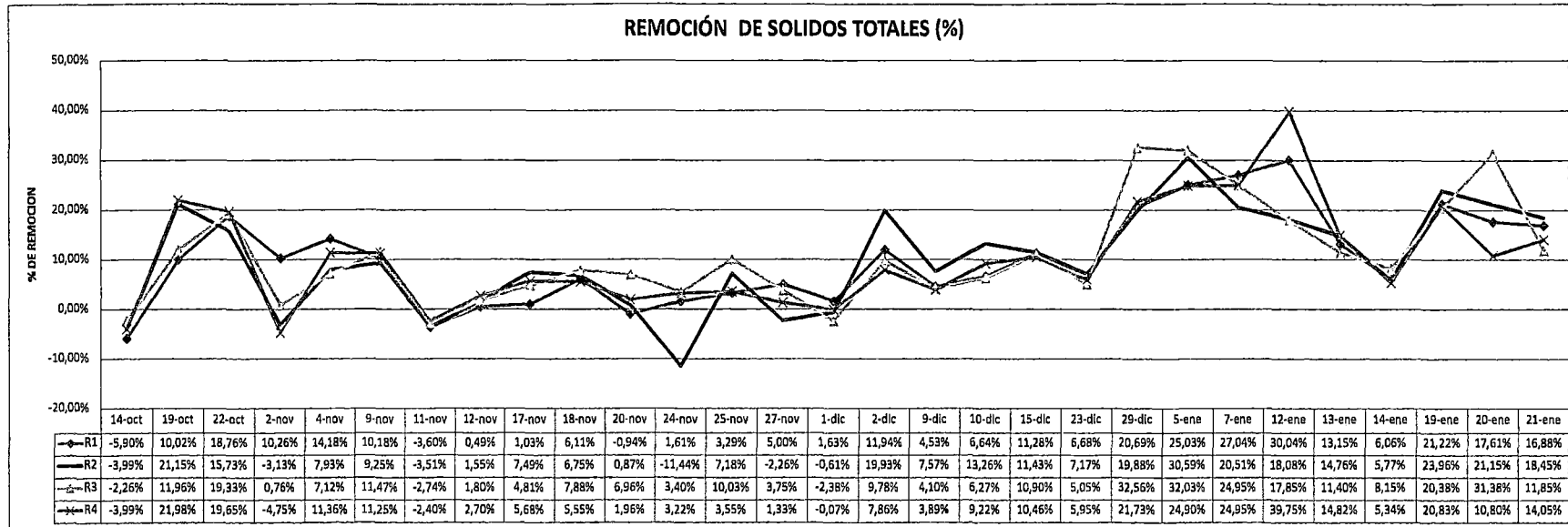
- R1: 27.02% remoción ST R3: 32.56% remoción ST
- R2: 30.59% remoción ST R4: 24.95% remoción ST

Las remociones obtenidas el día 12/01/2010 para los reactores R1 y R4, no han sido consideradas por la razón anteriormente expuesta en el acápite de DBO.

Los días en que hubo arrastre de lodo en los reactores, fueron antes del mes de diciembre, por lo que no afectan los **valores promedios de remoción** calculados e indicados a continuación:

- R1: 15.63% remoción ST R3: 16.19% remoción ST
- R2: 16.61% remoción ST R4: 15.32% remoción ST

GRÁFICO N° 5.3: REMOCIÓN DE SOLIDOS TOTALES EN EL SISTEMA ANAEROBIO DE FLUJO ASCEDENTE



Elaboración Propia

5.3.1.1 SÓLIDOS DISUELTOS

Otro importante parámetro de evaluación considerado fue el de remoción de sólidos solubles o disueltos, en todos los reactores. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla N° 5.4: Valores de sólidos disueltos del afluente y efluentes en cada reactor

FECHA	SOLIDOS DISUELTOS (mg/L)				
	CRUDO	R1	R2	R3	R4
2-nov	3,236.00	2,916.00	3,588.00	3,240.00	3,808.00
3-nov	3,676.00	5,196.00	5,360.00	3,240.00	4,952.00
4-nov	4,888.00	4,668.00	4,696.00	4,720.00	4,644.00
9-nov	4,568.00	4,672.00	4,640.00	4,556.00	4,600.00
11-nov	4,004.00	4,176.00	4,040.00	4,068.00	3,952.00
12-nov	4,152.00	4,056.00	4,276.00	4,260.00	4,364.00
17-nov	4,324.00	4,580.00	4,120.00	4,212.00	4,332.00
18-nov	16,392.00	4,448.00	4,388.00	4,444.00	4,416.00
20-nov	5,068.00	5,128.00	4,972.00	5,112.00	5,184.00
24-nov	4,200.00	4,132.00	3,892.00	3,488.00	3,936.00
25-nov	4,120.00	3,852.00	3,788.00	3,592.00	3,836.00
9-dic	4,796.00	4,100.00	4,028.00	4,295.00	4,245.00
10-dic	3,932.00	3,895.00	3,880.00	4,040.00	3,705.00
11-dic	4,065.00	3,672.00	3,704.00	3,608.00	3,748.00
15-dic	4,864.00	4,168.00	3,896.00	4,076.00	4,116.00
23-dic	3,976.00	3,892.00	3,812.00	3,900.00	3,896.00
29-dic	5,148.00	4,320.00	4,360.00	3,600.00	4,435.00
5-ene	4,232.00	3,612.00	3,800.00	3,336.00	3,964.00
7-ene	5,020.00	3,516.00	3,916.00	3,792.00	3,796.00
12-ene	5,460.00	3,992.00	4,892.00	4,856.00	3,248.00
13-ene	4,395.00	4,368.00	4,256.00	4,324.00	4,528.00
14-ene	4,588.00	4,276.00	4,320.00	4,288.00	4,320.00
19-ene	5,228.00	4,040.00	4,044.00	4,012.00	4,220.00
20-ene	4,868.00	4,080.00	4,004.00	3,416.00	4,355.00

Fuente: Elaboración Propia

En este parámetro, el tiempo en que se obtuvo remociones fue ligeramente menor al encontrado en el caso de ST. Como se muestra en el grafico N° 5.4, a partir del 17 de noviembre del 2009, se pueden observar remociones mínimas, las cuales se incrementaron con el tiempo. Para efectos de valores mínimos, promedios y máximos, se consideraran los valores obtenidos a partir del mes de diciembre.

El mayor valor de remoción de SDT encontrado en los reactores R1 y R4 se produjo en la semana 16, el día 07 de enero del 2010; mientras que para el R2, la máxima remoción se obtuvo en la semana 18, el día 19/01/2010; finalmente se tiene que en el reactor R4, la máxima remoción de SDT se obtuvo en la semana 15, el día 29/12/2009. Los **valores máximos de remoción** encontrados en cada reactor fueron:

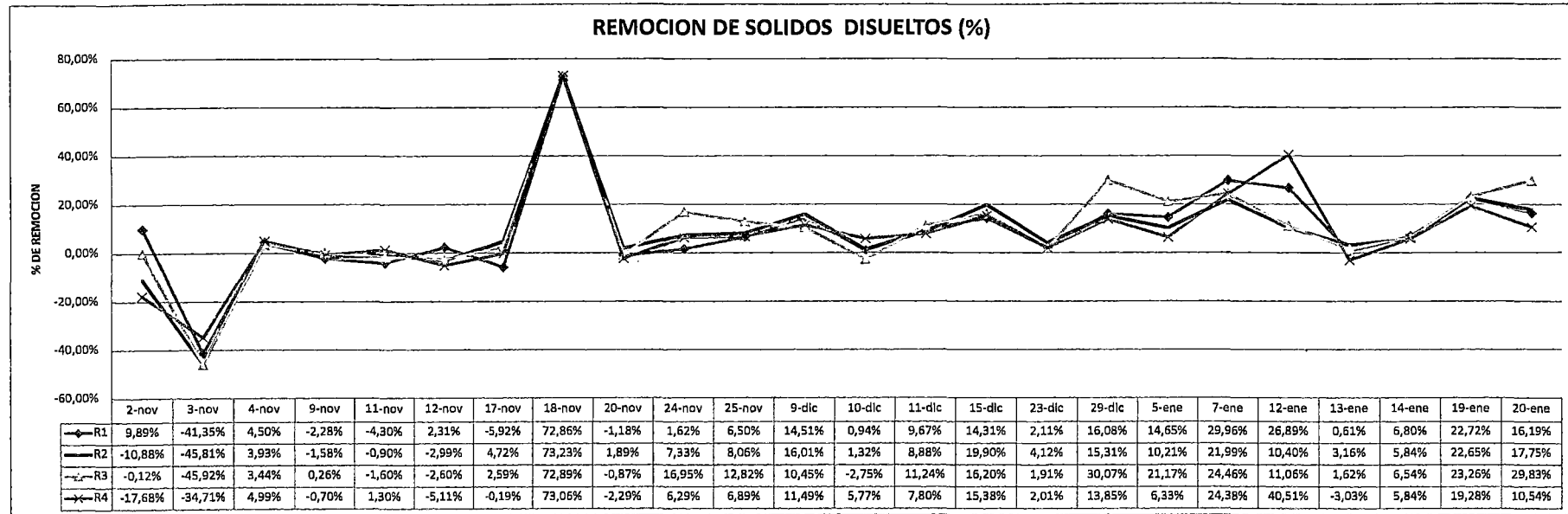
- R1: 29.96% remoción SDT R3: 30.07% remoción SDT
- R2: 22.65% remoción SDT R4: 24.38% remoción SDT

Las remociones obtenidas el día 12/01/2010 para los reactores R1 y R4, no han sido consideradas por la razón anteriormente expuesta en el acápite de DBO.

Los días en que hubo arrastre de lodo en los reactores, fueron antes del mes de diciembre, por lo que no afectan los **valores promedios de remoción** calculados e indicados a continuación:

- R1: 15.33% remoción SDT R3: 15.64% remoción SDT
- R2: 14.80% remoción SDT R4: 13.04% remoción SDT

GRÁFICO N° 5.4: REMOCIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES EN EL SISTEMA ANAERÓBIO DE FLUJO ASCEDENTE



Elaboración Propia

5.3.1.2 SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Debido a que es importante conocer el porcentaje de remoción de sólidos suspendidos en los reactores, este parámetro fue calculado mediante la diferencia de sólidos totales y sólidos disueltos totales. Los valores calculados se muestran a continuación:

Tabla Nº 5.5: Valores de sólidos suspendidos del afluente y efluentes en c/ reactor

FECHA	SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L)				
	CRUDO	R1	R2	R3	R4
2-nov	976.00	864.00	756.00	940.00	604.00
4-nov	1,064.00	440.00	784.00	808.00	632.00
9-nov	1,012.00	340.00	424.00	384.00	352.00
11-nov	664.00	660.00	792.00	728.00	828.00
12-nov	736.00	808.00	536.00	540.00	392.00
17-nov	748.00	440.00	572.00	616.00	452.00
20-nov	448.00	440.00	496.00	20.00	224.00
25-nov	504.00	620.00	504.00	568.00	624.00
9-dic	860.00	1,300.00	1,200.00	1,129.00	1,191.00
10-dic	1,504.00	1,180.00	835.00	1,055.00	1,230.00
15-dic	492.00	584.00	848.00	696.00	680.00
23-dic	932.00	688.00	744.00	760.00	720.00
29-dic	1,792.00	1,184.00	1,200.00	1,080.00	997.00
5-ene	1,600.00	760.00	248.00	628.00	416.00
7-ene	1,104.00	952.00	952.00	804.00	800.00
12-ene	1,464.00	852.00	780.00	832.00	924.00
13-ene	1,569.00	812.00	828.00	960.00	552.00
14-ene	960.00	936.00	908.00	808.00	932.00
19-ene	916.00	800.00	628.00	880.00	644.00
20-ene	1,468.00	1,140.00	992.00	932.00	1,297.00

Fuente: Elaboración Propia

Según los resultados obtenidos en la tabla y gráfico N° 5.5, los valores de remoción para este parámetro son bastante inestables en las primeras semanas, ya que se muestran valores negativos de remoción en algunos casos, mientras que en otros se observan altos niveles de remoción. A partir del mes de diciembre, se observan valores un poco más estables, por lo que para efectos de cálculo de valores mínimos, máximos y promedios, se tomarán como válidos los valores positivos obtenidos a partir del mes de diciembre.

El mayor valor de remoción de SST encontrado en los cuatro reactores evaluados se produjo en la semana 16, el día 05 de enero del 2010. Los **valores máximos de remoción** encontrados en cada reactor fueron:

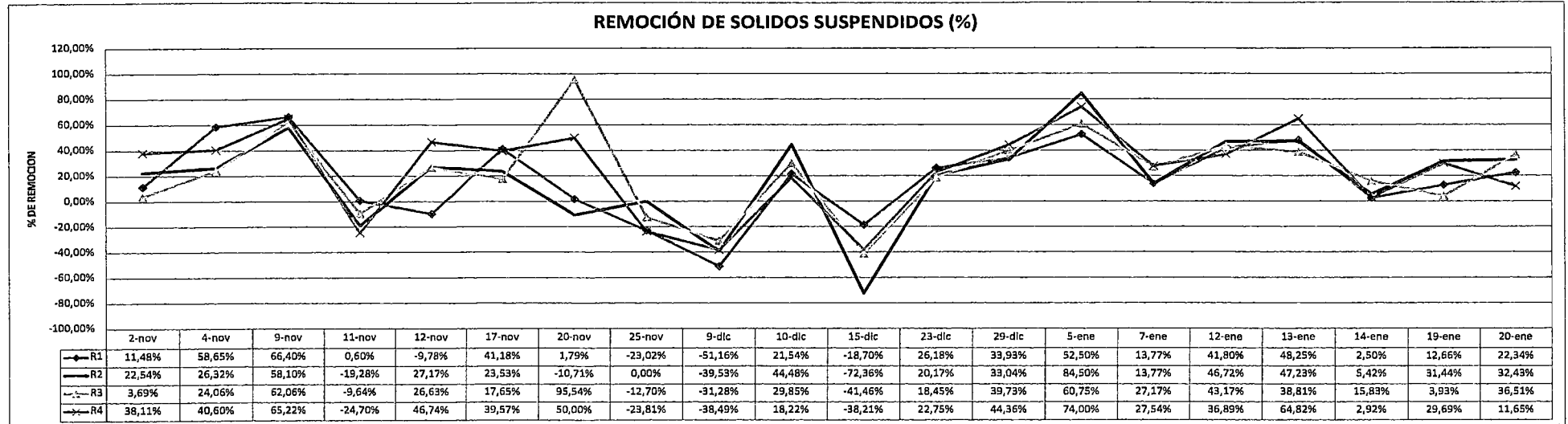
- R1: 52.50% remoción SST R3: 60.75% remoción SST
- R2: 84.50% remoción SST R4: 74.00% remoción SST

Las remociones obtenidas el día 12/01/2010 para los reactores R1 y R4, no han sido consideradas por la razón anteriormente expuesta en el acápite de DBO.

Los días en que hubo arrastre de lodo en los reactores, fueron antes del mes de diciembre, por lo que no afectan los **valores promedios de remoción** calculados e indicados a continuación:

- R1: 24.88% remoción SST R3: 30.73% remoción SST
- R2: 39.72% remoción SST R4: 26.59% remoción SST

GRÁFICO N° 5.5: REMOCIÓN DE SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN EL SISTEMA ANAEROBIO DE FLUJO ASCEDENTE



Elaboración Propia

5.3.2 SÓLIDOS VOLATILES

Un importante parámetro de evaluación considerado fue el de remoción de sólidos volátiles totales, en todos los reactores. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla N° 5.6: Valores de sólidos volátiles totales del afluente y efluentes en c/ reactor

FECHA	SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES (mg/L)				
	CRUDO	R1	R2	R3	R4
14-oct	1,184.00	1,420.00	968.00	1,268.00	680.00
19-oct	3,580.00	2,984.00	2,216.00	3,004.00	2,188.00
22-oct	2,916.00	1,792.00	1,192.00	1,992.00	1,840.00
2-nov	1,224.00	980.00	1,260.00	1,260.00	1,360.00
4-nov	2,328.00	1,556.00	1,876.00	1,816.00	1,724.00
9-nov	1,880.00	1,332.00	1,360.00	1,488.00	1,308.00
11-nov	1,676.00	1,528.00	1,500.00	1,392.00	1,432.00
12-nov	1,524.00	1,624.00	1,544.00	1,552.00	1,600.00
17-nov	1,764.00	1,416.00	1,332.00	1,404.00	1,400.00
18-nov	1,340.00	1,280.00	1,224.00	1,240.00	1,252.00
20-nov	1,788.00	2,024.00	1,848.00	1,676.00	1,788.00
24-nov	868.00	936.00	1,392.00	1,040.00	888.00
25-nov	1,060.00	1,108.00	912.00	1,016.00	1,028.00
27-nov	1,596.00	1,624.00	1,868.00	1,584.00	1,748.00
1-dic	2,264.00	2,432.00	2,380.00	2,408.00	2,400.00
2-dic	2,732.00	2,124.00	2,224.00	2,208.00	2,188.00
9-dic	2,188.00	1,280.00	1,016.00	1,372.00	1,020.00
10-dic	1,360.00	1,810.00	1,775.00	1,840.00	1,795.00
15-dic	1,992.00	1,616.00	1,560.00	1,540.00	1,708.00
23-dic	1,472.00	1,136.00	1,136.00	1,292.00	1,136.00
29-dic	3,296.00	2,552.00	2,604.00	1,976.00	2,424.00
5-ene	2,228.00	1,512.00	1,404.00	1,404.00	1,452.00
7-ene	2,636.00	1,324.00	1,328.00	1,284.00	1,372.00
12-ene	3,076.00	2,032.00	2,576.00	2,392.00	1,532.00
13-ene	2,472.00	1,644.00	1,640.00	1,792.00	1,688.00
14-ene	1,864.00	1,612.00	1,632.00	1,540.00	1,652.00
19-ene	2,572.00	1,804.00	1,536.00	1,816.00	1,828.00
20-ene	2,656.00	1,984.00	1,836.00	1,572.00	2,504.00
21-ene	1,724.00	1,456.00	1,456.00	1,624.00	1,468.00

Fuente: Elaboración Propia

Del grafico N° 5.6 se muestra que a partir de la segunda semana de diciembre, los valores de remoción fueron todos positivos, por lo que los valores a considerarse serán los obtenidos en este periodo.

El mayor valor de remoción de SVT encontrado en los cuatro reactores se dio en la semana 16, el día 07 de Enero del 2010. Los **valores máximos de remoción** encontrados en cada reactor fueron:

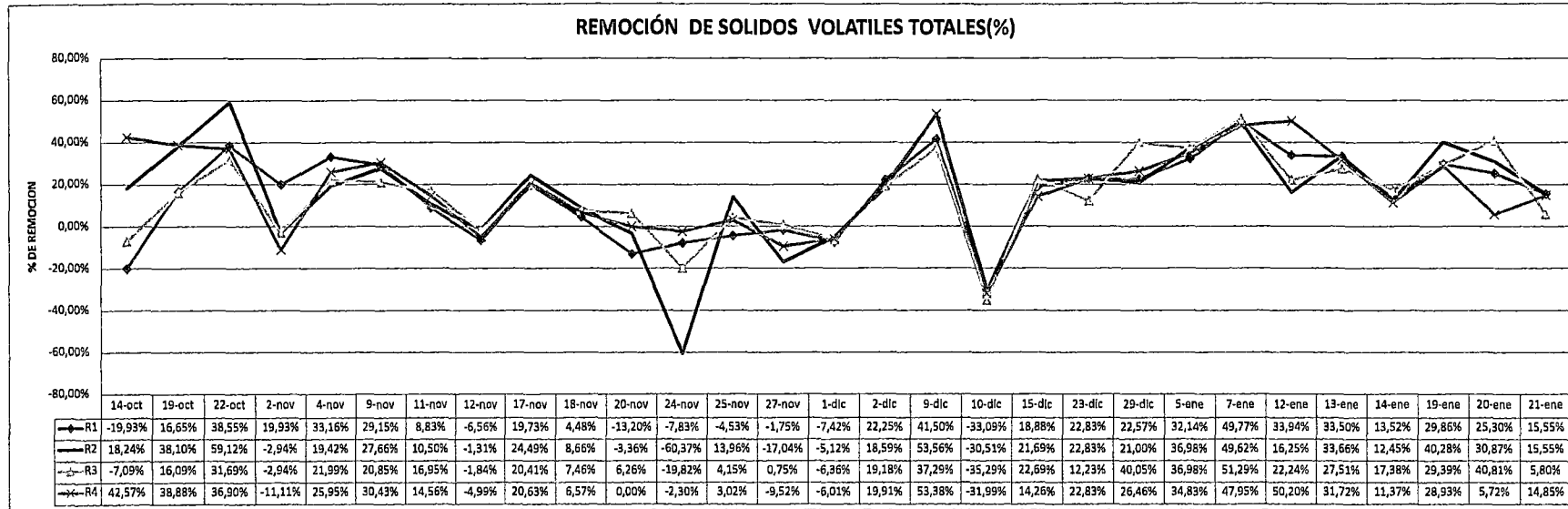
- R1: 49.77% remoción SVT R3: 51.29% remoción SVT
- R2: 49.62% remoción SVT R4: 47.95% remoción SVT

Las remociones obtenidas el día 12/01/2010 para los reactores R1 y R4, no han sido consideradas por la razón anteriormente expuesta en el acápite de DBO. Así mismo, del grafico N° 5.6 se observa que para los reactores R2 y R4, las remociones producidas el día 2 de Diciembre son mayores a las mencionadas líneas arriba, sin embargo no se ha considerado este valor debido a los resultados obtenidos los días posteriores los cuales demuestran ser bastante menores.

Los días en que hubo arrastre de lodo en los reactores, fueron antes del mes de diciembre, por lo que no afectan los **valores promedios de remoción** calculados e indicados a continuación:

- R1: 27.08% remoción SVT R3: 27.85% remoción SVT
- R2: 27.38% remoción SVT R4: 26.28% remoción SVT

GRÁFICO N° 5.6: REMOCIÓN DE SOLIDOS VOLATILES TOTALES EN EL SISTEMA ANAEROBIO DE FLUJO ASCEDENTE



Elaboración Propia

5.3.2.1 SÓLIDOS VOLATILES DISUELTOS

Otro importante parámetro de evaluación considerado fue el de remoción de sólidos volátiles solubles o disueltos, en todos los reactores. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla N° 5.7: Sólidos volátiles disueltos del afluente y efluentes en c/ reactor

FECHA	SOLIDOS VOLATILES DISUELTOS(mg/L)				
	CRUDO	R1	R2	R3	R4
2-nov	620.00	732.00	1,304.00	1,216.00	1,472.00
3-nov	1,096.00	2,056.00	1,972.00	1,216.00	2,128.00
4-nov	2,044.00	1,340.00	1,292.00	1,280.00	1,328.00
9-nov	1,012.00	996.00	1,012.00	948.00	952.00
11-nov	1,204.00	1,088.00	1,028.00	1,064.00	996.00
12-nov	1,132.00	868.00	1,104.00	860.00	1,028.00
17-nov	1,252.00	1,220.00	988.00	1,012.00	1,076.00
18-nov	944.00	948.00	980.00	952.00	996.00
20-nov	1,520.00	1,568.00	1,448.00	1,536.00	1,632.00
24-nov	644.00	732.00	548.00	220.00	652.00
25-nov	576.00	472.00	516.00	448.00	516.00
9-dic	1,060.00	824.00	776.00	930.00	790.00
10-dic	668.00	805.00	950.00	850.00	850.00
11-dic	905.00	580.00	548.00	500.00	572.00
15-dic	1,548.00	980.00	644.00	888.00	868.00
23-dic	840.00	404.00	376.00	504.00	480.00
29-dic	1,724.00	1,300.00	1,375.00	890.00	1,345.00
5-ene	716.00	892.00	980.00	996.00	1,212.00
7-ene	1,536.00	336.00	296.00	308.00	516.00
12-ene	1,892.00	980.00	1,608.00	1,400.00	588.00
13-ene	670.00	920.00	648.00	856.00	1,020.00
14-ene	968.00	848.00	976.00	980.00	940.00
19-ene	1,816.00	1,072.00	1,004.00	996.00	1,212.00
20-ene	1,196.00	1,012.00	1,076.00	964.00	1,210.00

Fuente: Elaboración Propia

Para este parámetro, como se muestra en el gráfico N° 5.7, las remociones obtenidas son bastante dispares, teniéndose valores negativos de remoción hasta el mes de enero, sin embargo a diferencia de los casos anteriores, estos valores serán considerados en el cálculo de los valores promedios.

El mayor valor de remoción de SVD encontrado en los reactores cuatro reactores se produjo en la semana 16, el día 07 de enero del 2010. Los **valores máximos de remoción** encontrados en cada reactor fueron:

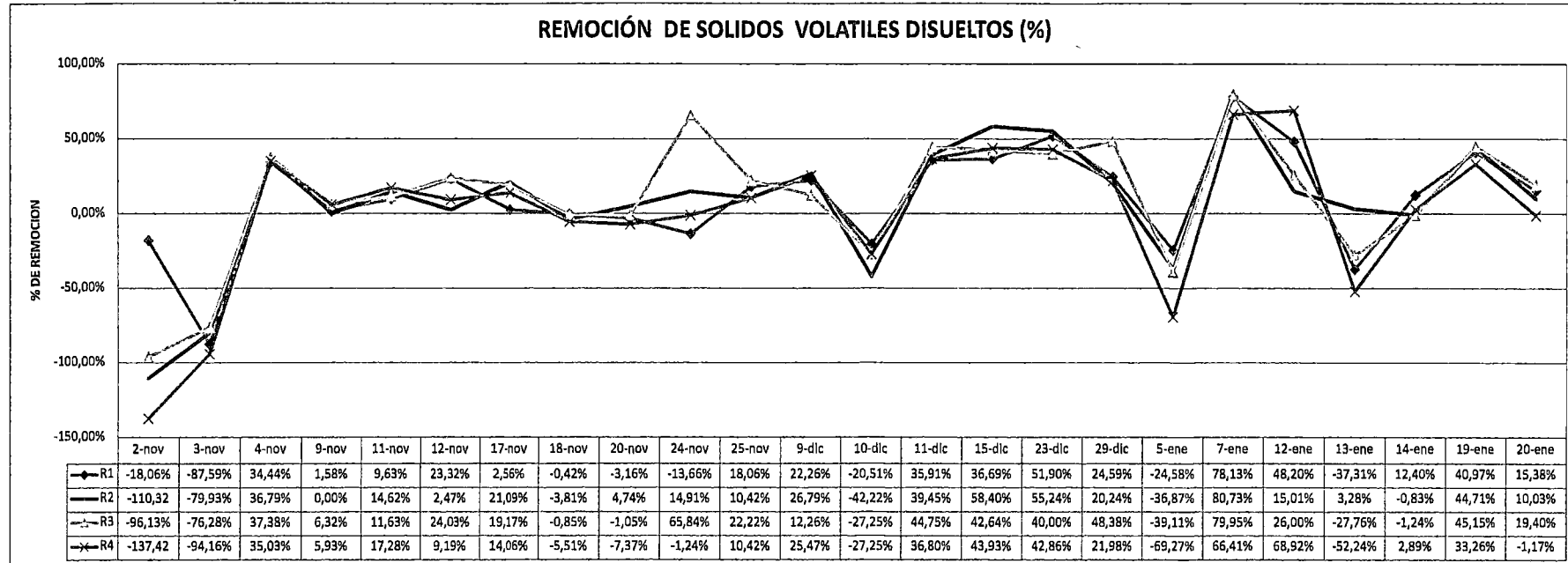
- R1: 78.13% remoción SVD R3: 79.95% remoción SVD
- R2: 80.73% remoción SVD R4: 66.41% remoción SVD

Las remociones obtenidas el día 12/01/2010 para los reactores R1 y R4, no han sido consideradas por la razón anteriormente expuesta en el acápite de DBO.

Los días en que hubo arrastre de lodo en los reactores, fueron antes del mes de diciembre, por lo que no afectan los **valores promedios de remoción** calculados e indicados a continuación:

- R1: 30.69% remoción SVD R3: 31.73% remoción SVD
- R2: 32.63% remoción SVD R4: 26.36% remoción SVD

GRÁFICO N° 5.7: REMOCIÓN DE SÓLIDOS VOLATILES DISUELTOS EN EL SISTEMA ANAEROBIO DE FLUJO ASCEDENTE



Elaboración Propia

5.3.2.2 SÓLIDOS VOLATILES SUSPENDIDOS

Debido a que es importante conocer el porcentaje de remoción de sólidos volátiles suspendidos en los reactores, este parámetro fue calculado mediante la diferencia de sólidos volátiles totales y sólidos volátiles disueltos totales. Los valores calculados se muestran a continuación:

Tabla N° 5.8: Sólidos volátiles suspendidos del afluente y efluentes en c/reactor

FECHA	SOLIDOS VOLATILES SUSPENDIDOS (mg/L)				
	CRUDO	R1	R2	R3	R4
2-nov	604.00	248.00	-44.00	44.00	-112.00
4-nov	284.00	216.00	584.00	536.00	396.00
9-nov	868.00	336.00	348.00	540.00	356.00
11-nov	472.00	440.00	472.00	328.00	436.00
12-nov	392.00	756.00	440.00	692.00	572.00
17-nov	512.00	196.00	344.00	392.00	324.00
20-nov	268.00	456.00	400.00	140.00	156.00
25-nov	484.00	636.00	396.00	568.00	512.00
9-dic	1,128.00	456.00	240.00	442.00	230.00
10-dic	692.00	1,005.00	825.00	990.00	945.00
15-dic	444.00	636.00	916.00	652.00	840.00
23-dic	632.00	732.00	760.00	788.00	656.00
29-dic	1,572.00	1,252.00	1,229.00	1,086.00	1,079.00
5-ene	1,512.00	620.00	424.00	408.00	240.00
7-ene	1,100.00	988.00	1,032.00	976.00	856.00
12-ene	1,184.00	1,052.00	968.00	992.00	944.00
13-ene	1,802.00	724.00	992.00	936.00	668.00
14-ene	896.00	764.00	656.00	560.00	712.00
19-ene	756.00	732.00	532.00	820.00	616.00
20-ene	1,460.00	972.00	760.00	608.00	1,294.00

Fuente: Elaboración Propia

Según los resultados obtenidos en la tabla y gráfico N° 5.8, los valores de remoción para este parámetro son bastante inestables en los primeros meses, ya que se muestran valores negativos de remoción en el mes de diciembre y algunos en enero. Para fines de cálculo de los valores promedios de remoción, se consideraran los obtenidos a partir del 23 de diciembre.. Los **valores máximos de remoción** encontrados en cada reactor fueron:

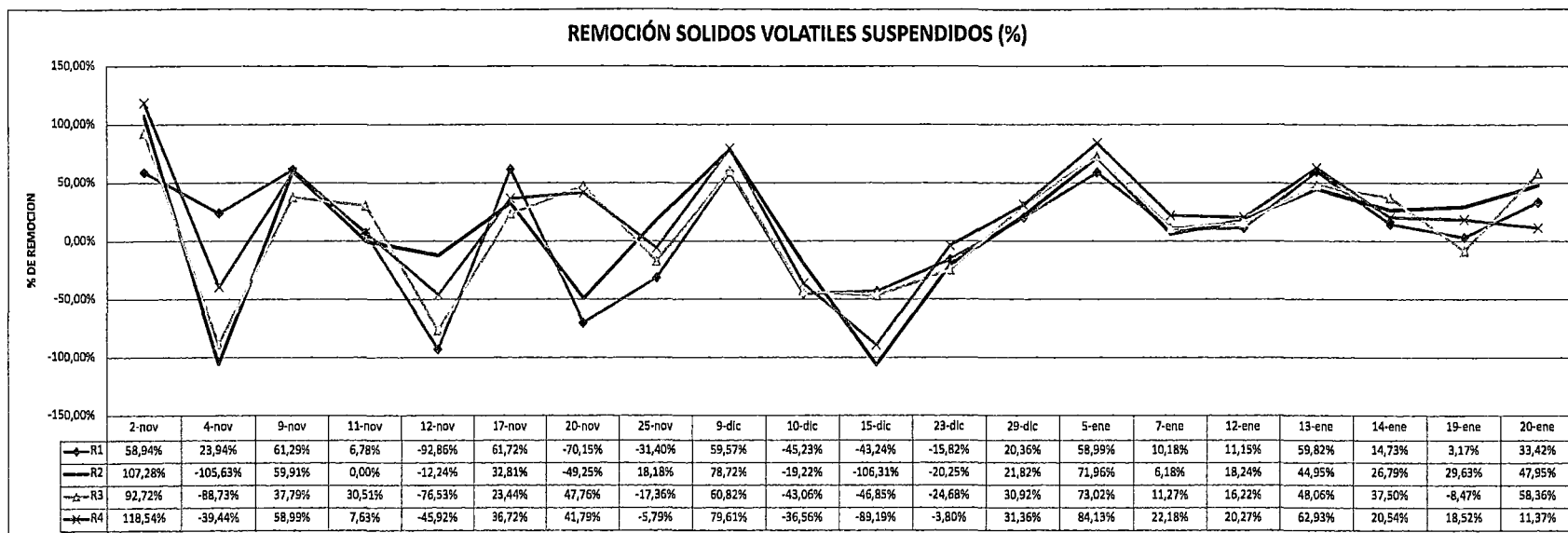
- R1: 59.82% remoción SVS R3: 73.02% remoción SVS
- R2: 71.96% remoción SVS R4: 84.13% remoción SVS

Las remociones obtenidas el día 12/01/2010 para los reactores R1 y R4, no han sido consideradas por la razón anteriormente expuesta en el acápite de DBO.

Los días en que hubo arrastre de lodo en los reactores, fueron antes del mes de diciembre, por lo que no afectan los **valores promedios de remoción** calculados e indicados a continuación:

- R1: 21.78% remoción SVS R3: 26.91% remoción SVS
- R2: 27.47% remoción SVS R4: 29.72% remoción SVS

GRÁFICO N° 5.8: REMOCIÓN DE SÓLIDOS VOLATILES SUSPENDIDOS EN EL SISTEMA ANAEROBIO DE FLUJO ASCEDENTE



Elaboración Propia

5.4 NITROGENO TOTAL

Debido a que el nitrógeno total es un parámetro a cumplir según el “Proyecto de LMP para actividades agroindustriales tales como plantas de camales y plantas de beneficio”, y además teniendo en cuenta el daño que produce la presencia de nutrientes en un ecosistema acuático (eutroficación), es que se decidió analizar este parámetro.

Para evaluar la remoción de nitrógeno total en el sistema de tratamiento anaerobio, se mandaron a analizar 11 muestras del crudo previamente sedimentado, así como de dos de los efluentes, reactores R1 y R3, considerados los más eficientes.

Tabla N° 5.9: Valores de nitrógeno total del afluente y efluentes en los reactores 1 y 3

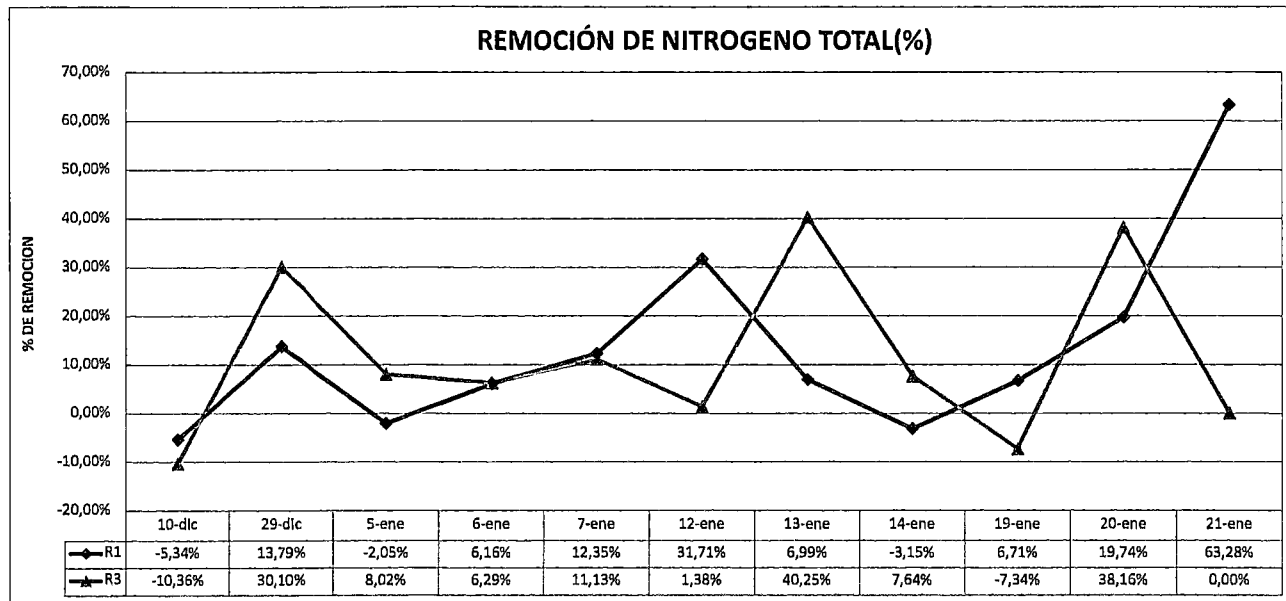
FECHA	NITROGENO TOTAL (mg/L)		
	GRUDO	R1	R3
10-dic	224,80	236,80	248,10
29-dic	571,40	492,60	399,40
5-ene	160,80	164,10	147,90
6-ene	155,90	146,30	146,10
7-ene	147,40	129,20	131,00
12-ene	643,40	439,40	634,50
13-ene	546,80	508,60	326,70
14-ene	540,30	557,30	499,00
19-ene	521,80	486,80	560,10
20-ene	698,10	560,30	431,70
21-ene	543,10	199,40	543,10

Fuente: Elaboración Propia y Envirolab Perú S.A.C.

De los valores obtenidos, se observa en el grafico N° 5.9, que las remociones en los reactores analizados fueron de:

- R1: 63.28% remoción máxima (NT) R3: 40.25% remoción máxima (NT)
- R1: 13.65% remoción promedio (NT) R3: 11.39% remoción promedio (NT)

GRÁFICO N° 5.9: REMOCIÓN DE NITROGENO TOTAL EN EL SISTEMA ANAEROBIO DE FLUJO ASCEDENTE



Elaboración Propia

5.5 FOSFORO TOTAL

Debido a que el nitrógeno total es un parámetro a cumplir según el “Proyecto de LMP para actividades agroindustriales tales como plantas de camales y plantas de beneficio”, y además teniendo en cuenta el daño que produce la presencia de nutrientes en un ecosistema acuático (eutroficación), es que se decidió analizar este parámetro.

Para evaluar la remoción de fósforo total en el sistema de tratamiento anaerobio, se mandaron a analizar 11 muestras del crudo previamente sedimentado, así como de dos de los efluentes, reactores R1 y R3, considerados los más eficientes.

Tabla N° 5.10: Valores de fósforo total del afluente y efluentes en los R1 y R3

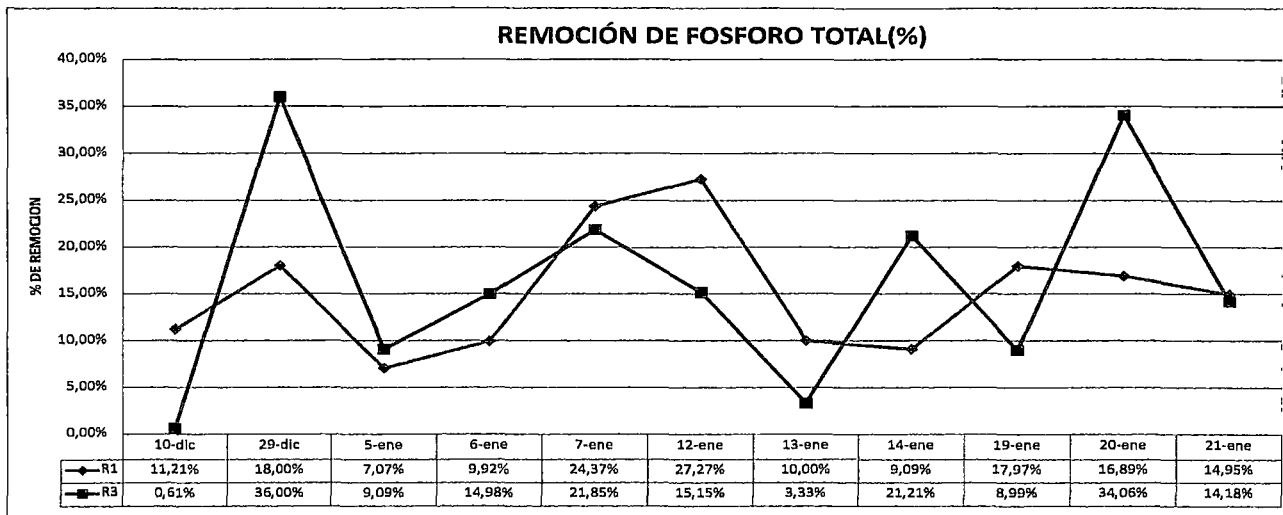
FECHA	FOSFORO TOTAL (mg/L)		
	CRUDO	R1	R3
10-dic	33,00	29,30	32,80
29-dic	50,00	41,00	32,00
5-ene	24,75	23,00	22,50
6-ene	24,70	22,25	21,00
7-ene	29,75	22,50	23,25
12-ene	33,00	24,00	28,00
13-ene	30,00	27,00	29,00
14-ene	33,00	30,00	26,00
19-ene	34,50	28,30	31,40
20-ene	36,70	30,50	24,20
21-ene	38,80	33,00	33,30

Fuente: Elaboración Propia y Envirolab Perú S.A.C.

De los valores obtenidos, se observa en el grafico N° 5.9, que las remociones en los reactores analizados fueron de:

- R1: 24.37% remoción máxima (NT) R3: 36.00% remoción máxima (NT)
- R1: 15.16% remoción promedio (NT) R3: 16.31% remoción promedio (NT)

GRÁFICO N° 5.9: REMOCIÓN DE NITROGENO TOTAL EN EL SISTEMA ANAEROBIO DE FLUJO ASCEDENTE



Elaboración Propia

5.6 pH Y TEMPERATURA

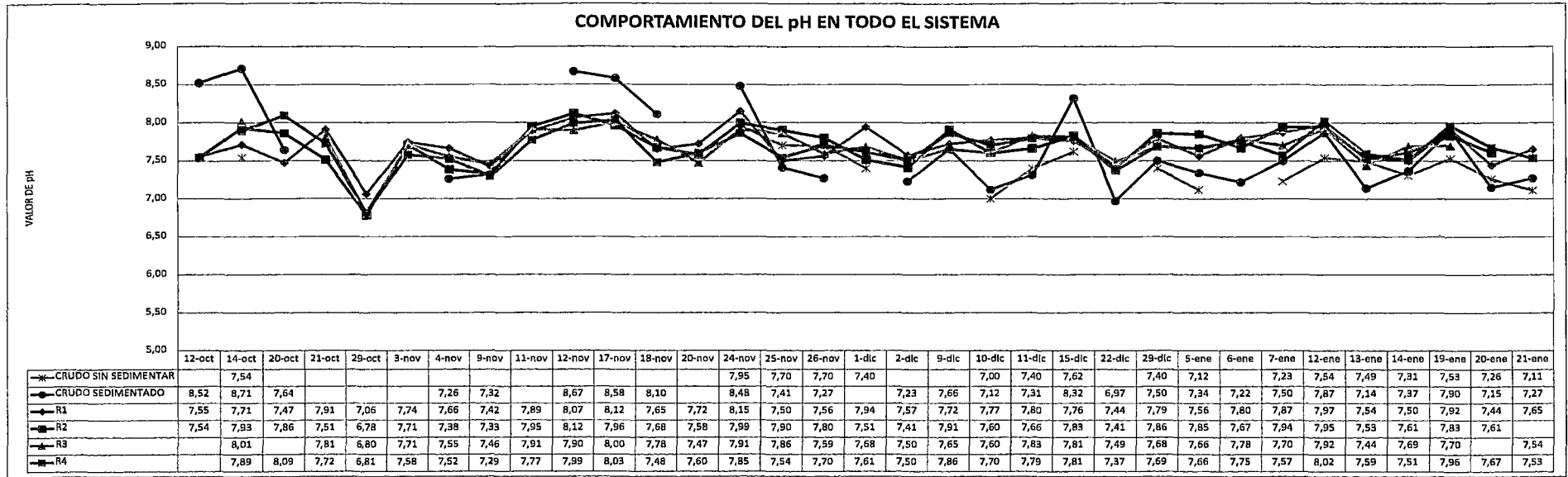
Debido a que es necesario mantener un control de los valores de pH y T° de los afluentes y efluente del sistema anaerobio, se midieron los mismos, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla N° 5.10: Valores de pH en las unidades de tratamiento

FECHA	pH						PROMEDIO
	CRUDO SIN SEDIMENTAR	CRUDO SEDIMENTADO	R1	R2	R3	R4	
12-oct		8,52	7,55	7,54			7,55
14-oct	7,54	8,71	7,71	7,93	8,01	7,89	7,89
20-oct		7,64	7,47	7,86		8,09	7,81
21-oct			7,91	7,51	7,81	7,72	7,74
29-oct			7,06	6,78	6,80	6,81	6,86
3-nov			7,74	7,71	7,71	7,58	7,68
4-nov		7,26	7,66	7,38	7,55	7,52	7,53
9-nov		7,32	7,42	7,33	7,46	7,29	7,37
11-nov			7,89	7,95	7,91	7,77	7,88
12-nov		8,67	8,07	8,12	7,90	7,99	8,02
17-nov		8,58	8,12	7,96	8,00	8,03	8,03
18-nov		8,10	7,65	7,68	7,78	7,48	7,65
20-nov			7,72	7,58	7,47	7,60	7,59
24-nov	7,95	8,48	8,15	7,99	7,91	7,85	7,97
25-nov	7,70	7,41	7,50	7,90	7,86	7,54	7,70
26-nov	7,70	7,27	7,56	7,80	7,59	7,70	7,66
1-dic	7,40		7,94	7,51	7,68	7,61	7,69
2-dic		7,23	7,57	7,41	7,50	7,50	7,50
9-dic		7,66	7,72	7,91	7,65	7,86	7,79
10-dic	7,00	7,12	7,77	7,60	7,60	7,70	7,67
11-dic	7,40	7,31	7,80	7,66	7,83	7,79	7,77
15-dic	7,62	8,32	7,76	7,83	7,81	7,81	7,80
22-dic		6,97	7,44	7,41	7,49	7,37	7,43
29-dic	7,40	7,50	7,79	7,86	7,68	7,69	7,76
5-ene	7,12	7,34	7,56	7,85	7,66	7,66	7,68
6-ene		7,22	7,80	7,67	7,78	7,75	7,75
7-ene	7,23	7,50	7,87	7,94	7,70	7,57	7,77
12-ene	7,54	7,87	7,97	7,95	7,92	8,02	7,97
13-ene	7,49	7,14	7,54	7,53	7,44	7,59	7,53
14-ene	7,31	7,37	7,50	7,61	7,69	7,51	7,58
19-ene	7,53	7,90	7,92	7,83	7,70	7,96	7,85
20-ene	7,26	7,15	7,44	7,61		7,67	7,57
21-ene	7,11	7,27	7,65		7,54	7,53	7,57

Fuente: Elaboración Propia

GRÁFICO N° 5.10: COMPORTAMIENTO DEL PH EN LAS UNIDADES DEL SISTEMA ANAEROBIO DE FLUJO ASCEDENTE



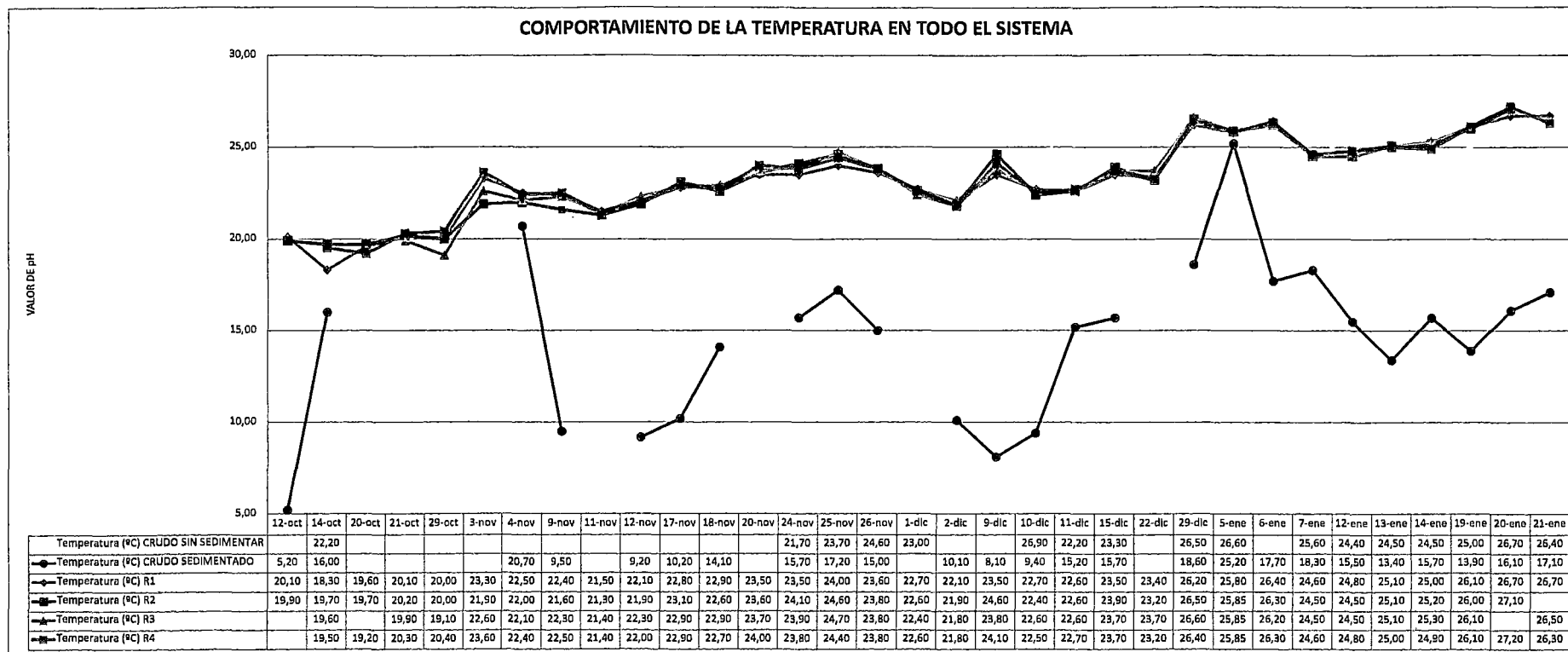
Elaboración Propia

Tabla Nº 5.11: Valores de Temperatura en las unidades de tratamiento

FECHA	Temperatura (°C)						
	CRUDO SIN SEDIMENTAR	CRUDO SEDIMENTADO	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
12-oct		5,20	20,10	19,90			20,00
14-oct	22,20	16,00	18,30	19,70	19,60	19,50	19,28
20-oct			19,60	19,70		19,20	19,50
21-oct			20,10	20,20	19,90	20,30	20,13
29-oct			20,00	20,00	19,10	20,40	19,88
3-nov			23,30	21,90	22,60	23,60	22,85
4-nov		20,70	22,50	22,00	22,10	22,40	22,25
9-nov		9,50	22,40	21,60	22,30	22,50	22,20
11-nov			21,50	21,30	21,40	21,40	21,40
12-nov		9,20	22,10	21,90	22,30	22,00	22,08
17-nov		10,20	22,80	23,10	22,90	22,90	22,93
18-nov		14,10	22,90	22,60	22,90	22,70	22,78
20-nov			23,50	23,60	23,70	24,00	23,70
24-nov	21,70	15,70	23,50	24,10	23,90	23,80	23,83
25-nov	23,70	17,20	24,00	24,60	24,70	24,40	24,43
26-nov	24,60	15,00	23,60	23,80	23,80	23,80	23,75
1-dic	23,00		22,70	22,60	22,40	22,60	22,58
2-dic		10,10	22,10	21,90	21,80	21,80	21,90
9-dic		8,10	23,50	24,60	23,80	24,10	24,00
10-dic	26,90	9,40	22,70	22,40	22,60	22,50	22,55
11-dic	22,20	15,20	22,60	22,60	22,60	22,70	22,63
15-dic	23,30	15,70	23,50	23,90	23,70	23,70	23,70
22-dic			23,40	23,20	23,70	23,20	23,38
29-dic	26,50	18,60	26,20	26,50	26,60	26,40	26,43
5-ene	26,60	25,20	25,80	25,85	25,85	25,85	25,84
6-ene		17,70	26,40	26,30	26,20	26,30	26,30
7-ene	25,60	18,30	24,60	24,50	24,50	24,60	24,55
12-ene	24,40	15,50	24,80	24,50	24,50	24,80	24,65
13-ene	24,50	13,40	25,10	25,10	25,10	25,00	25,08
14-ene	24,50	15,70	25,00	25,20	25,30	24,90	25,10
19-ene	25,00	13,90	26,10	26,00	26,10	26,10	26,08
20-ene	26,70	16,10	26,70	27,10		27,20	27,00
21-ene	26,40	17,10	26,70		26,50	26,30	26,50

Fuente: Elaboración Propia

GRÁFICO N° 5.10: COMPORTAMIENTO DEL PH EN LAS UNIDADES DEL SISTEMA ANAEROBIO DE FLUJO ASCEDENTE



Elaboración Propia

5.7 PRODUCCION DE BIOGAS EN EL REACTOR R1

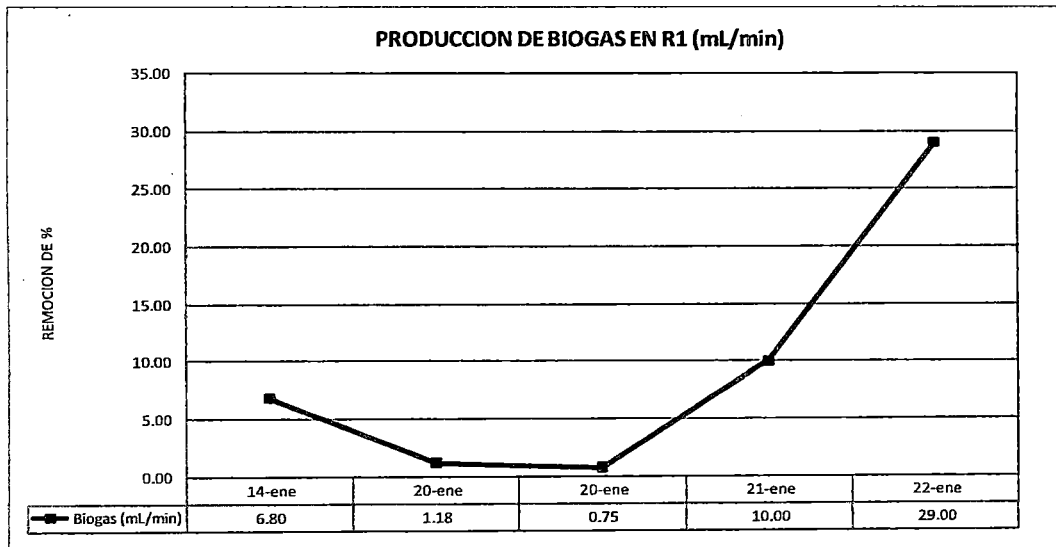
Con la ayuda de un frasco de Mariotte, se realizaron algunas mediciones de biogás producido por el reactor 1. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

Tabla N° 5.12: Volumen de Biogás producidos en el R1

Fecha	PRODUCCION DE BIOGAS					
	Hora Inicio	Hora Fin	Tiempo (h)	Volumen (mL)	Biogas (mL/min)	Temperatura
14-ene	1:16 PM	2:16 PM	1.00	408	6.80	25.2 °C
20-ene	1:20 PM	2:20 PM	1.00	71	1.18	28.5 °C
20-ene	2:30 PM	3:00 PM	0.50	22.5	0.75	28.5 °C
21-ene	2:06 PM	3:06 PM	1.00	600	10.00	27.5 °C
22-ene	4:25 PM	4:55 PM	0.50	870	29.00	26.5 °C

Fuente: Elaboración Propia

GRÁFICO N° 5.11: PRODUCCION DE BIOGAS EN EL REACTOR 1



Fuente: Elaboración Propia

5.8 CARACTERISTICAS DE BACTERIAS PROCEDENTES DE LODOS

Como ya se menciona en el capítulo IV, se realizó la incubación de las bacterias procedentes del lodo de arranque y del obtenido al final del periodo de funcionamiento. Se tomaron las muestras de lodos en los cuatro digestores para ambos casos, y se procedió a cultivar las bacterias obtenidas, en Agar para Anaerobios según Brewer.

Se identificaron las diferentes colonias obtenidas, y luego se realizó la tinción Gram para observarlas en el microscopio.

Interpretación de Resultados – Caracterización de las Colonias

De los resultados obtenidos correspondientes a la caracterización de las colonias encontradas, se puede concluir que en el lodo de arranque se encontró menor diversidad de bacterias, 3 colonias; mientras que, en el lodo final se encontró más variedad de organismos anaerobios, 8 colonias diferentes en cada reactor.

Esto se debe a que las bacterias del lodo de arranque solo correspondían a aquellas cuyo sustrato eran los carbohidratos. A diferencia de las bacterias del lodo obtenido al final del periodo de funcionamiento, cuyo sustrato era más variado, carbohidratos, proteínas, etc.

Interpretación de Resultados – Tinción Gram

Todas bacterias identificadas en el lodo de arranque son bacilos, la mayoría gram positivo, no encontrándose ningún coco. En el lodo obtenido a final del periodo de operación, se encontraron tanto cocos como bacilos, y de igual manera gram positivos y gram negativos.

Esto comprueba la caracterización de las colonias, en donde se deduce que en el lodo final se encuentran más variedad de bacterias.

CARACTERÍSTICAS DE LAS COLONIAS

A. **MUESTRA:** Lodo obtenido al INICIO del periodo de evaluación.

Figura N° 5.1: Colonias diferenciadas - Lodo de Arranque

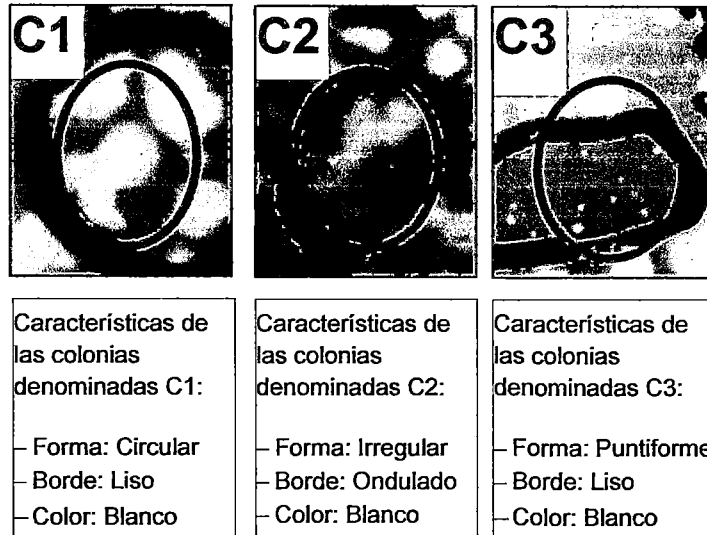
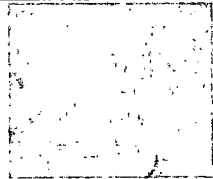




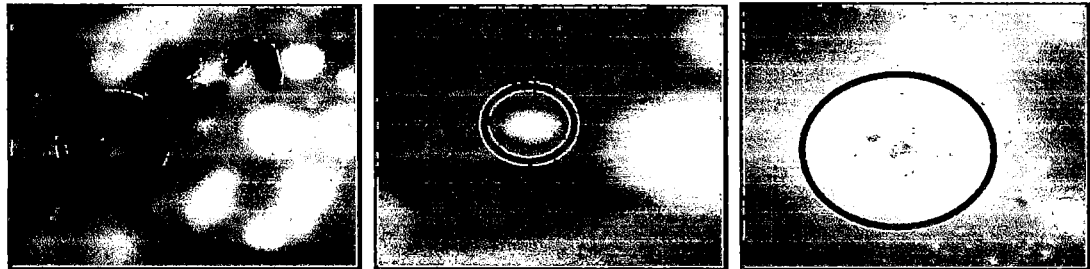
Tabla N° 5.13: Características de las colonias aisladas de cada reactor
INICIO Periodo de Funcionamiento

REACTOR	COLONIA	FORMA	TINGIÓN GRAM	IMAGEN
R1, R2, R3 Y R4	C1	BACILOS	AZUL (+)	
R1, R2, R3 Y R4	C2	BACILOS	ROJO (-)	
R1, R2, R3 Y R4	C3	BACILOS	AZUL (+)	

Fuente: Elaboración Propia

B. **MUESTRA:** Lodo obtenido al FINAL del periodo de evaluación.

Figura N° 5.2: Colonias diferenciadas – Lodo Final



Características de las colonias denominadas C1:

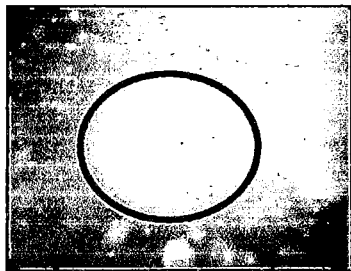
- Forma: Puntiforme
- Borde: Redondeado
- Color: Blanco opaco
- Tamaño: Menor a 0.5mm

Características de las colonias denominadas C2:

- Forma: Puntiforme
- Borde: Redondeado
- Color: Blanco opaco
- Tamaño: Menor a 0.5mm

Características de las colonias denominadas C3:

- Forma: Puntiforme
- Borde: Redondeado
- Color: Blanco opaco
- Tamaño: Menor a 0.5mm



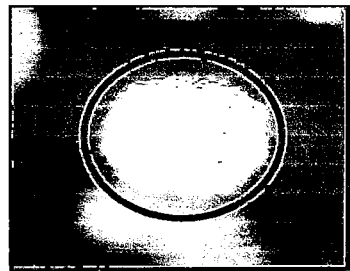
Características de las colonias denominadas C4:

- Forma: Puntiforme
- Borde: Redondeado
- Color: Blanco opaco
- Tamaño: Menor a 0.5mm



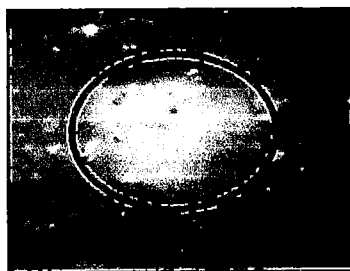
Características de las colonias denominadas C5:

- Forma: Puntiforme
- Borde: Redondeado
- Color: Blanco opaco
- Tamaño: Menor a 0.5mm



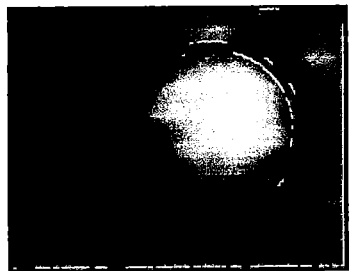
Características de las colonias denominadas C6:

- Forma: Puntiforme
- Borde: Redondeado
- Color: Blanco opaco
- Tamaño: Menor a 0.5mm



Características de las colonias denominadas C4:

- Forma: Puntiforme
- Borde: Redondeado
- Color: Blanco opaco
- Tamaño: Menor a 0.5mm



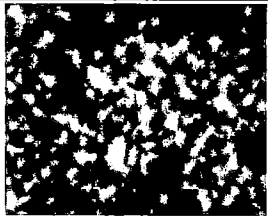


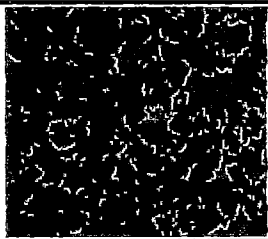
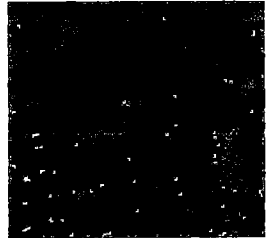
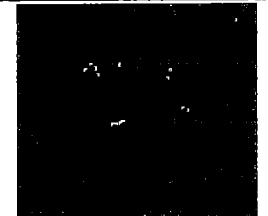
Características de las colonias denominadas C5:

- Forma: Puntiforme
- Borde: Redondeado
- Color: Blanco opaco
- Tamaño: Menor a 0.5mm

Características de las colonias denominadas C6:

- Forma: Puntiforme
- Borde: Redondeado
- Color: Blanco opaco
- Tamaño: Menor a 0.5mm

Tabla Nº 5.14: Características de las colonias aisladas de cada reactor
FINAL Periodo de Funcionamiento

REACTOR	COLONIA	FORMA	TINGIÓNGRAM	IMAGEN
R1, R2, R3 y R4	C1	BACILOS	POSITIVO	
R1, R2, R3 y R4	C2	COCOS	POSITIVO	
R1, R2, R3 y R4	C3	BACILOS	POSITIVO	
R1, R2, R3 y R4	C4	BACILOS	POSITIVO	
R1, R2, R3 y R4	C5	BACILOS	NEGATIVO	
R1, R2, R3 y R4	C6	COCOS	POSITIVO	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5.14: Características de las colonias aisladas de cada reactor
FINAL Periodo de Funcionamiento – Continuación

REACTOR	COLONIA	FORMA	TINCIÓN GRAM	IMAGEN
R1, R2, R3 y R4	C7	BACILOS	NEGATIVO	
R1, R2, R3 y R4	C8	BACILOS	POSITIVO	

Fuente: Elaboración Propia

5.9 COLIFORMES TOTALES Y FECALES DEL LODO FINAL

Como parte de la caracterización de lodo obtenido al final del periodo de evaluación de los reactores, se comprobó la presencia de Coliformes Totales y Coliformes Fecales.

Se realizaron tres mediciones de cada muestra para las tres pruebas que se realizaron, con caldo Lauril (prueba presuntiva), caldo Brila (Coliformes Totales) y caldo EC (Coliformes Fecales). En la tabla 5.16 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 5.16: Metodología para el cálculo de Coliformes Totales y Fecales

MUESTRA	MUESTREO		ANÁLISIS		PRUEBA PRESUNTIVA Y CONFIRMATIVA 24hrs										NMP Coli/100ml	
	FECHA	HORA	FECHA	HORA	Diluciones en ml											
					10 ⁽⁻²⁾	10 ⁽⁻³⁾	10 ⁽⁻⁴⁾	10 ⁽⁻⁵⁾	10 ⁽⁻⁶⁾	10 ⁽⁻⁷⁾	10 ⁽⁻⁸⁾	10 ⁽⁻⁹⁾	10 ⁽⁻¹⁰⁾	10 ⁽⁻¹¹⁾		
Reactor 1 1°	08/02/2010	12:00:00 p.m.	11/02/2010	02:40:00 p.m.	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	-	24h C. Lauril
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	12/02/2010	03:15:00 p.m.	1	1	1	1	0	0	0	-	-	-	3-3-3	24h C. Brila
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	13/02/2010	05:00:00 p.m.	1	1	1	1	0	0	0	-	-	-	3-3-3	24h C. EC
Reactor 1 2°	08/02/2010	12:00:00 p.m.	11/02/2010	02:40:00 p.m.	1	1	1	1	0	0	0	0	0	-	24h C. Lauril	
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	12/02/2010	03:15:00 p.m.	1	1	1	1	0	0	0	-	-	-	3-3-3	24h C. Brila
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	13/02/2010	05:00:00 p.m.	1	1	1	1	0	0	0	-	-	-	3-3-3	24h C. EC
Reactor 1 3°	08/02/2010	12:00:00 p.m.	11/02/2010	02:40:00 p.m.	1	1	1	1	0	0	0	0	0	-	24h C. Lauril	
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	12/02/2010	03:15:00 p.m.	1	1	1	1	0	0	0	-	-	-	3-3-3	24h C. Brila
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	13/02/2010	05:00:00 p.m.	1	1	1	1	0	0	0	-	-	-	3-3-3	24h C. EC
Reactor 2 1°	08/02/2010	12:00:00 p.m.	11/02/2010	02:40:00 p.m.	1	1	1	0	0	0	0	0	0	-	24h C. Lauril	
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	12/02/2010	03:15:00 p.m.	1	1	1	0	0	0	0	-	-	-	3-3-1	24h C. Brila
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	13/02/2010	05:00:00 p.m.	1	1	1	0	0	0	0	-	-	-	3-3-3	24h C. EC
Reactor 2 2°	08/02/2010	12:00:00 p.m.	11/02/2010	02:40:00 p.m.	1	1	1	1	0	0	0	0	0	-	24h C. Lauril	
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	12/02/2010	03:15:00 p.m.	1	1	1	1	0	0	0	-	-	-	3-3-1	24h C. Brila
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	13/02/2010	05:00:00 p.m.	1	1	1	0	0	0	0	-	-	-	3-3-3	24h C. EC
Reactor 2 3°	08/02/2010	12:00:00 p.m.	11/02/2010	02:40:00 p.m.	1	1	1	0	0	0	0	0	0	-	24h C. Lauril	
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	12/02/2010	03:15:00 p.m.	1	1	1	0	0	0	0	-	-	-	3-3-1	24h C. Brila
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	13/02/2010	05:00:00 p.m.	1	1	1	0	0	0	0	-	-	-	3-3-3	24h C. EC
Reactor 3 1°	08/02/2010	12:00:00 p.m.	11/02/2010	02:40:00 p.m.	1	1	1	1	0	0	0	0	0	-	24h C. Lauril	
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	12/02/2010	03:15:00 p.m.	1	1	1	1	1	1	0	-	-	-	3-3-3	24h C. Brila
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	13/02/2010	05:00:00 p.m.	1	1	1	1	1	0	0	-	-	-	3-3-3	24h C. EC
Reactor 3 2°	08/02/2010	12:00:00 p.m.	11/02/2010	02:40:00 p.m.	1	1	1	1	0	0	0	0	0	-	24h C. Lauril	
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	12/02/2010	03:15:00 p.m.	1	1	1	1	1	1	0	-	-	-	3-3-3	24h C. Brila
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	13/02/2010	05:00:00 p.m.	1	1	1	1	1	0	0	-	-	-	3-3-3	24h C. EC
Reactor 3 3°	08/02/2010	12:00:00 p.m.	11/02/2010	02:40:00 p.m.	1	1	1	1	1	0	0	0	0	-	24h C. Lauril	
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	12/02/2010	03:15:00 p.m.	1	1	1	1	1	1	0	-	-	-	3-3-3	24h C. Brila
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	13/02/2010	05:00:00 p.m.	1	1	1	1	1	0	0	-	-	-	3-3-3	24h C. EC
Reactor 4 1°	08/02/2010	12:00:00 p.m.	11/02/2010	02:40:00 p.m.	1	1	1	1	1	1	0	0	0	-	24h C. Lauril	
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	12/02/2010	03:15:00 p.m.	1	1	1	1	1	1	0	-	-	-	3-3-1	24h C. Brila
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	13/02/2010	05:00:00 p.m.	1	1	1	1	1	1	0	-	-	-	3-3-1	24h C. EC
Reactor 4 2°	08/02/2010	12:00:00 p.m.	11/02/2010	02:40:00 p.m.	1	1	1	1	0	0	0	0	0	-	24h C. Lauril	
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	12/02/2010	03:15:00 p.m.	1	1	1	1	1	0	0	-	-	-	3-3-1	24h C. Brila
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	13/02/2010	05:00:00 p.m.	1	1	1	1	1	0	0	-	-	-	3-3-1	24h C. EC
Reactor 4 3°	08/02/2010	12:00:00 p.m.	11/02/2010	02:40:00 p.m.	1	1	1	1	0	0	0	0	0	-	24h C. Lauril	
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	12/02/2010	03:15:00 p.m.	1	1	1	1	1	0	0	-	-	-	3-3-1	24h C. Brila
	08/02/2010	12:00:00 p.m.	13/02/2010	05:00:00 p.m.	1	1	1	1	1	0	0	-	-	-	3-3-1	24h C. EC

Fuente: Elaboración propia

Después de realizar las comparaciones correspondientes, se obtuvieron los siguientes valores de CT y CF por cada reactor:

Tabla 5.15: Valores de CT y CF en el lodo final

Reactor	CT (NMP/100mL)	CF (NMP/100mL)
R1	2.4×10^6	2.4×10^6
R2	4.6×10^5	2.4×10^5
R3	2.4×10^8	2.4×10^7
R4	4.6×10^7	4.6×10^6

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos, se observa que los reactores 3 y 4 son los que contienen más coliformes totales y fecales.

VI. DISCUSIONES

6.1 RESPECTO AL SEDIMENTADOR

6.1.1 La unidad de sedimentación acondicionada, tenía un periodo de retención de 4 horas, este tiempo es mayor al generalmente usado para el diseño de sedimentadores a escala real, sin embargo se considero el indicado para la eliminación de la alta cantidad de sólidos sedimentables presentes en el afluente.

6.1.2 Debido a la presencia de nata en el sedimentador, después de las 4 horas, se piensa que había remoción de grasas; sin embargo este parámetro no fue medido, lo cual hubiera sido conveniente, no solo para verificar la remoción en dicha unidad sino para conocer la cantidad de grasa que entraba a los reactores.

6.2 RESPECTO A LA UNIDAD DE ALMACENAMIENTO (CONGELADORA)

6.2.1 Inicialmente, se colocaron 3 galoneras de 40L dentro de la congeladora, comunicándose todas mediante mangueras instaladas en la parte inferior de las mismas; la instalación de estas mangueras de jebe, en una superficie de plástico no resulto segura. Si bien los materiales usados para dicha unión, moldimix y soldimix, funcionaron para la superficie de la galonera, no se adhirieron bien a la superficie de la manguera, ya que al momento de mover estos envases, se producían fugas, y muchas veces esta unión se desprendía ocasionando la salida descontrolada del agua, inundado toda la congeladora. Debido a este inconveniente se decidió usar solo dos galoneras, independientes.

6.2.2 El uso de la congeladora en el sistema implementado sirvió para evitar cambios significativos en la composición de la muestra, ya que lo que se quería era simular un proceso continuo de tratamiento.

6.2.3 Comprobamos que congelar la muestra no garantizaba que las características del agua residual no varían, ya que al analizar los efluentes de los reactores sin respetar el periodo de retención, los resultados eran diferentes a los obtenidos respetando dicho periodo. Además, al observar los envases donde almacenábamos el afluente después de unas horas, veíamos sangre coagulada.

6.3 RESPECTO A LOS REACTORES

6.3.1 El lodo que se utilizó como inóculo en los cuatro reactores era granular, sin embargo el lodo que se obtuvo al final del período de evaluación era floculento y disperso, lo cual se comprueba con los resultados de sólidos totales y volátiles realizados en estas dos muestras de lodos. Se sospecha que esto se pudo deber a la presencia de grasa en el afluente, pero debido a que no se analizó dicho parámetro, no se pudo concluir lo afirmado.

6.3.2 Al principio del periodo de operación, se observaron bloques de lodo que se levantaban, es decir el agua no pasaba con facilidad por este manto de lodo, lo que indica que no existía un buen contacto entre los contaminantes del agua residual y las bacterias encargadas de convertir estos contaminantes. Esto se pudo mejorar con la implementación de un sistema de mezcla.

6.3.3 Uno de los objetivos de las válvulas de entrada colocadas en cada reactor era calibrar los caudales de ingreso, de manera que sean iguales en todos los reactores, sin embargo esto no pudo cumplirse siempre, ya que durante el periodo de operación se tuvo que cambiar las válvulas porque se oxidaron, impidiendo el maniobra de estas para la regulación del caudal.

6.3.4 La bomba utilizada para alimentar a los reactores tenía solo dos cabezales, y se necesitaba alimentar a cuatro reactores, por lo que se colocó un accesorio "Y" en las mangueras de entrada; este accesorio no fue el más adecuado, ya que muchas veces todo el caudal se iba a un

reactor y el otro no recibía nada. Lo ideal hubiera sido trabajar solo con dos reactores o con cuatro cabezales, un cabezal por reactor, lo que si hubiera asegurado caudales iguales.

- 6.3.5** Las primeras semanas del periodo de evaluación, se utilizaron las tapas fabricadas para sellar los reactores, sin hermetizarlos totalmente. Aun cuando el gas producido podía salir por los costados de la tapa, la acumulación del gas dentro del reactor hizo que el nivel del agua bajara, debido al empuje producido por los gases acumulados, ocasionando un flujo inverso, así como pérdida de lodo.

6.4 RESPECTO AL FRASCO DE MARIOTTE

- 6.4.1** El frasco de Mariotte armado, tenía dos válvulas, una para la entrada del gas y otra para el llenado del agua; sin embargo, carecía de una salida más, la cual hubiera permitido la salida del gas atrapado al ambiente, durante el llenado del frasco. A pesar del aspirado de dicho gas, al momento de llenar el frasco era inevitable que algo de aire entrara, por lo que se debía tener especial cuidado en este punto, esto hacia que el proceso de llenado de agua durara más de lo programado, habiéndose podido evitar con la instalación de una válvula de ventilación.

VII. CONCLUSIONES

- 7.1** La clave de un adecuado sistema de tratamiento de residuos de un camal es la gestión de estos, obtenidos durante el proceso de sacrificio; para mejorar la calidad del residuo líquido a ser tratado, reduciendo así los costos de tratamiento. En la sección de Anexos de esta tesis, indicamos maneras de gestión y reutilización de residuos sólidos y sangre.
- 7.2** Los procesos anaerobios son recomendables como tratamiento primario, ya que ayuda a reducir las altas cargas orgánicas hasta valores que puedan ser tratados con procesos aerobios sin generar altos costos de operación, como por ejemplo menor costo en tratamiento y disposición de lodos producidos, así como menores costos de energía eléctrica. Además, el biogás producido en los procesos anaerobios puede ser utilizado como fuente de energía.
- 7.3** Es necesaria la eliminación de sólidos sedimentables, aceites y grasas antes del ingreso al proceso anaerobio, dada la alta concentración de estos en el desagüe de camal. En nuestro caso se obtuvieron altas eficiencias de remoción de DQO, obteniendo valores de hasta 70%.
- 7.4** Para un sistema de tratamiento a escala real de este tipo de agua residual, se debe prever un sistema de eliminación de natas, ya que estas se forman en gran cantidad aun sin adicionar polímero ni aireación; adicionalmente a un sistema de purga de sólidos sedimentables.
- 7.5** Si no se respeta el periodo de retención en los reactores, los resultados obtenidos, por más que se congele el agua residual, no serán los reales. Esto se comprobó experimentalmente.
- 7.6** Según los resultados de remoción de DBO₅ obtenidos, el periodo de acondicionamiento con la muestra de camal, fue aproximadamente de 15 días, en donde se obtuvieron valores negativos de remoción. Luego de este periodo, se observó un incremento progresivo en las remociones, obteniéndose valores mayores al 30%, después de dos meses de finalizado el acondicionamiento.

- 7.7** Para el parámetro de DBO₅, los reactores con altura inicial de lodo de 42cm (R1 y R2), tuvieron una máxima remoción de 41.32% y una remoción promedio igual a 22.34%, mientras que los reactores con altura de lodo de 28cm (R3 y R4) obtuvieron una máxima remoción de 52.58% y una remoción promedio igual a 20.82%.
- 7.8** De los valores de DQO, el periodo de acondicionamiento del sistema también fue de 15 días, luego de este periodo se encontraron valores de remoción alrededor de 30% durante 15 días. A partir de esta fecha, las remociones disminuyeron considerablemente, alrededor de 5% por un periodo de 30 días, para luego irse incrementando progresivamente.
- 7.9** En cuanto al parámetro de DQO, los reactores con altura inicial de lodo de 42cm (R1 y R2), tuvieron una máxima remoción de 49.26% y una remoción promedio igual a 25.08%, mientras que los reactores con altura de lodo de 28cm (R3 y R4) obtuvieron una máxima remoción de 43.36% y una remoción promedio igual a 23.81%.
- 7.10** Para el parámetro de ST (Sólidos Totales), los reactores con altura inicial de lodo de 42cm (R1 y R2), tuvieron una máxima remoción de 28.81% y una remoción promedio igual a 16.12%, mientras que los reactores con altura de lodo de 28cm (R3 y R4) obtuvieron una máxima remoción de 28.76% y una remoción promedio igual a 15.76%.
- 7.11** Los resultado obtenidos de SDT (Sólidos Disueltos Totales) muestran que para los reactores con altura inicial de lodo de 42cm (R1 y R2), la máxima remoción fue de 26.31% y la remoción promedio igual a 15.07%, mientras que para los reactores con altura de lodo de 28cm (R3 y R4) la máxima remoción fue de 27.23% y la remoción promedio igual a 14.34%.
- 7.12** En cuanto al parámetro de SST (Sólidos Suspendidos Totales), los reactores con altura inicial de lodo de 42cm (R1 y R2), tuvieron una máxima remoción de 68.50% y una remoción promedio igual a 32.30%, mientras que los reactores con altura de lodo de 28cm (R3 y R4) obtuvieron una máxima remoción de 67.38% y una remoción promedio igual a 28.66%. Cabe señalar que los resultado obtenidos para este parámetro, la diferencia entre las

remociones obtenidos para los reactores con igual altura inicial de lodos, se diferencia en 32% (R1 y R2) y en 13.25% (R3 y R4).

- 7.13** Para el parámetro de SVT (Sólidos Volátiles Totales), los reactores con altura inicial de lodo de 42cm (R1 y R2), tuvieron una máxima remoción de 49.70% y una remoción promedio igual a 27.23%, mientras que los reactores con altura de lodo de 28cm (R3 y R4) obtuvieron una máxima remoción de 49.62% y una remoción promedio igual a 27.07%.
- 7.14** Los resultado obtenidos de SVD (Sólidos Volátiles Disueltos) muestran que para los reactores con altura inicial de lodo de 42cm (R1 y R2), la máxima remoción fue de 79.43% y la remoción promedio igual a 31.70%, mientras que para los reactores con altura de lodo de 28cm (R3 y R4) la máxima remoción fue de 73.18% y la remoción promedio igual a 29.00%.
- 7.15** En cuanto al parámetro de SVS (Sólidos Volátiles Suspendidos), los reactores con altura inicial de lodo de 42cm (R1 y R2), tuvieron una máxima remoción de 65.89% y una remoción promedio igual a 24.63%, mientras que los reactores con altura de lodo de 28cm (R3 y R4) obtuvieron una máxima remoción de 78.58% y una remoción promedio igual a 28.32%.
- 7.16** En la tabla N° 7.1 se muestra un resumen con los valores de remociones máximas y promedios para las diferentes alturas de lodos.

En esta tabla se observa que los resultados obtenidos con los reactores R1 y R2, cuyas alturas de lodos eran igual a 42cm, resultaron más eficientes que los reactores R3 y R4, con altura de lodos igual de 28cm.

- 7.17** Así mismo, de los resultados mostrados en la tabla anterior, se concluye que en la última semana del mes de diciembre y la primera semana de enero, se obtuvieron los mayores porcentajes de remoción.

Tabla N° 7.1: Porcentaje de Remoción por Parámetro

Parámetro	Descripción	Remoción				Promedios	
		R1	R2	R3	R4	R1 y R2 (h=42cm)	R3 y R4 (h=28cm)
DBO	Promedio	26.4%	18.0%	15.9%	25.8%	22.2%	20.8%
	Máxima	43.1%	39.6%	51.2%	54.1%	41.3%	52.6%
	Fecha	29-Dic	29-Dic	29-Dic	29-Dic		
DQO	Promedio	24.7%	25.4%	24.3%	23.2%	25.1%	23.8%
	Máxima	47.8%	50.7%	47.8%	38.9%	49.3%	43.3%
	Fecha	19-Ene	19-Ene	29-Dic	19-Ene		
ST	Promedio	15.6%	16.6%	16.2%	15.3%	16.1%	15.8%
	Máxima	27.0%	30.6%	32.6%	25.0%	28.82%	28.76%
	Fecha	07-Ene	05-Ene	29-Dic	07-Ene		
SVT	Promedio	27.1%	27.4%	27.9%	26.3%	27.2%	27.1%
	Máxima	49.8%	49.6%	51.3%	48.0%	49.7%	49.6%
	Fecha	07-Ene	07-Ene	07-Ene	07-Ene		
SDT	Promedio	15.3%	14.8%	15.6%	13.0%	15.1%	14.3%
	Máxima	30.0%	22.6%	30.1%	24.4%	26.3%	27.2%
	Fecha	07-Ene	19-Ene	29-Dic	07-Ene		
SVD	Promedio	30.7%	32.6%	31.7%	26.4%	31.7%	29.0%
	Máxima	78.1%	80.7%	79.9%	66.4%	79.4%	73.2%
	Fecha	07-Ene	07-Ene	07-Ene	07-Ene		
SST	Promedio	24.9%	39.7%	30.7%	26.6%	32.3%	28.7%
	Máxima	52.5%	84.5%	60.7%	74.0%	68.5%	67.4%
	Fecha	05-Ene	05-Ene	05-Ene	05-Ene		
SVS	Promedio	21.8%	27.5%	26.9%	29.7%	24.6%	28.3%
	Máxima	59.8%	72.0%	73.0%	84.1%	65.9%	78.6%
	Fecha	13-Ene	05-Ene	05-Ene	05-Ene		

Fuente: Elaboración Propia

7.18 Los valores de nitrógeno total obtenidos muestran que la máxima remoción en el reactor R1 (con altura de lodo inicial igual a 42cm) es de 63.28% mientras que la remoción promedio es de 13.65%. Para el caso del R3 (con altura de lodo inicial igual a 28cm) la máxima remoción de nitrógeno total es de 40.25%, y en promedio la remoción es de 11.39%. De estos resultados concluimos que el reactor con 42cm de altura de lodo inicial es más eficiente en la remoción de nitrógeno total.

7.19 Los valores de fósforo total obtenidos muestran que la máxima remoción en el reactor R1 (con altura de lodo inicial igual a 42cm) es de 24.37% mientras que la remoción promedio es de 15.16%. Para el caso del R3 (con altura de lodo inicial igual a 28cm) la máxima remoción de nitrógeno total es de 36.00%, y en promedio la remoción es de 16.31%. De estos resultados concluimos que el reactor con 42cm de altura de lodo inicial es más eficiente en la remoción de nitrógeno total.

VIII. RECOMENDACIONES

- 8.1** Es muy importante la implementación de un sistema de pre tratamiento para el agua residual de camales, ya que esta tiene un alto contenido de sólidos suspendidos, los cuales son degradados en un bajo porcentaje, haciendo menos eficiente el proceso de digestión anaerobia.
- 8.2** Dado que se quiere comparar la eficiencia de los reactores en base a la cantidad de lodo inoculado, la única variable debe ser la mencionada, manteniendo las demás condiciones constantes como por ejemplo la calidad y caudal del afluente, la calidad del inoculo inicial, el filtro de canicas colocado en la base de los reactores, diámetro de los reactores y nivel del punto de salida.
- 8.3** Es recomendable la duplicidad de los datos, como por ejemplo en nuestro caso teníamos cuatro reactores, dos con 42cm de lodo y los dos restantes con 28cm de lodo. Con esto podíamos verificar el correcto funcionamiento del sistema.
- 8.4** Tener un periodo de prueba del sistema, en nuestro caso tuvimos que probar el sistema hidráulico antes que comenzar la operación. En este periodo se afinaron detalles tales como posición del embudo (separación de fases), válvulas reguladoras de caudal, longitud de tuberías, entre otros.
- 8.5** Dependiendo de donde se obtenga el inoculo, hay que definir las condiciones de acondicionamiento. Por ejemplo en nuestro caso, que el inoculo contenía bacterias acostumbradas a tratar desagüe domestico de una pequeña población (bajos valores de DBO, DQO y SST) al inicio alimentamos los reactores con agua azucarada (para incrementar la DBO) y gotas de vinagre (para provocar la acetogenesis).
- 8.6** A fin de que las condiciones de trabajo se mantengan anaerobias, se debe eliminar el aire de las mangueras de alimentación, ya que al momento del mantenimiento de las unidades, las mangueras quedaban vacías y llenas de aire.
- 8.7** Para una correcta medición de la cantidad de biogás producido, todas las entradas y salidas del sistema deben estar ahogadas

ANEXOS

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO

SEMANA Nº	1						Afluente Nº	
FECHA	22/09/2009							
OD Blanco: 8,7	OD Inicial	d = 0,20	d = 0,50	d = 1,00	DBO	OBSERVACIONES		
Crudo	1,32	7,10	5,10	1,32	2.152,6	No se realizo DBO de los efluentes		
FECHA							Afluente Nº	
SEMANA Nº	2							
FECHA	01/10/2009						Afluente Nº	
OD Blanco: 7,75	OD Inicial	d = 0,20	d = 0,50	d = 1,00	DBO	OBSERVACIONES		
Crudo	0,00	5,75	3,45	0,00	2.572,25	Los valores corresponden a 4 días de incubación.		
R1	0,00	5,50	3,35	0,00	2.632,25			
R2	0,00	5,90	1,95	0,00	3.472,25			
R3	0,00	5,55	3,25	0,00	2.692,25			
R4	0,00	5,60	3,10	0,00	2.782,25			
SEMANA Nº	3							
FECHA	07/10/2009						Afluente Nº	1
OD Blanco: 8,88	OD Inicial	d = 0,10	d = 0,20	d = 0,50	DBO	OBSERVACIONES		
Crudo	0,03	8,33	8,06	7,30	939,2			
R1	0,04	8,26	8,02	6,86	1.203,2			
R2	0,02	8,49	8,30	6,95	1.149,1			
R3	0,02	8,52	7,94	6,81	1.233,1			
R4	0,03	8,37	8,23	6,78	1.251,2			
SEMANA Nº	4							
FECHA	14/10/2009						Afluente Nº	2
OD Blanco: 8,85	OD Inicial	d = 0,10	d = 0,20	d = 0,50	DBO	OBSERVACIONES		
Crudo	0,45	8,75	8,50	7,73	663,6			
R1	0,03	8,75	8,57	7,48	813,2			
R2	0,01	8,70	8,54	7,58	753,2			
R3	0,00	8,66	8,33	7,51	795,2			
R4	0,02	8,70	8,43	7,48	813,2			
FECHA	15/10/2009						Afluente Nº	3
OD Blanco: 9,07	OD Inicial	d = 0,50	d = 0,80	d = 1,00	DBO	OBSERVACIONES		
Crudo	0,11	6,81	5,31	4,91	1.239,04			
R1	0,08	6,74	5,32	4,57	1.341,01			
R2	0,03	6,68	5,24	4,68	1.307,96			
R3	0,02	6,57	5,15	3,92	1.535,95			
R4	0,00	6,55	4,99	4,22	1.445,93			
SEMANA Nº	5							
FECHA	20/10/2009						Afluente Nº	2
OD Blanco: 8,7	OD Inicial	d = 0,50	d = 0,80	d = 1,00	DBO	OBSERVACIONES		
Crudo	0,00	5,17	4,54	3,72	1.485,3			
R1	0,00	6,12	5,07	3,75	1.476,3			
R2	0,00	6,52	5,17		1.315,1			
R3	0,00	6,21	4,77	5,39	984,3			
R4	0,00	6,75	6,87	4,31	1.308,3			

FECHA	21/10/2009					Afluente N°	3
OD Blanco: 9,04	OD Inicial	d = 0,50	d = 0,80	d = 1,00	DBO	OBSERVACIONES	
Crudo	0,00	7,35	6,21	5,19	1.145,96		
R1	0,00	7,70	6,60	5,93	923,96		
R2	0,00	7,82	6,81	6,13	863,96		
R3	0,00	7,49	6,50	5,69	995,96		
R4	0,00	6,84	6,65	6,15	857,96		
SEMANA N°	6						
FECHA	28/10/2009					Afluente N°	2
OD Blanco: 8,5	OD Inicial	d = 0,50	d = 0,80	d = 1,00	DBO	OBSERVACIONES	
Crudo	0,00	6,10	4,77	3,74	1.419,5	No hubo efluentes E3 y E4	
R1	0,00	6,19	4,86	4,12	1.305,50		
R2	0,00	6,15	4,74	3,64	1.401,5		
R3	0,00						
R4	0,00						
FECHA	29/10/2009					Afluente N°	3
OD Blanco: 8,81	OD Inicial	d = 0,50	d = 0,80	d = 1,00	DBO	OBSERVACIONES	
Crudo	0,00	6,73	5,80	4,51	1.281,19		
R1	0,00	6,67	5,93	4,64	1.242,19		
R2	0,00	6,62	5,44	4,84	1.182,19		
R3	0,00	6,80	5,49	5,05	1.119,19		
R4	0,00	6,72	5,95	5,00	1.134,19		
SEMANA N°	7						
FECHA	03/11/2009					Afluente N°	2
OD Blanco: 8,53	OD Inicial	d = 0,50	d = 0,80	d = 1,00	DBO	OBSERVACIONES	
Crudo	0,05	6,80	5,73	5,19	993,5		
R1	1,32	7,24	5,94	5,42	925,79		
R2	0,24	7,30	6,22	5,63	861,7		
R3	0,11	6,86	5,90	5,41	927,58		
R4	0,62	6,96	6,59	5,75	826,09		
FECHA	04/11/2009					Afluente N°	3
OD Blanco: 8,63	OD Inicial	d = 0,50	d = 0,80	d = 1,00	DBO	OBSERVACIONES	
Crudo	0,06	6,67	5,32	4,46	1.242,43		
R1	0,21	7,18	6,54	6,28	696,58		
R2	0,00	6,93	5,57	5,05	1.065,37		
R3	0,21	6,90	5,74	4,76	1.152,58		
R4	0,05	7,04	6,02	5,60	900,42		
SEMANA N°	8						
FECHA	11/11/2009					Afluente N°	3
OD Blanco: 8,56	OD Inicial	d = 0,50	d = 0,80	d = 1,00	DBO	OBSERVACIONES	
Crudo	0,09	7,13	6,47	5,61	876,53		
R1	0,40	7,43	6,26	5,82	813,84		
R2	0,11	7,21	6,62	5,97	768,55		
R3	0,18	7,17	6,27	5,61	876,62		
R4	0,47	7,24	6,50	5,76	831,91		
FECHA	12/11/2009					Afluente N°	4
OD Blanco: 8,19	OD Inicial	d = 0,50	d = 0,80	d = 1,00	DBO	OBSERVACIONES	
Crudo	0,00	6,79	6,01	4,86	990,81		
R1	0,00	7,18	6,35	6,10	618,81		
R2	0,00	6,96	6,13	5,40	828,81		
R3	0,00	6,94	6,21	5,56	780,81		
R4	0,00	6,91	6,15	5,94	666,81		
SEMANA N°	9						
FECHA	17/11/2009					Afluente N°	2
OD Blanco: 8,3	OD Inicial	d = 0,50	d = 0,80	d = 1,00	DBO	OBSERVACIONES	
Crudo	0,00	6,60	5,57	5,27	900,7		
R1	0,00	7,00	5,97	5,73	762,70		
R2	0,00	7,04	6,45	5,60	801,7		
R3	0,00	6,90	6,03	5,34	879,70		
R4	0,00	6,93	6,53	5,64	789,70		

FECHA	18/11/2009					Afluente N°	3
OD Blanco: 8,08	OD Inicial	d = 0,50	d = 0,80	d = 1,00	DBO	OBSERVACIONES	
Crudo	2,31	6,77	6,05	5,40	798,23		
R1	0,30	7,00	5,94	5,83	667,22		
R2	3,29	6,97	6,25	5,57	748,21		
R3	0,86	6,82	6,10	5,42	790,78		
R4	1,46	6,90	6,32	5,42	791,38		
SEMANA N°	10						
FECHA	24/11/2009					Afluente N°	2
OD Blanco: 8	OD Inicial	d = 0,80	d = 1,00	d = 1,20	DBO	OBSERVACIONES	
Crudo	2,54	6,60	6,00	6,20		Valores obtenidos titulando.	
R1	0,31	6,10	5,75	5,55	604,81		
R2	0,29	6,10	5,80	5,25	679,8		
R3	5,85	6,10	5,05	4,80	797,85		
R4	5,55	6,80	6,00	5,40	647,55		
FECHA	25/11/2009					Afluente N°	3
OD Blanco: 7,25	OD Inicial	d = 0,80	d = 1,00	d = 1,20	DBO	OBSERVACIONES	
Crudo	0,00	5,70	4,90	4,50	680,25	Valores obtenidos titulando.	
R1	0,00	5,70	5,35	4,80	605,25		
R2	0,00	5,85	5,30	4,70	630,25		
R3	0,00	6,10	5,30	5,10	530,25		
R4	0,00	5,90	5,30	4,60	655,25		
SEMANA N°	11						
FECHA	01/12/2009					Afluente N°	2
OD Blanco: 8,07	OD Inicial	d = 0,80	d = 1,00	d = 1,20	DBO	OBSERVACIONES	
Crudo	0,22	4,29	3,25	2,53	1.377,2	Valores obtenidos titulando.	
R1	0,28	5,23	4,69	4,13	977,21		
R2	0,22	4,66	4,29	3,12	1.229,7		
R3	0,12	4,93	4,26	3,39	1.162,05		
R4	0,04	5,15	4,48	3,76	1.069,47		
SEMANA N°	12						
FECHA	09/12/2009					Afluente N°	3
OD Blanco: 7,87	OD Inicial	d = 0,80	d = 1,00	d = 1,20	DBO	OBSERVACIONES	
Crudo	0,00	4,75	3,90	3,44	1.099,6		
R1	0,00	5,32	4,81	4,12	929,63		
R2	0,00	5,73	4,97	4,57	817,1		
R3	0,00	5,19	4,63	4,20	909,63		
R4	0,00	5,56	4,92	4,29	887,13		
FECHA	10/12/2009					Afluente N°	4
OD Blanco: 7,69	OD Inicial	d = 0,80	d = 1,00	d = 1,50	DBO	OBSERVACIONES	
Crudo	0,00	4,48	3,03	2,01	1.412,31		
R1	0,20	5,39	4,77	3,23	884,51		
R2	0,26	5,17	4,94	3,29	872,57		
R3	0,13	5,00	3,99	2,76	978,44		
R4	0,11	5,15	4,81	3,34	862,42		
SEMANA N°	15						
FECHA	29/12/2009					Afluente N°	2
OD Blanco: 5,09	OD Inicial	d = 0,80	d = 1,00	d = 1,50	DBO	OBSERVACIONES	
Crudo	0,41	1,01			1.525,3		
R1	0,14	2,83	2,18		868,05		
R2	0,12	2,80	2,00		922,0		
R3	0,14	4,05	2,59		745,05		
R4	0,15	1,68	2,74		700,06		
SEMANA N°	16						
FECHA	05/01/2010					Afluente N°	
OD Blanco: 7,66	OD Inicial	d = 0,80	d = 1,20	d = 1,50	DBO	OBSERVACIONES	
Crudo	1,67	3,88	2,26	0,98	1.330,0	DBO(6)	
R1	0,16	4,67	3,46	2,08	1.108,50		
R2	0,16	4,78	3,51	2,51	1.022,5		
R3	0,26	4,93	4,20	3,45	834,60		
R4	0,13	4,42	2,93	1,55	1.214,47		

FECHA	06/01/2010					Afluente N°	
OD Blanco: 7,07	OD Inicial	d = 0,80	d = 1,20	d = 1,50	DBO	OBSERVACIONES	
Crudo	0,94	2,97	2,26	1,17	1.468,87		
R1	0,16	4,60	3,20	2,82	843,09		
R2	0,21	4,25	2,61	1,48	1.111,14		
R3	0,15	4,19	3,50	2,32	943,08		
R4	0,16	3,97	3,35	1,91	1.025,09		
SEMANA N°	17						
FECHA	12/01/2010					Afluente N°	
OD Blanco: 6,9	OD Inicial	d = 0,80	d = 1,20	d = 1,50	DBO	OBSERVACIONES	
Crudo	0,65	1,86			1.883,8	Posiblemente los efluentes de R1 y R4 no sean los efluentes del crudo A2, ya que no se logro calibrar.	
R1	0,15	4,79	3,55	2,50	873,25		
R2	0,14	3,48	1,64		1.308,2		
R3	0,12	3,53	2,05	0,70	1.233,22		
R4	0,30	5,53	5,18	4,25	523,40		
FECHA	13/01/2010					Afluente N°	
OD Blanco: 7,85	OD Inicial	d = 0,80	d = 1,20	d = 1,50	DBO	OBSERVACIONES	
Crudo	0,80	3,31	1,18		1.660,45		
R1	0,19	4,30	2,31	1,02	1.358,34		
R2	0,16	4,45	2,81	1,52	1.258,31		
R3	0,17	4,18	2,01	1,26	1.310,32		
R4	0,15	4,16	2,16	0,87	1.388,30		
SEMANA N°	18						
FECHA	20/01/2010					Afluente N°	
OD Blanco: 7,79	OD Inicial	d = 0,80	d = 1,20	d = 1,50	DBO	OBSERVACIONES	
Crudo	0,96	2,52	2,36		1.622,17		
R1	0,21	4,58	2,72	1,32	1.286,42		
R2	0,18	5,13	3,89	2,49	1.052,39		
R3	0,00	4,37	2,49	1,19	1.312,21		
R4	0,15	4,22	2,33	1,37	1.276,36		

SÓLIDOS TOTALES

SEMANA Nº 4						
FECHA					Afluente Nº	
14/10/2009					2	
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	47,4528	47,5680	47,5384	0,0296	25,00	
R1	24,2859	24,4079	24,3724	0,0355	25,00	
R2	21,5549	21,6747	21,6505	0,0242	25,00	
R3	25,8835	26,0013	25,9696	0,0317	25,00	
R4	24,0458	24,1656	24,1486	0,0170	25,00	
SEMANA Nº 5						
FECHA					Afluente Nº	
19/10/2009					1	
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	REMOCIÓN (%)	OBSERVACIÓN
CRUDO	37,0114	37,1920	37,1025	0,0895	25,00	
R1	35,8398	36,0023	35,9277	0,0746	25,00	
R2	35,8174	35,9598	35,9044	0,0554	25,00	
R3	36,8643	37,0233	36,9482	0,0751	25,00	
R4	35,2234	35,3643	35,3096	0,0547	25,00	
FECHA					Afluente Nº	
22/10/2009					2	
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	37,0076	37,1659	37,0930	0,0729	25,00	
R1	35,8335	35,9621	35,9173	0,0448	25,00	
R2	35,8137	35,9471	35,9173	0,0298	25,00	
R3	36,8639	36,9916	36,9418	0,0498	25,00	
R4	35,2188	35,3460	35,3000	0,0460	25,00	
SEMANA Nº 7						
FECHA					Afluente Nº	
02/11/2009					1	
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	REMOCIÓN (%)	OBSERVACIÓN
CRUDO	36,7725	36,8778	36,8472	0,0306	25,00	
R1	35,1086	35,2031	35,1786	0,0245	25,00	
R2	33,6842	33,7928	33,7613	0,0315	25,00	
R3	34,3602	34,4647	34,4332	0,0315	25,00	
R4	35,3750	35,4853	35,4513	0,0340	25,00	
FECHA					Afluente Nº	
04/11/2009					3	
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	35,9835	36,1323	36,0741	0,0582	25,00	
R1	35,4582	35,5859	35,5470	0,0389	25,00	
R2	35,9804	36,1174	36,0705	0,0469	25,00	
R3	29,4119	29,5501	29,5047	0,0454	25,00	
R4	33,6087	33,7406	33,6975	0,0431	25,00	

SEMANA Nº 8						
FECHA	09/11/2009				Afluente Nº	1
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	REMOCIÓN (%)	OBSERVACIÓN
CRUDO	35,3756	35,5151	35,4681	0,0470	25,00	
R1	37,0077	37,1330	37,0997	0,0333	25,00	
R2	38,6209	38,7475	38,7135	0,0340	25,00	
R3	36,7774	36,9009	36,8637	0,0372	25,00	
R4	35,8142	35,9380	35,9053	0,0327	25,00	
FECHA	11/11/2009				Afluente Nº	3
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	33,7014	33,8181	33,7762	0,0419	25,00	
R1	32,9500	33,0709	33,0327	0,0382	25,00	
R2	29,4136	29,5344	29,4969	0,0375	25,00	
R3	36,3058	36,4257	36,3909	0,0348	25,00	
R4	35,3750	35,4945	35,4587	0,0358	25,00	
FECHA	12/11/2009				Afluente Nº	4
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	REMOCIÓN (%)	OBSERVACIÓN
CRUDO	35,9820	36,1042	36,0661	0,0381	25,00	
R1	33,6103	33,7319	33,6913	0,0406	25,00	
R2	33,4519	33,5722	33,5336	0,0386	25,00	
R3	32,3424	32,4624	32,4236	0,0388	25,00	
R4	37,0038	37,1227	37,0827	0,0400	25,00	
SEMANA Nº 9						
FECHA	17/11/2009				Afluente Nº	2
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	REMOCIÓN (%)	OBSERVACIÓN
CRUDO	32,9485	33,0753	33,0312	0,0441	25,00	
R1	33,6075	33,7330	33,6976	0,0354	25,00	
R2	35,8295	35,9468	35,9135	0,0333	25,00	
R3	33,6797	33,8004	33,7653	0,0351	25,00	
R4	37,0038	37,1234	37,0884	0,0350	25,00	
FECHA	18/11/2009				Afluente Nº	3
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	32,3374	32,4618	32,4283	0,0335	25,00	
R1	35,9817	36,0985	36,0665	0,0320	25,00	
R2	36,3069	36,4229	36,3923	0,0306	25,00	
R3	33,4515	33,5661	33,5351	0,0310	25,00	
R4	36,7714	36,8889	36,8576	0,0313	25,00	

FECHA	20/11/2009				Afluente Nº	5
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	33,5188	33,6567	33,6120	0,0447	25,00	
R1	35,9784	36,1176	36,0670	0,0506	25,00	
R2	35,1049	35,2416	35,1954	0,0462	25,00	
R3	36,7665	36,8948	36,8529	0,0419	25,00	
R4	35,8263	35,9615	35,9168	0,0447	25,00	
SEMANA Nº	10					
FECHA	24/11/2009				Afluente Nº	2
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	REMOCIÓN (%)	OBSERVACIÓN
CRUDO	32,3401	32,4520	32,4303	0,0217	25,00	
R1	29,4091	29,5192	29,4958	0,0234	25,00	
R2	34,3513	34,4760	34,4412	0,0348	25,00	
R3	36,3018	36,4099	36,3839	0,0260	25,00	
R4	33,6780	33,7863	33,7641	0,0222	25,00	
FECHA	25/11/2009				Afluente Nº	3
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	33,5246	33,6402	33,6137	0,0265	25,00	
R1	35,8078	35,9196	35,8919	0,0277	25,00	
R2	32,3364	32,4437	32,4209	0,0228	25,00	
R3	33,4441	33,5481	33,5227	0,0254	25,00	
R4	38,6145	38,7260	38,7003	0,0257	25,00	
FECHA	27/11/2009				Afluente Nº	5
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	36,9998	37,1279	37,0880	0,0399	25,00	
R1	38,6150	38,7367	38,6961	0,0406	25,00	
R2	35,8065	35,9375	35,8908	0,0467	25,00	
R3	36,9981	37,1214	37,0818	0,0396	25,00	
R4	35,2121	35,3385	35,2948	0,0437	25,00	
SEMANA Nº	11					
FECHA	01/12/2009				Afluente Nº	2
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	29,4065	29,5537	29,4971	0,0566	25,00	
R1	33,6027	33,7475	33,6867	0,0608	25,00	
R2	35,3685	35,5166	35,4571	0,0595	25,00	
R3	35,1032	35,2539	35,1937	0,0602	25,00	
R4	33,5179	33,6652	33,6052	0,0600	25,00	

FECHA	02/12/2009				Afluente N°	3
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	36,3001	36,4617	36,3934	0,0683	25,00	
R1	35,8058	35,9481	35,8950	0,0531	25,00	
R2	38,6136	38,7430	38,6874	0,0556	25,00	
R3	35,2104	35,3562	35,3010	0,0552	25,00	
R4	33,4444	33,5933	33,5386	0,0547	25,00	
SEMANA N°	12					
FECHA	09/12/2009				Afluente N°	3
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	REMOCIÓN (%)	OBSERVACIÓN
CRUDO	35,2094	35,3508	35,2961	0,0547	25,00	
R1	33,5164	33,6514	33,6194	0,0320	25,00	
R2	35,8259	35,9566	35,9312	0,0254	25,00	
R3	33,6012	33,7368	33,7025	0,0343	25,00	
R4	33,4419	33,5778	33,5523	0,0255	25,00	
FECHA	10/12/2009				Afluente N°	4
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	36,3005	36,4364	36,4024	0,0340	25,00	
R1	33,9262	34,0277	33,9915	0,0362	20,00	
R2	36,9969	37,0912	37,0557	0,0355	20,00	
R3	32,3362	32,4381	32,4013	0,0368	20,00	
R4	40,9062	41,0049	40,9690	0,0359	20,00	
SEMANA N°	13					
FECHA	15/12/2009				Afluente N°	2
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	REMOCIÓN (%)	OBSERVACIÓN
CRUDO	35,9778	36,1117	36,0619	0,0498	25,00	
R1	35,2076	35,3264	35,2860	0,0404	25,00	
R2	32,3340	32,4526	32,4136	0,0390	25,00	
R3	38,5966	38,7159	38,6774	0,0385	25,00	
R4	45,6382	45,7581	45,7154	0,0427	25,00	
SEMANA N°	14					
FECHA	23/12/2009				Afluente N°	3
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	REMOCIÓN (%)	OBSERVACIÓN
CRUDO	33,5142	33,6369	33,6001	0,0368	25,00	
R1	33,9259	34,0404	34,0120	0,0284	25,00	
R2	33,6747	33,7886	33,7602	0,0284	25,00	
R3	36,8493	36,9658	36,9335	0,0323	25,00	
R4	36,5581	36,6735	36,6451	0,0284	25,00	

SEMANA Nº		15					
FECHA		29/12/2009				Afluente Nº	2
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN	
CRUDO	38,5958	38,7693	38,6869	0,0824	25,00		
R1	34,3469	34,4845	34,4207	0,0638	25,00		
R2	36,3023	36,4413	36,3762	0,0651	25,00		
R3	33,5990	33,7160	33,6666	0,0494	25,00		
R4	35,9779	36,1137	36,0531	0,0606	25,00		
SEMANA Nº		16					
FECHA		05/01/2010				Afluente Nº	2
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN	
CRUDO	33,4392	33,5850	33,5293	0,0557	25,00		
R1	35,8071	35,9164	35,8786	0,0378	25,00		
R2	35,8236	35,9248	35,8897	0,0351	25,00		
R3	35,1008	35,1999	35,1648	0,0351	25,00		
R4	36,8496	36,9591	36,9228	0,0363	25,00		
FECHA		07/01/2010				Afluente Nº	4
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN	
CRUDO	34,3452	34,4983	34,4324	0,0659	25,00		
R1	35,1008	35,2125	35,1794	0,0331	25,00		
R2	35,8188	35,9405	35,9073	0,0332	25,00		
R3	33,5109	33,6258	33,5937	0,0321	25,00		
R4	37,2767	37,3916	37,3573	0,0343	25,00		
SEMANA Nº		17					
FECHA		12/01/2010				Afluente Nº	2
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN	
CRUDO	29,4037	29,5768	29,4999	0,0769	25,00		
R1	33,6732	33,7943	33,7435	0,0508	25,00		
R2	36,5581	36,6999	36,6355	0,0644	25,00		
R3	36,2996	36,4418	36,3820	0,0598	25,00		
R4	34,3449	34,4492	34,4109	0,0383	25,00		
FECHA		13/01/2010				Afluente Nº	3
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN	
CRUDO	35,3451	35,4942	35,4324	0,0618	25,00		
R1	35,8172	35,9467	35,9056	0,0411	25,00		
R2	38,5928	38,7199	38,6789	0,0410	25,00		
R3	33,9265	34,0586	34,0138	0,0448	25,00		
R4	35,8035	35,9305	35,8883	0,0422	25,00		

FECHA		14/01/2010			Afluente N°	4
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	33,5102	33,6489	33,6023	0,0466	25,00	
R1	35,3430	35,4733	35,4330	0,0403	25,00	
R2	35,9725	36,1032	36,0624	0,0408	25,00	
R3	36,2965	36,4239	36,3854	0,0385	25,00	
R4	34,3411	34,4724	34,4311	0,0413	25,00	
SEMANA N°	18					
FECHA		19/01/2010			Afluente N°	2
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	33,6705	33,8241	33,7598	0,0643	25,00	
R1	29,4033	29,5243	29,4792	0,0451	25,00	
R2	36,8521	36,9689	36,9305	0,0384	25,00	
R3	35,2070	35,3293	35,2839	0,0454	25,00	
R4	33,5107	33,6323	33,5866	0,0457	25,00	
FECHA		20/01/2010			Afluente N°	3
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	33,9238	34,0822	34,0158	0,0664	25,00	
R1	35,0994	35,2299	35,1803	0,0496	25,00	
R2	35,8173	35,9422	35,8963	0,0459	25,00	
R3	34,3427	34,4514	34,4121	0,0393	25,00	
R4	35,9751	36,1164	36,0538	0,0626	25,00	
FECHA		21/01/2010			Afluente N°	4
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES (g)	SÓLIDOS FIJOS (g)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g)	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	35,1983	35,3257	35,2826	0,0431	25,00	
R1	27,2288	27,3347	27,2983	0,0364	25,00	
R2	33,6681	33,7720	33,7356	0,0364	25,00	
R3	36,5553	36,6676	36,6270	0,0406	25,00	
R4	29,3986	29,5081	29,4714	0,0367	25,00	

SÓLIDOS DISUELTOS

SEMANA Nº 7						
FECHA	02/11/2009				Afluente Nº	1
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	35,4602	35,5411	35,5256	0,0155	25,00	
R1	38,6188	38,6917	38,6734	0,0183	25,00	
R2	36,3062	36,3959	36,3633	0,0326	25,00	
R3	33,6082	33,6892	33,6588	0,0304	25,00	
R4	29,4121	29,5073	29,4705	0,0368	25,00	
FECHA	03/11/2009				Afluente Nº	2
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	35,4688	35,5607	35,5333	0,0274	25,00	
R1	35,3761	35,5060	35,4546	0,0514	25,00	
R2	33,4516	33,5856	33,5363	0,0493	25,00	
R3	35,8326	35,9667	35,9184	0,0483	25,00	
R4	37,0050	37,1288	37,0756	0,0532	25,00	
FECHA	04/11/2009				Afluente Nº	3
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	33,5207	33,6429	33,5918	0,0511	25,00	
R1	32,9459	33,0626	33,0291	0,0335	25,00	
R2	33,9322	34,0496	34,0173	0,0323	25,00	
R3	35,8111	35,9291	35,8971	0,0320	25,00	
R4	36,7695	36,8856	36,8524	0,0332	25,00	
SEMANA Nº 8						
FECHA	09/11/2009				Afluente Nº	1
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	33,5214	33,6356	33,6103	0,0253	25,00	
R1	32,9508	33,0676	33,0427	0,0249	25,00	
R2	36,3088	36,4248	36,3995	0,0253	25,00	
R3	33,9370	34,0509	34,0272	0,0237	25,00	
R4	35,8355	35,9505	35,9267	0,0238	25,00	
FECHA	11/11/2009				Afluente Nº	3
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	34,3783	34,4784	34,4483	0,0301	25,00	
R1	35,8359	35,9403	35,9131	0,0272	25,00	
R2	35,4607	35,5617	35,5360	0,0257	25,00	
R3	36,7730	36,8747	36,8481	0,0266	25,00	
R4	33,9331	34,0319	34,0070	0,0249	25,00	

FECHA	12/11/2009				Afluente Nº	4
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	35,2171	35,3209	35,2926	0,0283	25,00	
R1	33,5207	33,6221	33,6004	0,0217	25,00	
R2	35,1115	35,2184	35,1908	0,0276	25,00	
R3	35,8120	35,9185	35,8970	0,0215	25,00	
R4	38,6191	38,7282	38,7025	0,0257	25,00	
SEMANA Nº	9					
FECHA	17/11/2009				Afluente Nº	2
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	34,3566	34,4647	34,4334	0,0313	25,00	
R1	29,4099	29,5244	29,4939	0,0305	25,00	
R2	35,4547	35,5577	35,5330	0,0247	25,00	
R3	35,2135	35,3188	35,2935	0,0253	25,00	
R4	33,9309	34,0392	34,0123	0,0269	25,00	
FECHA	18/11/2009				Afluente Nº	3
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	35,0705	35,4803	35,4567	0,0236	25,00	
R1	35,8134	35,9246	35,9009	0,0237	25,00	
R2	35,1063	35,2160	35,1915	0,0245	25,00	
R3	38,6210	38,7321	38,7083	0,0238	25,00	
R4	33,5216	33,6320	33,6071	0,0249	25,00	
FECHA	20/11/2009				Afluente Nº	5
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	35,8121	35,9388	35,9008	0,0380	25,00	
R1	36,9984	37,1266	37,0874	0,0392	25,00	
R2	38,6188	38,7431	38,7069	0,0362	25,00	
R3	32,9444	33,0722	33,0338	0,0384	25,00	
R4	33,4452	33,5748	33,5340	0,0408	25,00	
SEMANA Nº	10					
FECHA	24/11/2009				Afluente Nº	2
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	35,3712	35,4762	35,4601	0,0161	25,00	
R1	35,2140	35,3173	35,2990	0,0183	25,00	
R2	33,6083	33,7056	33,6919	0,0137	25,00	
R3	33,9326	34,0198	34,0143	0,0055	25,00	
R4	35,1097	35,2081	35,1918	0,0163	25,00	

FECHA	25/11/2009				Afluente N°	3
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	35,8330	35,9360	35,9216	0,0144	25,00	
R1	29,4065	29,5028	29,4910	0,0118	25,00	
R2	35,3701	35,4648	35,4519	0,0129	25,00	
R3	33,6055	33,6953	33,6841	0,0112	25,00	
R4	34,3527	34,4486	34,4357	0,0129	25,00	
SEMANA N°	12					
FECHA	09/12/2009				Afluente N°	3
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	36,9977	37,1176	37,0911	0,0265	25,00	
R1	35,1034	35,2059	35,1853	0,0206	25,00	
R2	35,3519	35,4526	35,4332	0,0194	25,00	
R3	29,4074	29,4933	29,4747	0,0186	20,00	
R4	34,3494	34,4343	34,4185	0,0158	20,00	
FECHA	10/12/2009				Afluente N°	4
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	35,8053	35,9036	35,8869	0,0167	25,00	
R1	38,5963	38,6742	38,6581	0,0161	20,00	
R2	33,6770	33,7546	33,7356	0,0190	20,00	
R3	35,9773	36,0581	36,0411	0,0170	20,00	
R4	35,2101	35,2842	35,2672	0,0170	20,00	
FECHA	11/12/2009				Afluente N°	5
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	48,3840	48,4653	48,4472	0,0181	20,00	
R1	35,8203	35,9121	35,8976	0,0145	25,00	
R2	36,2982	36,3908	36,3771	0,0137	25,00	
R3	35,3460	35,4362	35,4237	0,0125	25,00	
R4	33,5950	33,6887	33,6744	0,0143	25,00	
SEMANA N°	13					
FECHA	15/12/2009				Afluente N°	2
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	36,9974	37,1190	37,0803	0,0387	25,00	
R1	33,6748	33,7790	33,7545	0,0245	25,00	
R2	35,8061	35,9035	35,8874	0,0161	25,00	
R3	40,9072	41,0091	40,9869	0,0222	25,00	
R4	48,3807	48,4836	48,4619	0,0217	25,00	

SEMANA Nº 14						
FECHA					Afluente Nº	
23/12/2009					3	
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	35,8201	35,9195	35,8985	0,0210	25,00	
R1	35,1002	35,1975	35,1874	0,0101	25,00	
R2	35,8054	35,9007	35,8913	0,0094	25,00	
R3	34,6613	34,7588	34,7462	0,0126	25,00	
R4	37,2781	37,3755	37,3635	0,0120	25,00	
SEMANA Nº 15						
FECHA					Afluente Nº	
29/12/2009					2	
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	35,2071	35,3358	35,2927	0,0431	25,00	
R1	33,5142	33,6006	33,5746	0,0260	20,00	
R2	29,4043	29,4915	29,4640	0,0275	20,00	
R3	35,3464	35,4184	35,4006	0,0178	20,00	
R4	34,6609	34,7496	34,7227	0,0269	20,00	
SEMANA Nº 16						
FECHA					Afluente Nº	
05/01/2010					2	
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	36,5588	36,6646	36,6467	0,0179	25,00	
R1	38,5988	38,6891	38,6668	0,0223	25,00	
R2	34,6616	34,7566	34,7321	0,0245	25,00	
R3	33,5144	33,5978	33,5729	0,0249	25,00	
R4	35,3466	35,4457	35,4154	0,0303	25,00	
FECHA					Afluente Nº	
07/01/2010					4	
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	36,2992	36,4247	36,3863	0,0384	25,00	
R1	34,6588	34,7467	34,7383	0,0084	25,00	
R2	33,9248	34,0227	34,0153	0,0074	25,00	
R3	35,8033	35,8981	35,8904	0,0077	25,00	
R4	38,5934	38,6883	38,6754	0,0129	25,00	
SEMANA Nº 17						
FECHA					Afluente Nº	
12/01/2010						
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	36,8500	36,9865	36,9392	0,0473	25,00	
R1	33,5973	33,6971	33,6726	0,0245	25,00	
R2	33,4398	33,5621	33,5219	0,0402	25,00	
R3	35,9775	36,0989	36,0639	0,0350	25,00	
R4	27,2340	27,3152	27,3005	0,0147	25,00	

FECHA	13/01/2010				Afluente N°	
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	35,2057	35,2936	35,2802	0,0134	20,00	
R1	36,8479	36,9571	36,9341	0,0230	25,00	
R2	29,4031	29,5095	29,4933	0,0162	25,00	
R3	34,6595	34,7676	34,7462	0,0214	25,00	
R4	35,1006	35,2138	35,1883	0,0255	25,00	
FECHA	14/01/2010				Afluente N°	
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	37,2766	37,3913	37,3671	0,0242	25,00	
R1	33,5918	33,6987	33,6775	0,0212	25,00	
R2	27,2312	27,3392	27,3148	0,0244	25,00	
R3	35,2046	35,3118	35,2873	0,0245	25,00	
R4	33,4360	33,5440	33,5205	0,0235	25,00	
SEMANA N°	18					
FECHA	19/01/2010				Afluente N°	
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	36,5551	36,6858	36,6404	0,0454	25,00	
R1	38,5936	38,6946	38,6678	0,0268	25,00	
R2	27,2344	27,3355	27,3104	0,0251	25,00	
R3	33,5955	33,6958	33,6709	0,0249	25,00	
R4	35,8034	35,9089	35,8786	0,0303	25,00	
FECHA	20/01/2010				Afluente N°	
MUESTRAS	PESO CÁPSULA (g)	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	VOLUMEN MUESTRA (mL)	OBSERVACIÓN
CRUDO	34,6579	34,7796	34,7497	0,0299	25,00	
R1	33,4369	33,5389	33,5136	0,0253	25,00	
R2	37,2769	37,3770	37,3501	0,0269	25,00	
R3	35,3448	35,4302	35,4061	0,0241	25,00	
R4	36,2969	36,3840	36,3598	0,0242	20,00	

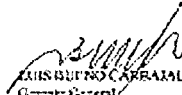
NITROGENO TOTAL**ENVIROLAB PERU S.A.C.****Environmental Laboratories Perú S.A.C.****INFORME DE ENSAYO
N° 912154**


Solicitante: BAQUERIZO DOLI FIORELLA MARIEL
Domicilio Legal: Mza. E-3 Lt. 1 Urb. Fomento del Sol I Et. La Molina
Tipo de Muestra: Agua de Efluente
Plan de Muestras: ...
Solicitud de Análisis: DFC-154
Procedencia de la Muestra: Canal
Fecha de Ingreso: 2009-12-10
Código ENVIROLAB-PERU: 912154
Referencia: Contrato de Custodia de fecha: 2009-12-10

Análisis:		N° Nitrogeno Total		Método de Referencia:		SM 4500-N-Orq-B	
Código de Laboratorio	Descripción de muestra	Fecha de Muestra	Límite de Concentración	Resultado	Incertidumbre (%)	Unidad	Fecha de Análisis
912154-01	Agua Canal RI	2009-12-10	0.070	256.5	...	mg/l	2009-12-14
912154-02	Agua Canal RI	2009-12-10	0.020	263.1	...	mg/l	2009-12-14
912154-03	Alfarric Canal	2009-12-10	0.070	226.8	...	mg/l	2009-12-14

La incertidumbre de la medición ha sido calculada con la Guía de cobertura k = 2 para un nivel de confianza aproximado del 95%.
Condición y estado de la Muestra Recibida: Las muestras llegaron correctamente al laboratorio.
Nota: La fecha de muestra es una referencia por el Cliente.

Nitrogeno Total: 4500-N-Orq-B "Método (Orquí) Micro Kjeldahl Nessler".
Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 19th Ed 1995.


LUIS GUILLERMO CARRASIAL
Gerente General
C.I.P. N° 6613
Lima, Perú



Nota: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra recibida.
- Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto.
- Los resultados y documentos de la muestra recibida, no han sido autorizados por el Instituto CRT.

Pag 2/2

Av. La Marina 2059 San Miguel - Lima 30 PERU

Tel: (51) 616-5400 Fax: (51) 616-5410 E-mail: envirolab@envirolabperu.com.pe Web: www.envirolabperu.com.pe



ENVIROLAB PERU S.A.C.

Environmental Laboratories Perú S.A.C.

INFORME DE ENSAYO N° 1001028

Solicitante: **BAQUERIZO NOLFI FIORELLA MARIEL**

Domicilio Legal: **Man. E-3 Lt. I Urb. Perpetuo del Sol I Et.**
La Marina

Tipo de Muestra: **Agua de Efluente**

Plan de Muestras: **...**

Solicitud de Análisis: **FNE-028**

Procedencia de la Muestra: **Laboratorio # 20 F.I.A. - C.N.I.**

Fecha de Ingreso: **2010-01-05**

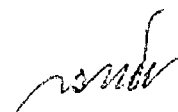
Código ENVIROLAB-PERU: **1001028**

Referencia: **Comisión N° 6189**

Análisis:		Nitrógeno Total		Método de Referencia:		SM 4503-N-Orp-B	
Código de Identificación	Descripción de muestra	Fecha de Muestra	Límite de Concentración	Resultado	Incertidumbre (%)	Unidad	Fecha de Análisis
1001028-01	Afluentes Canal	2009-12-29	0.070	371.4	...	mg/L	2010-01-05
1001028-02	Efluente RAFA RI	2009-12-29	0.020	432.4	...	mg/L	2010-01-05
1001028-03	Efluente RAFA RI	2009-12-29	0.020	359.4	...	mg/L	2010-01-05

...

La recomendación de la medición ha sido calculada con un factor de conversión = 2 para un nivel de sustancia aproximado del 95%.
 El punto de y estado de la Muestra Ensayada: Los registros se guardan preservados al Laboratorio.
 Nota: La fecha de consumo, cuando proporcione por el Cliente.


LUIS BUENO CARRAJAL
 Gerente General
 C.I.F. N° 6018
 Lima, Perú.
 2010-01-15



Norma de Referencia: SM 4503-N-Orp-B (Sistema Orgánico Mercurio) Método de Referencia.
 Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 19th Ed 2001.

Nota: Las mediciones presentadas corresponden sólo a la muestra recibida.
 -Cada resultado no debe ser utilizado como una evidencia de conformidad con respecto del producto.
 * Los resultados sólo comparados con la norma aplicable, no han sido otorgados por el Laboratorio C.I.F.

Pág. 2/2

Av. La Marina 3059 San Miguel - Lima 32 PERU.

Tel: (51) 616-5400 Fax: (51) 616-5418 E-mail: enviro@labperu.com.pe Web: www.envirolabperu.com.pe



ENVIROLAB PERU S.A.C.

Environmental Laboratories Perú S.A.C.


INFORME DE ENSAYO N° 1001109

Solicitante: BAQUERIZO NOLE FIORELLA MARIEL
 Domicilio Legal: Mz. E-3 Lt. 1 Urb. Portal del Sol I Et.
 La Molina
 Tipo de Muestra: Agua de Desagüe
 Pasa de Muestreo: ...
 Solicitudes de Análisis: ENE-100
 Procedencia de la Muestra: Comal - Lima
 Fecha de Ingreso: 2010-01-11
 Código ENVIROLAB-PERU: 1001109
 Referencia: Cotización N° 6189

Análisis:		Método de Referencia:		SM 4500Norg-B			
Código de Laboratorio	Descripción de muestra	Fecha de Muestreo	Límite de Cuantificación	Densidad	Temperatura (°C)	Unidad	Fecha de Análisis
1001109-01	Aflorante Canal	2010-01-05	0.020	169.5	...	mg/L	2010-01-13
1001109-02	Aflorante B3	2010-01-06	0.020	161.1	...	mg/L	2010-01-17
1001109-03	Aflorante B2	2010-01-05	0.020	147.9	...	mg/L	2010-01-13
1001109-04	Aflorante A5	2010-01-06	0.020	159.9	...	mg/L	2010-01-13
1001109-05	Aflorante B1	2010-01-06	0.020	164.3	...	mg/L	2010-01-13
1001109-06	Aflorante B5	2010-01-06	0.020	145.8	...	mg/L	2010-01-13
1001109-07	Aflorante A4	2010-01-07	0.020	147.0	...	mg/L	2010-01-17
1001109-08	Aflorante B1	2010-01-07	0.020	159.2	...	mg/L	2010-01-13
1001109-09	Aflorante B3	2010-01-07	0.020	151.0	...	mg/L	2010-01-13

La fiabilidad de los resultados sólo podrá ser de calidad si se cumplen con los requisitos de calidad acordados del 99%.
 Coordinación y Estado de la Muestra Muestreada: Las muestras llegaron oportunamente al laboratorio.
 Nota: La fecha de muestreo es la que proporcionó el Cliente.

Nitrógeno Total: SM 4500-Norg-B (Digestión Micro-Kjeldahl Method),
 Standard Method for Determination of Water and Wastewater, 21st Ed 2000.


 ALFONSO BUENOS CARDESA
 Gerente General
 C.I.P. N° 6619
 Lima Perú, 2010-01-14

Nota: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
 * Los métodos utilizados en la muestra indicada, no han sido acreditados por el laboratorio CAT.
 - Este resultado no deberá ser utilizado como una certificación de conformidad con normas del producto.

Página 2



ENVIROLAB PERU S.A.C.

Environmental Laboratories Perú S.A.C.

INFORME DE ENSAYOS* 1001157

Solicitante: **BAQUERIZO NOLE FIDRELLA MARCEL**

Domicilio Legal: **Mz. E-5 Lt. I Urb. Pisco del Sol I Ed. La Molina**

Tipo de Muestra: **Aguas de Efluente**

Plan de Muestreo: **...**

Solicitud de Análisis: **ENE-157**

Procedencia de la Muestra: **Canal - Lima**

Fecha de Ingreso: **2010-01-13**

Código ENVIROLAB-PERU: **1001157**

Referencia: **Cartera de Control de Fecha: 2010-01-18**

Análisis: ☛ Nitrógeno Total			Método de Referencia:			SM 4500-Norg-B	
Código de Laboratorio	Descripción de muestra	Fecha de Muestra	Límite de Cuantificación	Resultado	Intervenido (+)	Unidad	Fecha de Análisis
1101157-41	Efluente A7	2010-01-12	0.020	692.3	...	mg/L	2010-01-22
1101157-42	Efluente B5	2010-01-12	0.020	654.2	...	mg/L	2010-01-22
1101157-43	Efluente W1	2010-01-12	0.020	439.1	...	mg/L	2010-01-22
1101157-44	Efluente A9	2010-01-13	0.020	515.5	...	mg/L	2010-01-22
1101157-45	Efluente B3	2010-01-13	0.020	328.7	...	mg/L	2010-01-22
1101157-46	Efluente H1	2010-01-13	0.020	523.4	...	mg/L	2010-01-22
1101157-47	Efluente A4	2010-01-14	0.020	532.3	...	mg/L	2010-01-22
1101157-48	Efluente B5	2010-01-14	0.020	551.2	...	mg/L	2010-01-22
1101157-49	Efluente H1	2010-01-14	0.020	433.8	...	mg/L	2010-01-22

La incertidumbre de la medida en el estado calculada con un factor de cobertura $k=2$ para un nivel de confianza aproximado del 95%.

Caracterización y estado de la Muestra Ensayada:

Las muestras fueron preservadas al congelamiento.

Nota: La fecha de muestreo es diferente a la del día de la muestra.

Nitrógeno Total:

SM 4500-Norg-B "Nitrogen (Organic and Nitro) Kjeldahl Method"

Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21st Ed 2005

LUIS BUENO CARBAJAL

Gerente General

C.F.P. N° 6618

Lima, Perú

2010-01-29



Nota: Los resultados generados corresponden sólo a la muestra recibida.

* Los resultados han sido generados en el sistema informático, no han sido verificados por el laboratorio CRT.

- Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con los requisitos del producto.

Página 1/1

Av. La Marina 3059 San Miguel - Lima 32 PERU

Tel: (51) 616-5400 Fax: (51) 616-5410 E-mail: envirolab@envirolabperu.com.pe Web: www.envirolabperu.com.pe



ENVIROLAB PERU S.A.C.

Environmental Laboratories Perú S.A.C.

INFORME DE ENSAYO N° 1001285

Solicitante: BAQUERIZO NOLE FIORELLA MARIEL
 Dominio Legal: Mza. E-3 Lt. 1 Uva Perote del Sol Eca
 La Molina
 Tipo de Muestra: Agua de Efluent
 Plan de Muestra: ..
 Solicited de Análisis: EN6-285
 Presencia de la Muestra: Canal - Lima
 Fecha de Ingreso: 2010-01-25
 Código ENVIROLAB-PERU: 1001285
 Referencia: Cadena de custodia de fecha: 2010-01-25

Análisis : Nitrogeno Total				Método de Referencia: SM 4500-N-Orq-B			
Código de Muestra	Distribución de muestra	Fecha de Muestra	Límite de Precisión	Resultado	Incertidumbre (%)	Unidad	Fecha de Análisis
1001285-01	Aflorante A2	2010-01-19	0.020	577.3	...	mg/L	2010-01-25
1001285-02	Efluyente B2	2010-01-19	0.020	560.1	..	mg/L	2010-01-25
1001285-03	Efluyente B1	2010-01-19	0.020	486.0	..	mg/L	2010-01-25
1001285-04	Aflorante A3	2010-01-20	0.020	598.1	..	mg/L	2010-01-25
1001285-05	Efluyente B2	2010-01-20	0.020	431.7	..	mg/L	2010-01-25
1001285-06	Efluyente B1	2010-01-20	0.020	560.3	..	mg/L	2010-01-25
1001285-07	Aflorante A4	2010-01-21	0.020	570.4	..	mg/L	2010-01-25
1001285-08	Efluyente B2	2010-01-21	0.020	543.1	..	mg/L	2010-01-25
1001285-09	Efluyente B1	2010-01-21	0.020	492.4	..	mg/L	2010-01-25

 La incertidumbre de la medición ha sido calculada con un factor de cobertura $k = 2$ para un nivel de confianza aproximado del 95%.
 Condición y Estado de la Muestra Ensayada: Las muestras fueron preservadas al **Lado Negro**.
 Nota: Las fechas de recepción, son datos proporcionados por el Cliente.

Nitrogeno Total: SM 4500-N-Orq-B "Nitrogen (Organic) Macro-Kjeldahl Method".
 Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21st Ed 2005.


 LUIS BUENO CARBALLO
 Gerente General
 C.I.R. N° 6618
 Lima, Perú. 2010-02-26

Nota: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
 -Esta institución no da fe ni garantiza como un certificado de conformidad con normas de precisión.
 * Los resultados de laboratorio de la muestra indicada, se han sido verificados por el laboratorio CRT.

Página 2/2

Ave. La Marina 3050 San Miguel - Lima 32 PERU.

Tel: (51) 616-5400 Fax: (51) 616-5418 E-mail: envirolab@envirolabperu.com.pe Web: www.envirolabperu.com.pe

FOSFORO TOTAL**ENVIROLAB PERU S.A.C.**

Environmental Laboratories Perú S.A.C.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA
COMISION DE RECLAMENTOS TECNICOS Y
COMERCIALES CON REGISTRO N° LE-011

INFORME DE ENSAYO N° 912154



Solicitante: **BAQUERIZONOLE FIORELLA DIARINI.**

Domicilio Legal: **Mza. E-3 Lt. 1 Urb. Pereda del Sol I Et.**
La Molina

Tipo de Muestra: **Agua de Effluente**

Plan de Muestreo: **--**

Solicitud de Análisis: **DIC-154**

Procedencia de la Muestra: **Canal**

Fecha de Registro: **2009-12-10**

Código ENVIROLAB-PERU: **912154**

Referencia: **Cadena de Custodia de fecha : 2009-12-10**

Análisis :		Fósforo Total		Método de Referencia:		EPA 365.3	
Código de Laboratorio	Descripción de muestra	Fecha de Muestreo	Límite de Cuantificación	Resultado	Incertidumbre (±)	Unidad	Fecha de Análisis
912154-01	Agua Canal R3	2009-12-10	0.01	32.8	1	mg/L	2009-12-15
912154-02	Agua Canal R1	2009-12-10	0.01	29.5	1	mg/L	2009-12-15
912154-03	Afluentes Canal	2009-12-10	0.01	33.0	1	mg/L	2009-12-15

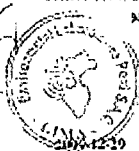
La Incertidumbre de la medición ha sido calculada con un factor de cobertura $k = 2$ para un nivel de confianza aproximado del 95%.

Condición y Estado de la Muestra Recibida: Las muestras llegaron preservadas al Laboratorio.

Nota: La fecha de muestreo es data proporcionado por el Cliente.

Fósforo Total (EPA 365.3) Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid, Two Reagent)
Method for Chemical Analysis of Water and Wastes. Revised March 1993.

YANIS BLEND CARBAJAL
Gerente General
C.I.P. N° 6616
Lima, Perú



Nota: Los resultados presentados comparan sólo a la muestra enviada.
- Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto.
- El tiempo de entrega de la muestra es de un mes (a menos) de las muestras llegaran preservadas al Laboratorio.
- Si existe alguna duda, puede solicitar el tiempo de entrega de la muestra hasta 10 días antes del vencimiento de tiempo de entrega.

Página 1/2

Av. La Marina 3059 San Miguel - Lima 32 PERU

Tel: (51) 616-5400 Fax: (51) 616-5418 E-mail: envirolab@envirolabperu.com.pe Web: www.envirolabperu.com.pe



ENVIROLAB PERU S.A.C.

Environmental Laboratories Perú S.A.C.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA
COMISION DE REGLAMENTOS TECNICOS Y
COMERCIALES CON REGISTRO N° LE-011

INFORME DE ENSAYO N° 1001023



Registros S.A. 011

Solicitante: BAQUERIZO NOLLE SIBRELLA MARIEL
Domicilio Legal: MZA E-311, Urb. Portada del Sol I Edo
La Victoria
Tipo de Muestra: Agua de Efluente
Plan de Muestras: ...
Solicitud de Análisis: ENE-023
Presentación de la Muestra: Laboratorio # 20E.I.A. - U.N.I.
Fecha de Ingreso: 2010-01-05
Código ENVIROLAB-PERU: 1001023
Referencia: Certificación N° 6139

Análisis:		Fórmula Total)		Método de Referencia:			EPA 365.3
Código de Muestra	Descripción de muestra	Fecha de Muestra	Volumen de Muestra	Resultado	Incertidumbre (%)	Unidad	Fecha de Análisis
110123-01	Afluente Canal	2009-12-29	0.01	30	1	mg/L	2010-01-07
110123-02	Efluente RAFA R1	2009-12-29	0.01	31	1	mg/L	2010-01-07
110123-03	Efluente RAFA R3	2009-12-29	0.01	32	1	mg/L	2010-01-07

La incertidumbre de la medición ha sido calculada con un factor de cobertura $k = 2$ para un nivel de confianza aproximado del 95%
Condición y Estado de la Muestra Entregada: Las muestras se presentaron al Laboratorio.

Nota: La fecha de ensayo es una aproximación por el Cliente.

ENVIROLAB PERU S.A.C.
Gerente General
C.I.F. N° 6818
Lima, Perú
2010-01-10

Method: Total EPA 365.3 Turbidity, AP Filter (Calcium, Acetic Acid, Two Resps)
Method for Chemical Analysis of Water and Wastewater, 20th ed. March 1995.

Nota: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra recibida.
- Los resultados se dan en mg/L con una incertidumbre de confiabilidad de conformidad con la norma del producto.
- El tiempo de entrega de la muestra es de un mes calendario si la muestra llega en perfecta conservación al Laboratorio.
- Si existe alguna duda, puede solicitar al laboratorio la devolución de los resultados hasta 15 días antes del vencimiento de la garantía de validez.

Página 2

Av. La Marina 3059 San Isidro - Lima 02 PERU

Tel: (51) 616-5400 Fax: (51) 616-5418 E-mail: envirolab@envirolabperu.com.pe Web: www.envirolabperu.com.pe



ENVIROLAB PERU S.A.C.

Environmental Laboratories Perú S.A.C.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA
COMISION DE REGLAMENTOS TECNICOS Y
COMERCIALES CON REGISTRO N° LE-011



INFORME DE ENSAYO N° 1001160

Señalada por: **DAQUERIZO NOLE FIORELLA MARIEL**

Domicilio Legal: **Mz. E-3 Lt. 1 Urb. Fomento del Sol 1 En. La Molina**

Tipo de Muestra: **Aguas de Desague**

Plan de Muestras: **...**

Solicitud de Análisis: **ENE-100**

Presentación de la Muestra: **Canal - Lenta**

Fecha de Ingreso: **2010-01-11**

Código ENVIROLAB-PERU: **1001100**

Referencia: **Contrato N° 6189**

Análisis:		Fósforo Total		Método de Referencia:		EPA 365.2	
Código de Laboratorio	Designación de muestra	Fecha de Muestra	Límite de Cuantificación	Resultado	Incertidumbre (%)	Unidad	Fecha de Análisis
1001100-01	Aguas de Canal	2010-01-05	0.01	24.75	0.43	mg/L	2010-01-12
1001100-02	Efluentes R1	2010-01-05	0.01	22.00	0.40	mg/L	2010-01-12
1001100-03	Efluentes R3	2010-01-05	0.01	22.50	0.39	mg/L	2010-01-12
1001100-04	Aguas de A3	2010-01-06	0.01	24.70	0.43	mg/L	2010-01-12
1001100-05	Efluentes R1	2010-01-06	0.01	22.25	0.39	mg/L	2010-01-12
1001100-06	Efluentes R3	2010-01-06	0.01	21.00	0.36	mg/L	2010-01-12
1001100-07	Aguas de A4	2010-01-07	0.01	22.75	0.37	mg/L	2010-01-12
1001100-08	Efluentes R1	2010-01-07	0.01	22.50	0.39	mg/L	2010-01-12
1001100-09	Efluentes R3	2010-01-07	0.01	23.25	0.40	mg/L	2010-01-12

La exactitud de la medida se estimó a través de un factor de cobertura = 2 para un nivel de confianza expresado del 95%.

Condición y Estado de la Muestra Ensayada:

Las muestras fueron preservadas en el Laboratorio

Nota: La fecha de registro es la respectiva fecha por el Cliente.

Atestado por:

EPA 365.2 "Phosphorus, All Forms (Calcium etc.), Ammonia, Total Phosphorus"
Methods for the determination of phosphorus in water and wastewater. Revised March 1983.

ING. JUAN CARLOS...

Gerente General

C.I.F. N° 6613

Lima, Perú,

2010-01-13

Nota:

- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- Para resultados completos consulte con el laboratorio de envíos de muestra (en www.envirolab.com.pe).
- El tiempo de entrega de la muestra es de un mes calendario desde la fecha de la entrega de la muestra al laboratorio a ser analizada.
- Si existe alguna duda, puede solicitar al técnico la información de los resultados hasta 10 días antes del vencimiento de validez de los datos.

Página 1 de 2

Av. La Marina 3059 San Miguel - Lima 22 PERU

Tel: (51) 616-5400 Fax: (51) 616-5418 E-mail: envirolab@envirolabperu.com.pe Web: www.envirolabperu.com.pe



ENVIROLAB PERU S.A.C.

Environmental Laboratories Perú S.A.C.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA
COMISION DE REGLAMENTOS TECNICOS Y
COMERCIALES CON REGISTRO N° LE-011

INFORME DE ENSAYO N° 1001276



Solicitante: BAQUERIZO NOLE JUDITH A MARIEL

Domicilio Legal: Max. E-3 LL 1 Urb. Ponada del Sol I Et.

Tipo de Muestra: Agua de Eficiente

Plan de Muestras: ...

Solicitud de Análisis: ENS-276

Procedencia de la Muestra: Canal-Lima

Fecha de Ingreso: 2010-01-25

Código ENVIROLAB-PERU: 1001276

Referencia: Carta de Custodia de fecha: 2010-01-25

Análisis :		Fórmula Total		Método de Referencia:		EPA 365.3	
Código de Referencia	Descripción de muestra	Fecha de Muestra	Límite de Concentración	Resultado	Incertidumbre (%)	Unidad	Fecha de Análisis
1001276-01	A. A2	2010-01-12	0.01	39	1	mg/L	2010-01-27
1001276-02	E. R3	2010-01-12	0.01	29	0.5	mg/L	2010-01-27
1001276-03	U. R1	2010-01-12	0.01	29	0.4	mg/L	2010-01-27
1001276-04	A. A1	2010-01-12	0.01	30	1	mg/L	2010-01-27
1001276-05	E. R2	2010-01-13	0.01	29	0.5	mg/L	2010-01-27
1001276-16	E. R1	2010-01-13	0.01	27	0.5	mg/L	2010-01-27
1001276-17	A. A4	2010-01-14	0.01	33	1	mg/L	2010-01-27
1001276-18	E. R2	2010-01-14	0.01	26	0.4	mg/L	2010-01-27
1001276-19	E. R1	2010-01-14	0.01	30	1	mg/L	2010-01-27

La incertidumbre de la medición ha sido calculada con un factor de cobertura k = 2 para un nivel de confianza aproximado del 95%.
Condición y Unidad de la Muestra Analizada: Estación Hogar perteneciente al Laboratorio.
Nota: La fecha de muestra, es una propiedad del Cliente.

Fórmula Total: EPA 365.3 "Fósforo, Al Fósforo (Código: A2, A1, A4, E, R1, R2, R3, U) según el Método de Referencia EPA 365.3".

LUIS BUENO CARRERA,
Gerente General
C.I.P. N° 0118
Lima, Perú



Nota: - Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra recibida.
- Este resultado no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas del producto.
- El tiempo de entrega de la muestra es de 7 días hábiles desde la recepción de la muestra por parte del Laboratorio.
- Si se requiere de mayor detalle, puede solicitar al laboratorio los datos de la muestra recibida en el momento de la recepción de la muestra.

Página 1

Av. La Marina 3059 San Miguel - Lima 32 PERU

Tel: (51) 616-5400 Fax: (51) 616-5418 E-mail: envirolab@envirolabperu.com.pe Web: www.envirolabperu.com.pe



ENVIROLAB PERU S.A.C.

Environmental Laboratories Perú S.A.C.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA
COMISION DE REGLAMENTOS TECNICOS Y
COMERCIALES CON REGISTRO N° LE-813

INTERIORE DE ENSAYO N° 160125



Solicitante: BAQUERIZO NOLE FIDRELLA MARIEL
Domicilio Legal: Mza. E-3 Lt. 1 Urb. Perené del Sol I Et.
La Molina
Tipo de Muestra: Agua de Effluente
Plan de Muestreo: --
Sistema de Análisis: ENE-245
Procedencia de la Muestra: Canal - Lomo
Fecha de Ingreso: 2010-01-25
Código ENVIROLAB-PERU: IC01255
Referencia: Cámara de control a de fecha: 2010-01-25

Análisis:		Pósforo Total		Método de Referencia:			EPA 365.3
Código de Laboratorio	Descripción de muestra	Fecha de Muestra	Límite de Concentración	Resultado	Interferencias (±)	Unidad	Fecha de Análisis
1101235-01	Afluentes A2	2010-01-19	0.01	34.50	0.60	mg/L	2010-01-26
1101235-02	Efluentes B5	2010-01-19	0.01	33.30	0.54	mg/L	2010-01-26
1101235-03	Efluentes B0	2010-01-19	0.01	32.20	0.49	mg/L	2010-01-26
1101235-04	Afluentes A0	2010-01-20	0.01	34.70	0.64	mg/L	2010-01-26
1101235-05	Efluentes B3	2010-01-20	0.01	34.30	0.47	mg/L	2010-01-26
1101235-06	Efluentes B1	2010-01-20	0.01	35.50	0.53	mg/L	2010-01-26
1101235-07	Afluentes A4	2010-01-21	0.01	32.30	0.67	mg/L	2010-01-26
1101235-08	Efluentes B2	2010-01-21	0.01	35.30	0.58	mg/L	2010-01-26
1101235-09	Efluentes B1	2010-01-21	0.01	34.60	0.57	mg/L	2010-01-26

La incertidumbre de la medida ha sido calculada con un factor de cobertura $k = 2$ para un nivel de confianza aproximado del 95%.
Código y Estado de la Muestra Ensayo (E): Los resultados figuran referenciados al Laboratorio.
Nota: Las fechas de muestreo, son datos proporcionados por el Cliente.

Estándar Técnico EPA 365.3 "Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid, Two Reagent)",
Methods for Chemical Analysis of Water and Wastewater, Revised March 1981.

URS BUENO CARRERA
Gerente General
C.I.F. N° 6618
Urb. 894, 2010-02-03

Nota: Los resultados presentados corresponden al tipo de muestra indicada.
En los resultados se detallan el tipo de muestra con especificación de concentración con respecto del parámetro.
El tiempo de entrega de los resultados de las muestras figuran referenciados al Laboratorio.
Si en el momento de entrega, puede solicitar el informe de los resultados a las 10.30 horas del día siguiente de tiempo de entrega.

Av. La Marina 3059 San Miguel - Lima 32 PERU

Page 1/1

Tel: (51) 616-5400 Fax: (51) 616-5418 E-mail: envirolab@envirolabperu.com.pe Web: www.envirolabperu.com.pe

MICROBIOLOGIA DE LA DIGESTION ANAEROBIA

La cadena alimenticia anaerobia

En la digestión anaerobia, los metanógenos desempeñan la función de enzimas respiratorio y, junto con las bacteria no metanogénicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aerobias; de este modo, los residuos orgánicos se transforman completamente en productos gaseosos: metano y dióxido de carbono, que abandonan el sistema (Schoberth, 1984). La figura 3.4 compara la digestión aerobia con la anaerobia. En la digestión anaerobia la mayor parte de la energía libre contenida en el sustrato original se conserva en el metano y puede ser utilizada por el hombre. En la digestión aerobia el CO₂ y las células son los productos preponderantes.

Bacterias metanogénicas

Los organismos metanogénicos se clasifican dentro del dominio Archea y, morfológicamente, pueden ser bacilos cortos y largos, cocos de varias ordenaciones celulares, células en forma de placas y metanogenos filamentosos, existiendo tanto Gram positivos como Gram negativos (Madigan et al., 1998).

Las bacteria metanogénicas son filogenéticamente coherentes con el reino Eurya-archaeota (ver Figura 3.5), que en conjunto con la Crenaarchaeota, constituyen el dominio Archaea. Las bacterias metanogénicas fueron el primer grupo en tener su taxonomía basada en el estudio de la frecuencia 16s rRNA (Raskin et al., 1994).

Los metanogénicos, perteneciendo al dominio separado "archaea", difieren de las bacterias en las siguientes características (Sahm, 1984):

- Difieren en la composición de la pared celular, por ejemplo, la pared celular de los metanogénicos, carece de peptidoglicanos.
- También difieren en la composición de membrana celular, la que está con cadenas ramificadas de hidrocarburos, adicionadas al glicerol por conexiones de éter.

- Los metanogénicos, tienen una coenzima específica: F_{420} a 5-deazaflavin, la cual actúa como un transportador de electrones en el metabolismo. Estas formas oxidadas absorben la luz a 420 nm (Cheeseman et al., 1972). Esta coenzima de fluorescencia verde azulada, ha sido propuesta para la cuantificación de los metanogénicos en cultivos mixtos (Van Beelen et al., 1983). La determinación de la F_{420} en extracciones celulares, es retirada por extracción, seguido de la medición de la fluorescencia o por cromatografía líquida de alto performance (HPLC), con detección fluorimétrica (Peck, 1989). Colonias metanogénicas pueden ser distinguidas de algunas no-metanogénicas, por el uso de la microscopía de fluorescencia (Edwards y McBride, 1975; Kataoka et al., 1991). Sin embargo, se ha encontrado que el uso de F_{420} para el consorcio metanogénico puede ser erróneo, pero si puede ser considerado para la determinación de la actividad metanogénica acetoclástica (Dolfing and Mulder, 1985). Otra coenzima que contiene níquel es la F_{420} , la cual es también única en los metanogénicos.
- Los metanogénicos tienen secuencias de RNA en el ribosoma, que difieren de los de las bacterias y eukaryotes.

Durante años, las bacterias productoras de metano se clasificaron en una serie de géneros asociadas con otros microorganismos sobre la base de la morfología. Barker (1956), reconoció que estos organismos poseían unas características comunes y los agrupó en la familia Methanobacteriaceae. Con un conocimiento creciente de la fisiología y estructura de los metanógenos y con el advenimiento de nuevas técnicas para el esclarecimiento de interrelaciones entre bacterias, se ha confirmado que los metanógenos constituyen un grupo coherente (Balch et al., 1979). Hoy se sabe que son auténticamente distintos de las bacterias típicas (Eubacterias) y se han clasificado en un reino separado, las Archaeobacterias (Woese et al., 1978). El establecimiento de este reino se basa principalmente en un estudio de la composición del ARNr 16S, del cual se sabe que está altamente conservado y es particularmente apropiado para indicar relaciones filogenéticas. Las Archaeobacterias contienen también los halófilos extremos y a los termoacidófilos, y se cree que representan un grupo extremadamente antiguo. Estos organismos se distinguen de las eubacterias por: 1) la ausencia de peptidoglicano en la pared celular, 2) la presencia en membranas de lípidos inusuales, en concreto

poliisoprenoides con enlaces éter, y 3) la presencia de ARNt y ARNr 5S en los mecanismos de traducción.

Dentro de los metanógenos, el análisis del ARNr 16S permitió la subdivisión del grupo en un ordenamiento jerárquico de órdenes, familias, géneros y especies, como se muestra en la tabla 3.3.

El agrupamiento a este criterio está también de acuerdo con el patrón establecido en base a características más tradicionales como la morfología, la reacción de Gram, la reacción guanina/citosina y la composición de la pared celular.

Cuarenta y nueve especies de metanogénicos han sido descritos (Vogels et al., 1988), y otros están siendo descubiertos. La tabla 3.4 (Kroster, 1988), es una compilación de algunos de los metanogénicos aislados y sus respectivos substratos

Tabla 3.3: Clasificación de metanogénicos

Orden	Familia	Género	Especie
Methanobacteriales	Methanobacteriaceae	Methanobacterium	M. formicicum
			M. bryanti
			M.
			thermoautotrophicum
		M. ruminantium	
		Methanobrevibacter	M. arboriphilus
			M. smithii
M. vannielli			
Methanococcales	Methanococcaceae	Methanococcus	M. voltae
		Methanomicrobium	M. mobile
Methanomicrobiliaes	Methanomicrobiaceae	Methanogenium	M. cariaci
			M. marisnigri
		Methanospirillum	M. hungatei
			M. barkeri
		Methanosarcinaceae	Methanosarcina

Fuente: De Koster (1988).

Tabla 3.4: Algunos metanogénicos aislados y sus sustratos

Bacteria	Substrato	Bacteria	Substrato
Methanobacterium bryantii	H ₂	Methanoplanus limícola	H ₂ y HCOOH
M. formicicum	H ₂ y HCOOH	M. endosymbiosus	H ₂
M. thermoautotrophicum	H ₂	Methanogenium cariaci	H ₂ y HCOOH
M. alcaliphilum	H ₂	M. marisnigri	H ₂ y HCOOH
		M. tatii	H ₂ y HCOOH
Methanobrevibacter arboriphilus	H ₂	M. olentangyi	H ₂
M. ruminantium	H ₂ y HCOOH	M. thermophilicum	H ₂ y HCOOH
M. smithii	H ₂ y HCOOH	M. bourgense	H ₂ y HCOOH
Methanococcus vannielii	H ₂ y HCOOH	M. aggregans	H ₂ y HCOOH
M. voltae	H ₂ y HCOOH	Methanococcoides methylutens	CH ₃ NH ₂ y CH ₃ OH
M. deltae	H ₂ y HCOOH	Methanotherix soehngenii	CH ₃ COOH
M. maripaludis	H ₂ y HCOOH	M. concilii	CH ₃ COOH
M. jannaschii	H ₂	Methanothermus fervidus	H ₂
M. thermolithoautotrophicus	H ₂ y HCOOH	Methanobolus tindarius	CH ₃ OH, CH ₃ NH ₂
M. frisius	H ₂ , CH ₃ OH		(CH ₃) ₂ NH y (CH ₃) ₃ N
Methanomicrobium mobile	H ₂ y HCOOH	Methanosarcina barkeri	CH ₃ OH, CH ₃ COOH,
			H ₂ , CH ₃ NH ₂ , (CH ₃) ₂ NH y (CH ₃) ₃ N
M. paynteri	H ₂	Methanosarcina thermophila	CH ₃ OH, CH ₃ COOH,
Methanospirillum hungatei	H ₂ y HCOOH		H ₂ , CH ₃ NH ₂ , (CH ₃) ₂ NH y (CH ₃) ₃ N

Fuente: Gabriel Bitton, "Wasterwater Microbiology" – Third edition, 2005

Es importante considerar la extensión en que las especies descritas representan auténticamente la variedad de metanogenos disponibles. Parece probable que existan muchos más de los que hasta ahora han sido cultivados. El aislamiento de metanogenos ha sido siempre difícil, requiriendo la aplicación de técnicas anaerobias. Debe tenerse en cuenta la posible relevancia de los organismos desconocidos sobre el desarrollo de los procesos comerciales de producción de metano (Kirsop, 1984). En este contexto, el interés primordial está unido a los metanogenos consumidores de acetato, *Methanosarcina barkeri*, *Methanococcus mazei* y *Methanotherix soehngenii*, ya que aproximadamente dos tercios del carbono presente en la materia orgánica se transferirá finalmente a acetato. Hay muchas evidencias en la literatura de que el crecimiento de metanogenos en cultivo puro sigue, al menos en parte, el modelo clásico. En particular se sabe que el crecimiento es exponencial sobre los substratos principales y para la mayoría de las cepas conocidas (Weimer y Zeikus, 1978; Walther et al., 1981). También existe una buena evidencia de que el crecimiento y la formación de producto pueden seguir un patrón exponencial. Las cinéticas son similares respecto al crecimiento y formación del metano o respecto a la utilización del substrato (Pfeffer, J. T., 1982). Esto es importante porque en muchas situaciones industriales será imposible cuantificar los cambios de la masa microbiana directamente, siendo deseable la seguridad de que la formación de metano o el substrato utilizado estén relacionados con el crecimiento en la forma clásica. Los datos de velocidad de crecimiento de la literatura muestran que hay diferencias sustanciales entre microorganismos metanogénicos, variando entre 1 hora y 9 días sus tiempos de duplicación; si bien las velocidades lentas de crecimiento predominan frecuentemente, esto parece ser un reflejo de la inadecuada nutrición en el medio y de las condiciones usadas para el crecimiento.

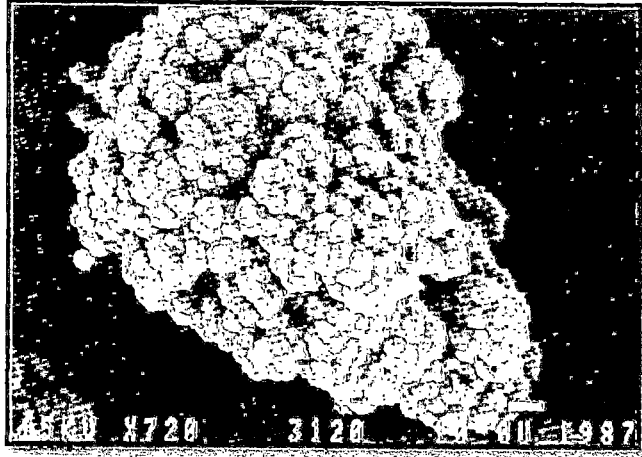


Figura 3.6 y 3.7: Morfología y apariencia del metanogenos del género Methanosarcina y Methanosaeta



Parece claro que el crecimiento puede ocurrir también de forma distinta a la exponencial. En la literatura se encuentran muchos casos en los que la acumulación de gas o el crecimiento siguen una forma lineal más que exponencial, y se ha establecido que la producción de metano puede continuar relativamente rápida aun cuando el crecimiento celular, haya cesado (Krzycki et al., 1982). Es importante explicar estos hechos. Un crecimiento que sigue una forma no exponencial es común en Eubacterias, como los son cambios en la relación entre crecimiento y producto final según progresa un cultivo discontinuo, de modo que puede que varíe el estatus nutricional del medio. La producción continuada de gas en la fase estacionaria puede explicarse bien por el desacoplamiento de la producción de energía y el crecimiento o por un recambio creciente de material celular como resultado de la muerte de células, de modo que la velocidad neta de crecimiento, que representa el balance entre la velocidad de crecimiento real y la de muerte, se hace cero.

Con respecto a los requerimientos de otros elementos mayoritarios, la situación por lo que respecta al azufre está sujeta a debate. El metabolismo de SRB y de los metanogenos esta interconectado en presencia de sulfato, lo que ha llevado a sugerir que el sulfuro, producido por reducción del sulfato, es inhibitorio. Parece más probable que la producción de metano se reduzca por competencia entre las dos clases de bacterias por el hidrogeno y, en cualquier caso, está bien establecido que el sulfuro es la forma preferida de aporte del azufre para muchas especies (Rönnow y Gunnarson, 1981; Mountfort y Asher, 1979; Scherer y Sahm, 1981).

Se han investigado también los requerimientos vitamínicos de los metanogenos. Mientras algunas cepas de *M. thermoautotrophicum* son capaces de crecer sin adición de vitaminas, en otros organismos se han detectado respuestas sustanciales a la presencia de vitaminas. Wood et al. (1982) han demostrado que una metiltransferasa dependiente de vitamina B12 es importante en la biosíntesis de metano a partir de metanol en *M. barkeri*. Otros nutrientes traza requerido por los metanogenos incluyen una serie de iones metálicos de hierro, níquel, cobalto, molibdeno, selenio y wolframio (Whitman et al., 1982).

Se puede concluir que los metanogenos son una clase que tiene requerimientos nutricionales poco usuales, reflejando sus comportamientos distintivos. Como señalaron Whitman et al., 1982, los requerimientos nutricionales tienen poco que ver con la posición taxonómica de los metanogenos, pareciendo que las características nutricionales tienen poco que ver con la posición taxonómica de los metanogenos, pareciendo que las características nutricionales están determinadas por el ambiente y no por la filogenia. Esto es alentador para el biotecnólogo ya que sugiere que organismos con propiedades nutricionales muy variadas pueden estar presentes en entornos naturales y por lo tanto disponibles para su selección, pero también hace resaltar que un cambio de ambiente dentro de un digestor puede poner de manifiesto inadecuaciones nutricionales previamente no detectadas (Kirsop, 1984).

Transferencia de hidrógeno interespecies

El término transferencia de hidrogeno interespecies (Iannotti et al., 1973) se ha usado para describir las reacciones acopladas de oxido-reduccion mediadas por

H₂, entre bacterias anaerobias interactuantes, comparable a las que existen entre las secuencias de reacciones enzimáticas en células aerobias.

La figura 3.8 y la tabla 3.5 ilustran el fundamento termodinámico de este proceso.

Tabla 3.5: Balance Energético de la Transferencia de Hidrogeno Interespecies

Reacción	ΔG° (KJ/mol)
1. Glucosa + 2/3H ₂ O → 2/3Acetato + 2/3Butirato + 4/3H ⁺ + 8/3H ₂ + 2CO ₂	-247'2
2. Glucosa + 2H ₂ O → 2Acetato + 2H ⁺ + 2CO ₂ + 4H ₂	-213'4
3. Glucosa → 2Acetato + 2H ⁺ + CO ₂ + CH ₄	-344'2
4. Glucosa → 3CH ₄ + 3CO ₂	-418'1
5. Palmitato + 14H ₂ O → 8Acetato + 7H ⁺ + 14H ₂	+405'4
6. Pamitato + 7/2CO ₂ + 7H ₂ O → 8Acetato + 7H ⁺ + 7/2CH ₄	-50'8
7. Palmitato + H ⁺ + 7H ₂ O → 23/2CH ₄ + 9/2CO ₂	-348'3
8. Butirato + 2H ₂ O → 2Acetato + H ⁺ + 2H ₂	+50'7
9. Butirato + 1/2CO ₂ + H ₂ O → 2Acetato + H ⁺ + 1/2CH ₄	-14'7
10. Butirato + H ⁺ + H ₂ O → 5/2CH ₄ + 3/2CO ₂	-89'1
11. 4H ₂ + CO ₂ → CH ₄ + 2H ₂ O	-130'8
12. Acetato + H ⁺ → CH ₄ + CO ₂	-37'2

Datos procedentes de McCarty (1971), Schoberth (1978) y Thauer et al. (1980).

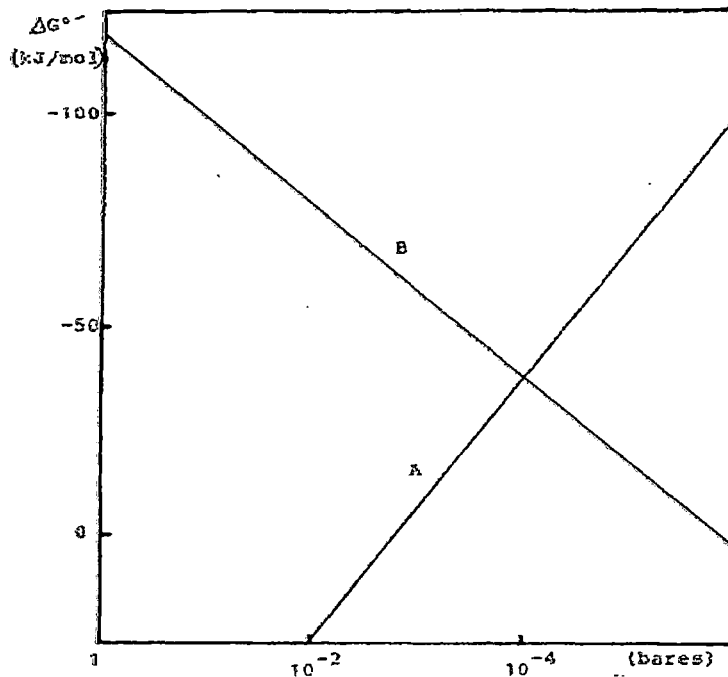
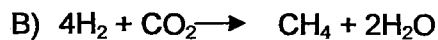
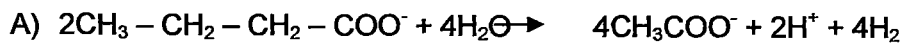


Figura 3.8: Influencia de la presión parcial de hidrógeno sobre la fermentación acetogénica de butirato (A) y sobre la metanogénesis a partir de H_2+CO_2 (B). Solo a presiones parciales de H_2 menores de 10^{-5} bar será favorable (A)



Relaciones acidogénicas/metanogénicas

Comparando las reacciones 1 y 2 de la tabla 3.5 se puede apreciar que al aumentar la producción de acetato sobre otros productos más reducidos, decrece la energía libre de la reacción, por lo tanto, las relaciones estequiométricas tales como las de la reacción 2 solo se producirán cuando los metanógenos consuman el hidrógeno producido (reacción 11), ayudados por los metanógenos acetotrofos (reacción 12), alcanzándose la conversión completa de glucosa a metano y dióxido de carbono, consiguiendo el valor máximo de energía libre y por tanto el mayor rendimiento de ATP por molécula de glucosa consumida.

Por supuesto, el correcto funcionamiento de estas reacciones depende de un exacto ajuste entre las velocidades de producción de acidógenos y metanógenos, siendo los metanógenos autótrofos el factor limitante por sus bajas velocidades de crecimiento.

Cuando se ha establecido una cadena alimentaria metanogénica en un fermentador sobre la base de un tipo de sustrato y se aplican cargas bruscas de otros sustratos fermentables acidogénicamente, el desarrollo de las fermentaciones ácidas mixtas muy rápidas realizadas por los acidogénicos desplazará a los grupos más lentos, acetogénico y metanogénico, provocando la acidificación del reactor. Por lo tanto cuando sea necesario realizar cambios en las cargas aplicadas a un digestor se debe proceder lentamente para permitir a la cadena alimentaria ajustar las actividades relativas y las poblaciones bacterianas de acuerdo con las nuevas condiciones.

Relaciones acetogénicas/metanogénicas

Resulta evidente (ecs. 5 y 8 de la tabla 3.5) que la β -oxidación anaerobia de ácidos grasos sería de moderada a altamente endoergónica bajo condiciones estándar y que por lo tanto no podría tener lugar. El acoplamiento con una reacción altamente exoergónica (ec. 11 tabla 3.5), las hace también exoergónicas, y la digestión completa todavía más. El acoplamiento, como se recoge en la figura 3.8, tiene lugar ajustando la concentración del intermedio común, hidrógeno, a un nivel extremadamente bajo. Se ha postulado que la transferencia de hidrógeno interespecies solo puede ocurrir eficazmente cuando acetógeno y metanógenos están en estrecha proximidad (Schoberth, 1978).

Los granulos bacterianos (floculos) que aparecen en el proceso UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket) podrían ser microentornos adecuados para tal efecto (Lettinga et al., 1980). La formación de agrupaciones simbióticas también se ha observado en cocultivos definidos (Stouthamer, 1978). Los cálculos realizados para determinar la distancia entre el lugar de producción (bacteria acetogénica) y de consumo (metanógeno) basados en el tiempo de residencia del hidrógeno en un fermentador dan valores del orden de micras (Kaspar, 1977). Tomei (1985) sugiere que la adhesión a un organismo productor de hidrógeno sería un mecanismo por el cual aquellas bacterias con menor afinidad por el hidrógeno podrían competir por este sustrato frente a otras con mayor afinidad.

Conrad (1985), desarrollando nuevas técnicas de medida de bajas concentraciones de hidrógeno, da cuenta de que la mayor parte de la metanogénesis a partir de hidrógeno y dióxido de carbono, tiene lugar como consecuencia de la transferencia

de hidrogeno interespecies directa entre asociaciones microbianas yuxtapuestas dentro de floculos o consorcios en ambientes tales como sedimentos anaerobios de lagos.

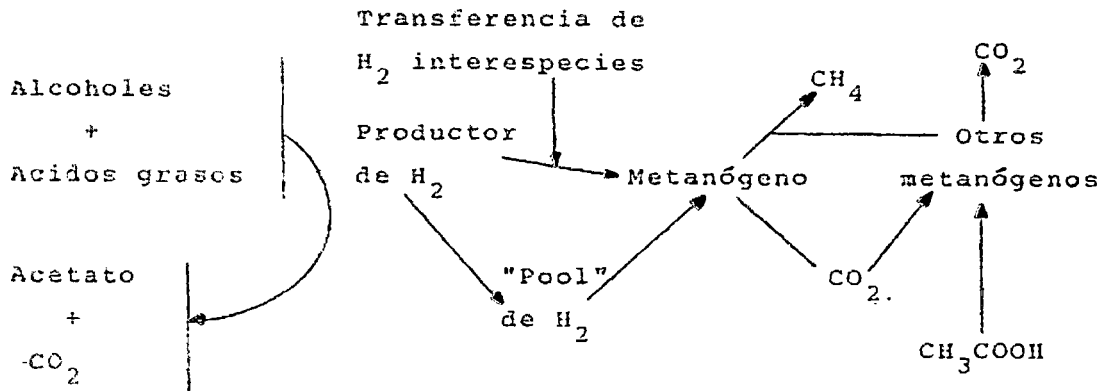


Figura 3.9: Transferencia de hidrogeno interespecies en un entorno natural. Importancia de la yuxtaposición. Conrad et al., 1985.

La figura 3.9 muestra la importancia de la yuxtaposición entre especies productoras de hidrógeno y metano en la naturaleza. Aparentemente la metanogénesis depende no tanto del hidrogeno total como de la transferencia interespecies.

Nutrición de las metanobacterias

Hay una considerable diversidad en los requisitos nutricionales de las metanobacterias en cultivo puro (Murray y Zinder, 1985). Algunos son capaces de sintetizar todos sus componentes celulares en un medio nutritivo totalmente inorgánico en el que el dióxido de carbono es la fuente de carbono, el amoniaco (ion amonio) la de nitrógeno y el sulfuro la de azufre (Zeikus y Wolfe, 1982). Otras especies tienen requisitos mucho más complejos. *Methanobrevibacter ruminantium* necesita fluido ruminal (Bryant, 1965) comprobándose que éste suministraba acetato, ácidos grasos ramificados (Bryant et al., 1972) y CoM (Taylor et al., 1974). *Methanococcus voltae* requiere ácido pantoténico, acetato y aminoácidos o ácidos grasos ramificados (Whitman et al., 1982), mientras *Methanomicrobium mobile* requiere triptófano, tiamina, piridoxina, ácido p-amino benzoico, ácidos grasos ramificados, acetato y un factor desconocido (Tanner y Wolfe, 1982). Los metanógenos también necesitan una variedad de iones metálicos, con un

requerimiento especialmente alto de níquel (Schönheit et al., 1979) el cual está presente en F_{430} , hidrogenasa y monóxido de carbono deshidrogenasa.

Por lo que respecta a los cultivos mixtos, como los que se presentan en un fermentador, los requerimientos nutricionales suelen expresarse cuantitativamente como relaciones entre carbono total (o demanda química de oxígeno), nitrógeno y fósforo. Así Ghose y Das (1982) dan una relación C/N de 30:1 para obtener la velocidad máxima de crecimiento. Van der Berg y Lentz (1980) y Lettinga (1984) establecen unas composiciones óptimas COD:N:P de 300:(10-2):(5-1) y 100:5:1 respectivamente para la digestión anaerobia.

Enriquecimiento selectivo y aislamiento de los metanógenos (Medio Básico LPBM)

Muchos procedimientos para aislar e identificar géneros y especies de metanógenos han sido publicados. El protocolo descrito abajo ha sido usado en laboratorios para el exitoso enriquecimiento y aislamiento de bacterias metanogénicas provenientes de diversos ambientes de crecimiento. El objetivo aquí es solo proporcionar información sobre el proceso de cómo los metanógenos, diferentes en designación genérica y fuentes de energía metabólica, pueden ser obtenidos de la naturaleza. La adición de ya sea 0.5 a 1% (concentración final) formiato de sodio o metanol, o un 80% H_2 - 20% CO_2 en fase gaseosa al medio básico (LPBM) descrito en la tabla 3.6 provee un medio de cultivo útil para el enriquecimiento y crecimiento de metanógenos que poseen un mínimo requerimiento de nutrientes. Los cultivos puros son obtenidos de repetidas transferencias activas de enriquecimientos. La purificación es obtenida por performance en una serie de diluciones en agar en condiciones anaerobias y que contengan LPBM, 2% agar (Difco, purificado) y una fuente de energía apropiada. Colonias bien aisladas son elegidas y usadas como inoculos en cultivos líquidos. La omisión de sulfato disminuye el crecimiento de bacterias sulfato reductoras, mientras que la omisión de compuestos orgánicos (extracto de levadura, tripticasa) suprime contaminantes heterótrofos. Estos procedimientos son de uso limitado para la determinación del número total de metanógenos en medios naturales debido a los requerimientos de crecimiento específicos de ciertas especies.

Tabla 3.6: Composición de medio básico (LPBM) usado para el enriquecimiento selectivo y crecimiento de algunas especies de bacterias metanogénicas.

Componente	Cantidad
KH ₂ PO ₄	0.75g
K ₂ HPO ₄ .3H ₂ O	1.45g
NH ₄ Cl	0.90g
MgCl ₂ .H ₂ O	0.20g
NaS.9H ₂ O ^b	0.50g
Traza de solución mineral ^c	9 ml
Solución vitamínica ^d	5 ml
Solución Resazurin (0.2%) ^e	1 ml
Agua destilada	1,000 ml

^a Preparado anaeróticamente bajo un 95%N₂ – 5%CO₂ atmósfera gaseosa. Medio ajustado a pH 7.4 previo a autoclave. El medio básico requiere la adición de un electrón donador (H₂, formiato, o metanol) para el crecimiento y enriquecimiento de metanógenos.

^b Solución de sulfuro agregada después de la esterilización.

^c Contiene, en gramos por litros de agua destilada (pH a 7.0 con KOH): ácido nitrilotriacético, 4.5; FeCl₂.4H₂O, 0.4; MnCl₂.4H₂O, 0.1; CoCl₂.6H₂O, 0.17; ZnCl₂, 0.1; CaCl₂, 0.02; H₃BO₃, 0.019; y molibdato de sodio, 0.01.

^d Opcional, algunos metanógenos requieren una combinación de vitaminas.

^e Opcional, indicador de oxidación-reducción.

Propiedades de adhesión

Las propiedades físicas y la utilidad de las células de metanógenos dependen sustancialmente de si estas son capaces o no de adherirse con facilidad a otras células de la misma especie, a otros metanógenos, no metanógenos o a superficies. Sea como resultado de la formación de grupos de célula floculantes que sedimentan fácilmente, o de la adhesión de células a superficie y material particulado dentro del fermentador, los fenómenos de adhesión tienden a incrementar la concentración de microorganismos en el interior del fermentador, resultando la capacidad de adhesión en células dispersas que, en sistemas continuos, tenderán a abordar el digestor con el efluente. Las propiedades de la pared y especialmente de su superficie externa son por tanto de especial interés para el biotecnólogo.

El estudio de la estructura de la pared ha revelado una amplia variabilidad entre los metanógenos, existiendo un estrecho paralelismo entre la estructura y la posición taxonómica. Como se ha mencionado anteriormente, los metanógenos no poseen el peptidoglicano característico de las bacterias típicas. Por esta razón, los antibióticos tales como la penicilina, que ejercen su efecto interfiriendo en la síntesis del peptidoglicano, no tienen efecto sobre la metanogénesis (Hilpert et al., 1981). Las Methanobacteriaceae gram-positivas tienen una pared con pseudomureina reemplazando el ácido murámico. *Methanobacterium* y *Methanobrevibacter* contienen un polímero en el que las unidades repetitivas se componen de L-aminoácidos (Lys, Ala, Glu) junto a azúcares N-acetilados (Kandler y Hippe, 1977; Kandler y König, 1978). En las Methanococcales gram-negativas la pared no es rígida y contiene solo trazas de glucosamina y ningún otro aminoazúcar (Kandler y König, 1978). La pared consiste en subunidades proteicas dispuestas de forma regular, estructura que es fácilmente desorganizada por detergentes. En el orden Methanomicrobiales hay algunas variaciones en la estructura de la pared según los géneros. *Methanomicrobium* y *Methanogenium* tienen paredes proteicas que, en los segundos, dan un modelo de unidades muy parecido al de *Methanococcus* (Romesser et al., 1979). En *Methanospirillum* la pared está formada por dos capas separadas (Zeikus y Bowen, 1975).

Finalmente, en el género más abundante de muchos digestores, *Methanosarcina*, la estructura de la pared es un heteropolisacárido con galactosamina, azúcares neutros, y ácidos urónicos. En muchos aspectos, la estructura de la pared recuerda a una capsula en la cual están embebidas las células individuales (Kandler y Hippe, 1977; Zeikus y Bowen, 1975a).

Hay pocas evidencias de que los metanógenos se adhieran fuertemente de manera espontánea a otras células de la misma especie o a superficies inertes. Los cultivos puros tienden a ser dispersos, y solo *M. barkeri* se presenta característicamente como agregados de células. Estos, sin embargo, no son racimos de células adheridas unas a otras sino un conjunto de células encerradas dentro de una masa heteropolisacáridica. También hay pocas indicaciones de que los cultivos puros se adhieran a las superficies de vidrio de los recipientes de cultivo o a componentes metálicos de su interior. Una situación similar se ha encontrado con los organismos usados para el tratamiento aerobio de aguas residuales, incapaces de formar

películas sobre el material particulado usado en los filtros cuando se cultivan individualmente (Kinchi et al., 1968).

Sin embargo, cultivos puros de organismos que son incapaces de manifestar adhesión individualmente, se encuentran por lo general fuertemente adheridos a soportes tales como antracita, vidrio, plástico o piedra usados comúnmente en las plantas de tratamiento de efluentes. La experiencia con los sistemas anaerobios confirma que las poblaciones metanogénicas son capaces de asociarse en masas particuladas estables para formar un lecho y también de unirse a materiales sólidos como arena o plástico. La formación de tales comunidades es claramente deseable en tanto que permite la rápida utilización por un organismo del producto final del metabolismo de otro, sin la dilución asociada con la liberación del producto al líquido del medio.

Se sabe muy poco sobre el mecanismo conducente a la adhesión de poblaciones en entornos anaerobios. Se ha estudiado la formación de partículas esenciales para el funcionamiento del reactor UASB y se ha constatado la importancia de las concentraciones del ion calcio (Lettinga et al., 1980); habida cuenta de los conocidos efectos de los cationes divalentes sobre la adhesión celular (Ash, S. G., 1978), el efecto del calcio no es sorprendente. El desarrollo de granulos depende de la presencia de pequeños agregados en el inoculo, los cuales crecen para dar partículas más grandes que sedimentan rápidamente.

GESTION AMBIENTAL PARA EL SECTOR MATADEROS

Existen tres grandes alternativas de solución, las que agrupan en una serie de procedimientos o técnicas para el manejo y minimización del volumen de residuos generados en el proceso.

La minimización de residuos tiene una serie de ventajas tangibles e intangibles para la industria, entre las que se cuentan la reducción de costos por tratamientos y disposición de los desechos in situ o fuera de la planta, reducción de costos de producción a través de un mejor manejo de materiales y una mayor eficiencia del proceso y mejora de la imagen pública de la empresa por medio del cumplimiento de las regulaciones o normativas.

La primera alternativa es la llamada **reducción en origen** e involucra cambios en los productos y cambios en los procesos (substitución de materias primas e insumos, cambio tecnológicos y la implementación de las buenas prácticas de gestión de operación)

La segunda alternativa corresponde al **reciclaje en origen** (reuso de materiales) y la tercera alternativa corresponde a las **tecnologías de control** que se desarrollan al final del proceso, e involucran el tratamiento previo de los residuos para su disposición final.

En la actualidad se tiende a buscar soluciones mediante la primera alternativa, ya que en rigor es más simple, en la mayoría de los casos, mejorar algunos sistemas y procedimientos que permiten reducir los volúmenes de desechos en la industria, con lo que se disminuye en forma ostensible el tamaño de una planta de tratamiento final (y su costo de inversión).

A continuación se indican algunas pautas respecto de la posible implementación de uno u otro sistema en la industria de faenamiento de carnes:

1.- REDUCCIÓN EN ORIGEN

La implementación de buenas prácticas de gestión de operaciones al interior de la empresa se basa en la puesta en práctica de una serie de procedimientos o políticas organizacionales y administrativas destinadas a mejorar y optimizar los procesos productivos y a promover la participación del personal en actividades destinadas a lograr la minimización de los residuos.

Dentro de estas prácticas se incluyen las políticas de personal (capacitación, uso de incentivos), medidas para incluir mejoras en los procedimientos (sistemas de documentación adecuados, optimización de manejo y almacenamiento de materias primas y control de inventario, programación de producción) y medidas de prevención de pérdidas.

Es importante mencionar que en la implementación de este tipo de gestión se entrecruzan los principios desarrollados en las Normas ISO 9000 (aseguramiento de calidad) e ISO 14000 (gestión ambiental).

a) Buenas prácticas de tipo general

Como ejemplos de buenas prácticas de operación se cuentan las siguientes:

- Capacitación permanente del personal sobre condiciones del proceso, seguridad industrial, manipulación de alimentos, manejo de materiales y salud ocupacional. Es vital que los empleados sepan porque se les exige una forma de trabajo y que se espera de ellos.
- Uso de incentivos al personal (no solamente de tipo monetario). Los empleados se comprometen más con la aplicación de medidas de prevención si saben que obtendrán algún beneficio.
- Desarrollo de manuales de operación y procedimientos (partiendo desde listas de chequeo o figuras de llamado de atención para los operarios, hasta el manual mismo para el personal profesional) con el fin de clarificar y/o modificar operaciones de proceso para hacerlas más eficientes y controlar pérdidas.
- Optimizar operaciones de almacenamiento y manejo de materias primas y productos (sistema FIFO: lo primero que entra es lo primero que sale, identificar y etiquetar claramente cada material), así como el control de inventarios. Tratar

de mantener un stock mínimo de materiales, sobre todo por la perecibilidad de éste.

- Optimizar los programas de producción y mantención preventiva de los equipos con el fin de evitar accidentes o falla de los equipos.
- Al momento de recibir materias primas de los proveedores, realizar control de calidad y composición de ellos para verificar si se cumplen las especificaciones requeridas. Solicitar a los proveedores que certifiquen la calidad de sus productos y llevar a cabo la devolución de los materiales si éstos no cumplen los requerimientos deseados.
- Desarrollar listas de programación para cada tipo de producto elaborado, con tiempos estimados de inicio y termino de cada lote de producción, con el fin de controlar el inventario de las materias primas activas y mejorar la eficiencia de utilización de los equipos para lograr una adecuada cobertura de la demanda de los productos.

b) Reducción desechos limpieza

Debido a que en el proceso productivo los residuos provenientes de las etapas de lavado de los equipos y aseo de la planta representan la fuente más importante de desechos de la planta, su control requiere una especial atención. Para ello se recomienda:

- Realizar una primera limpieza de equipos y mesones en seco para retirar restos de sólidos.
Estos sólidos pueden ser reutilizados en la formulación de algún subproducto si se almacenan en condiciones apropiadas (bajo refrigeración). Además, el retiro oportuno de los mismos evita problemas de descomposición de material y generación de olores molestos.
- Programar la producción para minimizar las necesidades de limpieza. Ver si es posible automatizarla en ciertos casos para lograr este propósito.
- Limpiar inmediatamente los equipos luego de su uso para evitar acumulaciones y descomposición de material.
- Usar sistemas de lavado de equipos y suelos a alta presión, con sistemas de control y corte de flujo (tales como pistolas o válvulas). Evitar dejar las

mangueras con el agua corriendo y eliminar goteos. De preferencia usar mangueras de pequeño diámetro.

Para ciertas partes del proceso como cañerías, cintas, cocedores se podría automatizar el sistema de lavado incorporando la tecnología CIP (cleaning in place), la que requiere menos agua y mano de obra.

- Para el lavado de materias primas se recomienda usar agua con un mínimo de presión y en un volumen no excesivo.
- También es importante evaluar si dentro del proceso es posible suprimir algún flujo de agua innecesario.

c) Substitución de materias primas e insumos

- En general, las materias primas e insumos de este rubro no presentan problemas que hagan pensar en un posible reemplazo. Su principal problema es su corta vida útil si no se manejan en forma apropiada (materias primas y también productos muy sensibles al daño microbiológico)
- Sin embargo, se debe analizar qué tipo de agentes de limpieza se están utilizando, con el fin de determinar si es necesario sustituirlos por otros menos tóxicos o no tóxicos.

d) Cambios en los procesos, nuevas tecnologías

- Automatizar operaciones en donde sea posible, evitando así el depender de la mayor o menor experticia o atención de un operario: colocar indicadores luminosos, alarmas, controladores de nivel, etc. con el fin de evitar derrames de material, o problemas en la calidad de los productos; usar sistemas de trozado automático de las carnes para reducir pérdidas de sólidos y necesidades de agua.
- Implantación de operaciones continuas donde sea posible por las mismas razones mencionadas en el punto anterior.
- Implantación de sistemas de transporte de materias primas por medios mecánicos y no en forma manual. Tratar de minimizar el número de veces que se mueven los materiales dentro de la planta. Esto evita pérdidas accidentales y riesgos de contaminación.

- En las operaciones que requieren la cocción de materias primas, evaluar la alternativa de utilizar sistemas cerrados o bajo vacío para disminuir los problemas de emisión de olores. En general, tratar de mantener todos los estanques de proceso existentes cubiertos, para prevenir evaporación, contaminación, derrames o resecamiento del contenido.
- Implantar un sistema de segregación de corrientes manteniendo separados todos los desechos sólidos (como heces, pelos, cueros, carnes y huesos) y los líquidos concentrados (aguas con sangre, grasas, restos menores de contenido de vísceras) separados de las aguas de lavado y de aguas de cocción de vísceras. Separar las aguas de enfriamiento de las de proceso. Esto minimiza la carga de los residuos líquidos y permitirá una separación posterior o reutilización. Además, si es necesario tratar algún flujo, se disminuye el volumen de operación.
- El estiércol de los corrales y los restos del interior de los intestinos deben removerse de la manera menos húmeda posible. Tratar de evitar el uso de sistemas de transporte húmedo para éstos (sistemas de bombeo), ya que evita aumentar el volumen de residuos líquidos. Es posible realizar el transporte de éstos mediante tornillos sin fin o cintas transportadoras, agregando algún sistema que permita rebajar el nivel de humedad como tamices o filtros de prensado antes de la disposición.
- Incluir equipos o sistemas que permitan acumular residuos sólidos antes de que salgan del proceso (rejillas, tamices, filtros, centrífugas) para su retiro en forma periódica.

2.- REUTILIZACIÓN Y RECICLO

Una vez evaluadas todas las alternativas de reducción en origen, se debe poner atención a las posibilidades de reutilizar o reciclar materiales o insumos. Dentro de la industria de cecinas se pueden estudiar las siguientes alternativas:

a) Recuperación y reutilización dentro del proceso

- Si se cuenta con un sistema de segregación de corrientes dentro de la planta, es posible reutilizar las corrientes menos contaminadas, previo tratamiento, por ejemplo como agua para operaciones de limpieza.
- Implantar un sistema de recirculación de aguas de enfriamiento

- Optimizar el uso de soluciones de limpieza (detergente y desinfectante), filtrándolas cuando sea posible y reutilizándolas nuevamente si es posible. Utilizar las mismas en forma racional y en la cantidad apropiada para un requerimiento mínimo de enjuague.

b) Recuperación y reutilización fuera del proceso

- Recuperación de grasas y sólidos desde los efluentes: Si se cuenta con un sistema de segregación de corrientes es posible utilizar los sebos y mantecas de matadero para elaborar grasas alimentarias. La corriente se puede someter a floculación y tamizado para recuperar grasas y proteínas.

La grasa animal recuperada en los mataderos se procesa a menudo en fábricas especializadas, que producen grasa para consumo humano. La fundición puede efectuarse por vía húmeda o en seco.

En el proceso húmedo, la grasa se calienta con vapor y luego se separa en sus fases líquida y sólida centrifugando. La fase sólida se seca o se congela. La fase líquida se separa por centrifugación en grasa y agua de colas. Esta, que contiene proteínas, es un residuo líquido.

En el proceso seco, se calienta la grasa en un estanque cerrado para remover el agua por evaporación. Enseguida, se separa la grasa líquida de los sólidos por tamizado. Después de una nueva purificación, se bombea la grasa líquida a estanques de almacenamiento, los que se descargan después de la condensación. Los vapores y gases generados en la evaporación deben tratarse en un lavador o incinerarse.

- Para permitir la reutilización de desechos es necesario evitar la rápida descomposición de éstos por lo que se deben mantener almacenados en frío y bien ventilados, o bien tratarlos previamente mediante operaciones de esterilización o pasteurización de la materia prima.
- La sangre puede ser recuperada y procesada, por ejemplo mediante una tina de recolección o haciendo uso de cuchillos con sistemas de succión, desde donde se bombea a un estanque de almacenamiento refrigerado. Se debe tratar de recuperar el máximo de material, dejando un tiempo suficiente para el sangrado. Es posible elaborar subproductos en base a sangre y restos y residuos no

comestibles de mataderos. Los productos finales son polvo animal, sangre en polvo, grasa recuperada (todos para producción de alimento para ganado) y cueros (para la industria del cuero). En general, estos procesos sólo se efectúan en la Región Metropolitana en algunos mataderos grandes.

Los restos se muelen (en lo posible, tras la remoción de los cueros) y se mezclan con otros desechos de matadero. La mezcla se esteriliza en autoclaves, se seca y se prensa para separar la grasa. Finalmente, la fracción sin grasa se muele hasta convertirse en un polvo.

La sangre normalmente es filtrada para eliminar impurezas gruesas, se procesa hasta sangre en polvo, se esteriliza y se seca. La sangre esterilizada se centrifuga para separar la proteína coagulada del suero líquido, el cual se desecha.

Generalmente, los desechos de los mataderos y de las otras plantas de procesamiento de carne se pueden utilizar en la producción de alimento para animales. Sólo se excluyen como materias primas los huesos y los intestinos.

Los desechos congelados se muelen y se mezclan con otros productos (granos, vitaminas, preservativos) para lograr un producto de las características nutricionales adecuadas. Enseguida, la mezcla se calienta (blanqueo) y se envasa en latas, que se esterilizan y luego se enfrían.

3.- TECNOLOGIAS DE CONTROL

a) Residuos líquidos y sólidos

Los efluentes líquidos de mataderos, plantas de procesamiento de carne y de recuperación de subproductos deben descargarse al alcantarillado previo tratamiento.

Este puede realizarse mediante sistemas físico-químicos y biológicos. A continuación, se describen brevemente los procesos de tratamientos que pueden utilizarse para la industria de la carne:

- Trampas de Grasas: Consisten en un estanque rectangular en el cual la sustancia grasa es empujada hacia la superficie y atrapada por un baffle.
- Estanque Homogenizador: Se requiere de un estanque que tenga la capacidad de aproximadamente el 60% del flujo diario con un aireador.

- Flotación: Se utiliza para remover sólidos suspendidos y grasas; tiene mayor eficiencia que las rejillas y las trampas. La eficiencia de la flotación se puede aumentar agregando floculantes químicos (aluminio, sales de hierro, etc.). El lodo de la flotación tiene un alto contenido de proteínas y grasas, pudiendo ser usado para alimento de animales, después de pasteurizarlo o ser procesado en una planta recuperadora.
- Tratamientos Anaeróbicos:
Los efluentes provenientes de la industria de la carne pueden ser tratados en lagunas o reactores cerrados. Tienen un bajo costo de operaciones y por otra parte generan biogás, por lo que pueden constituir una eficaz etapa dentro del proceso de tratamiento de los residuos líquidos. Los efluentes de tratamientos anaeróbicos pueden ser tratados por sistemas aeróbicos o descargados al alcantarillado.
- Tratamientos Aeróbicos
Todos los métodos de tratamientos aeróbicos existentes pueden ser usados para los efluentes de la industria de la carne: lodos activados (para alta y baja carga), lagunas aireadas, filtros de goteo, o contactores biológicos rotatorios. Para escoger un sistema de tratamiento aeróbico, deben tomarse en cuenta los requerimientos del efluente (estándares de descarga), del sistema de pretratamiento, la disponibilidad del terreno y consideraciones económicas.
- Disposición del Exceso de Lodos
El exceso de lodos resultante del tratamiento a los efluentes puede ser tratado junto con el estiércol de los corrales.

La elección de un sistema de tratamiento adecuado dependerá además de factores como: terreno disponible, regulación ambientales locales relativas al destino de las descargas (sistema de aguas servidas, pozos de infiltración o cursos de agua superficial) y la factibilidad económica de una planta de proceso.

b) Emisiones a la atmósfera

La emisión de malos olores puede ser reducida por la aplicación de una serie de medidas de manejo y mejoramiento del proceso descritas anteriormente. El tratamiento final o dilución del aire de ventilación puede ser necesario para reducir el mal olor o para cumplir las normas. La dilución adecuada se puede lograr

elevando la chimenea. Para reducir los olores de los gases de salida, se pueden utilizar varios métodos, que se reseñan a continuación:

- Lavadores de Aire

En los lavadores de aire, los malos olores son absorbidos en un líquido de lavado. Estos lavadores consisten en una torre rellena, en la cual los líquidos de lavado fluyen hacia abajo y el aire contaminado asciende. Los líquidos de lavado pueden ser reciclados y finalmente tienen que ser tratados como un efluente líquido.

- Filtro de Compósitos

En los filtros de compósitos, o biofiltros, los compuestos que dan olor son biodegradados aeróbicamente. Estos compuestos olorosos son transferidos al agua en el material del compósito y enseguida son biodegradados por microorganismos en el agua.

Otros tratamientos para descontaminación del aire son la incineración en calderas, adsorción en carbón activado y adsorción en filtros de arcillas.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Oficina de Registro Central y Estadística

CONSTANCIA DE EGRESADO

EL DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, QUE SUSCRIBE, CERTIFICA:



Que Don(ña) **IORELLA MARIEL BAQUERIZO NOLE**

con código N° **20022557B**

, es egresado(a) de la

Facultad de **INGENIERIA AMBIENTAL**

en la especialidad de:

INGENIERIA SANITARIA

habiendo concluido sus estudios universitarios en el período académico

2007-2

; cumpliendo con todos los requisitos

exigidos en el plan de Estudios de su especialidad.

Se expide la presente Constancia a solicitud del (de la) interesado (a) para los fines que considere conveniente.

Lima, 19 de Octubre del 2010

NELSON CACHO ARAUJO
Secretario General UNI



MSc. GILBERTO ALEJANDRO MENDOZA ROJAS
Decano de la Facultad



09 DIC 2010

CE-0002405

ROBERTO VILCHEZ VILCHEZ
VºBº Jefe de la ORCE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

LIMA - PERU

26 000- E



OFICINA DE REGISTRO CENTRAL Y ESTADISTICA CERTIFICADO DE ESTUDIOS DEPURADO



FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
 ESPECIALIDAD INGENIERIA SANITARIA CODIGO 20022557B
 NOMBRES FIGRELLA MARIEL AÑO DE ADMISION 2002
 APELLIDOS BAQUERIZO-NOLE PAGINA 1 DE 2

CODIGO CURSO	NOMBRE DEL CURSO	CRED.	NOTA	PER. ACAD.
NCM131A	CALCULO DIFERENCIAL-	05	11.2	022
NCM141A	CALCULO VECTORIAL I-	05	11.8	022
NCQ121A	QUIMICA GENERAL I-	06	13.7	022
NCF141A	FISICA GENERAL I-	06	15.1	023
NCF142A	FISICA GENERAL II-	06	11.2	031
NCM142C	CALCULO VECTORIAL II-	05	11.8	031
NCQ122A	QUIMICA GENERAL II-	06	11.8	031
NCF251A	ALGEBRA LINEAL-	05	13.3	032
NCM132C	CALCULO INTEGRAL-	05	12.9	032
NCM182A	COMPUTACION Y ALGORITMOS I-	02	14.8	032
SAA215E	GEOLOGIA-	03	10.1	041
SAA217E	LENGUAJE Y TECNICAS DE LA COMUNICACION-	02	12.8	041
SAA218E	SOCIOLOGIA-	02	14.3	041
SAA222E	MATEMATICA BASICA II-	03	10.7	041
SAA227F	DIBUJO-	02	11.2	041
SAA236E	COMPUTACION II-	02	16.4	041
SAA231E	MATEMATICA III-	04	18.2	043
SFI403E	FISICA III-	05	13.5	043
SAA214E	RECURSOS NATURALES-	02	13.1	051
SAA232E	BIOESTADISTICA-	04	15.9	051
SAA233E	FISICO-QUIMICA-	03	10.5	051
SAHK05E	RELACIONES HUMANAS-	02	11.0	051
SEC115E	MECANICA DEL CUERPO RIGIDO-	04	11.9	051
SEP801E	PRINCIPIOS Y PROCEDIMIENTOS CONTABLES-	03	14.3	051
SSA323E	MICROBIOLOGIA SANITARIA I-	05	10.4	051
SAHD65K	CONSTITUCION Y DERECHOS HUMANOS-	02	14.3	052
SEC121K	RESISTENCIA DE MATERIALES I-	05	12.0	052
SHH223K	MECANICA DE FLUIDOS I-	04	10.6	052
SMA074K	MATEMATICA FINANCIERA-	03	13.6	052
SSA324K	MICROBIOLOGIA SANITARIA II-	03	10.6	052
SSA333K	EPIDEMIOLOGIA-	03	12.9	052
SSA413K	ANALISIS DE AGUA Y DESAGUE-	06	13.7	052
SHH113E	HIDROLOGIA GENERAL-	03	12.6	053
SHH224E	MECANICA DE FLUIDOS II-	04	17.4	053
SAA226F	TEORIA ECONOMICA-	04	12.9	061
SAHD23E	LEGISLACION-	02	14.2	061
SAHD85E	INFORMES TECNICOS-	02	15.5	061
SEC611E	TECNOLOGIA DE LOS MATERIALES-	04	14.5	061
SSA115E	SANEAMIENTO AMBIENTAL I-	04	13.1	061
SSA225E	APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRANEAS I-	03	12.5	061
SSA425E	PROCESOS UNITARIOS EN INGENIERIA SANITARIA-	04	15.5	061
SSA467E	MANEJO Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS-	03	14.2	061
SEC122K	RESISTENCIA DE MATERIALES II-	05	11.5	062
SEC717K	PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION-	04	11.2	062
SEE342K	INSTALACIONES ELECTRICAS INTERIORES-	03	13.4	062

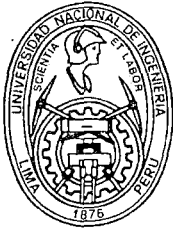
CONTINUA

L. Guano
 SECRETARIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 MAYO 2008

[Signature]
 DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL

SECRETARIA GENERAL
 28 DE ABRIL DEL 2008

B-17307



OFICINA DE REGISTRO CENTRAL Y ESTADISTICA CERTIFICADO DE ESTUDIOS DEPURADO



INGENIERIA AMBIENTAL
 FACULTAD DE _____
 ESPECIALIDAD INGENIERIA SANITARIA CODIGO 20022557B
 NOMBRES FIORELLA MARIEL AÑO DE ADMISION 2002
 APELLIDOS BAQUERIZO-NOLE PAGINA 2 DE 2

CODIGO CURSO	NOMBRE DEL CURSO	CRED.	NOTA	PER. ACAD.
VIENE				
SSA125K	SANEAMIENTO AMBIENTAL II-	04	16.0	062
SSA215K	ABASTECIMIENTO DE AGUA I-	04	13.4	062
SSA226K	APROVECHAMIENTO DE AGUA SUBTERRANEA II-	03	15.0	062
SSA312K	ECOLOGIA-	02	11.2	062
SSA526K	MAQUINAS Y EQUIPOS SANITARIOS-	03	12.0	062
SEC311E	CONCRETO ARMADO I-	05	16.0	063
SSA216E	ABASTECIMIENTO DE AGUA II-	04	13.9	063
SAS870E	ADMINISTRACION GENERAL-	03	12.5	071
SEC211E	ANALISIS ESTRUCTURAL I-	05	15.1	071
SHH501E	METEOROLOGIA-	02	11.7	071
SPA425E	DISEÑO Y EVALUACION DE PROYECTOS-	04	15.3	071
SSA245E	ALCANTARILLADO Y DRENAJE PLUVIAL-	04	10.2	071
SSA275E	OPERACIONES, MANTENIMIENTO Y GERENCIA DE PROYECT	04	12.9	071
SSA445E	TRATAMIENTO DE AGUA I-	04	14.1	071
SAA235L	TOPOGRAFIA-	04	15.3	072
SAS920K	APROVECHAMIENTO DE RECURSOS HIDRICOS-	04	13.0	072
SSA235K	ANALISIS DE REDES Y FUENTES DE AGUA-	03	15.5	072
SSA446K	TRATAMIENTO DE AGUA II-	04	11.5	072
SSA465K	TRATAMIENTO DE DESAGUES-	04	10.9	072
SSA515K	INSTALACIONES INTERIORES DE AGUA Y DESAGUE-	04	10.6	072
SSA921K	EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL-	03	12.8	072
SXP100	PRACTICAS PRE-PROFESIONALES I-	01	---	072

SITUACION DEL ALUMNO : EGRESADO

Un crédito es equivalente a una hora semanal de clase teórica o a dos horas semanales de clase práctica.

Los asteriscos (*) invalidan definitivamente el contenido del presente certificado.

L. Cuzña



28 DE ABRIL DEL 2008

SECRETARIO DE LA UNIVERSIDAD
28 DE ABRIL DEL 2008

LIMA,

[Signature]
DECANO DE LA FACULTAD

B-17308

REPUBLICA DEL PERU
A NOMBRE DE LA NACION
EL RECTOR DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

POR CUANTO:
EL CONSEJO UNIVERSITARIO, VISTO QUE HAN SIDO CUMPLIDOS
LOS REQUISITOS ESTABLECIDOS EN LA FACULTAD DE
INGENIERIA AMBIENTAL,

HA OTORGADO CON FECHA 02 DE JULIO DEL 2008
EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCION EN:
INGENIERIA SANITARIA

A DOÑA

ELLA MARIEL BAQUERIZO NOLE

PORTANTO:
EXPIDE EL PRESENTE DIPLOMA PARA QUE SE LE RECONOZCA COMO TAL
DADO EN LIMA A 10 DE JULIO DEL 2008

L. Guana P

Secretario General

J. Torres

Decano de la Facultad

Reetto

Rector de la Universidad

REGISTRADO A FOJAS 124 DEL TOMO 10 RESPECTIVO

FEDATARIO
Ley N° 27122 para el ejercicio de la profesión de fedatario
Cada copia fiel del original que se le otorga es válida
08 JUL. 2011
Reynaldo Rodríguez Abanto
SOLO PARA TRAMITE INTERNO
FEDATARIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Oficina de Registro Central y Estadística

CONSTANCIA DE NO ADEUDOS

Por el presente Certificado se deja constancia que Don(ña):

BAQUERIZO NOLE FIORELLA MARIEL

Código UNI : 20022557B
Facultad : INGENIERÍA AMBIENTAL
Especialidad : INGENIERÍA SANITARIA
Periodo de egreso : 2007-2

No tiene deudas económicas, ni materiales con la Universidad Nacional de Ingeniería a la fecha. Certifican :



MSc. Gilberto Alejandro MENDOZA ROJAS
Decano
Facultad de Ingeniería Ambiental



Ing. Mary APOLAYA ARNAO
Jefe
Oficina Central de Biblioteca



Ing. Tito Roberto VILCHEZ VILCHEZ
Jefe
Oficina de Registro Central y Estadística

Por lo que él (la) solicitante se encuentra apto(a), desde el punto de vista económico, para optar el grado académico o título que solicita.

Lima, 10 de Agosto del 2011

||||| H-00000623



ACTA DE SUSTENTACION DE LA TESIS
PARA TITULACION PROFESIONAL

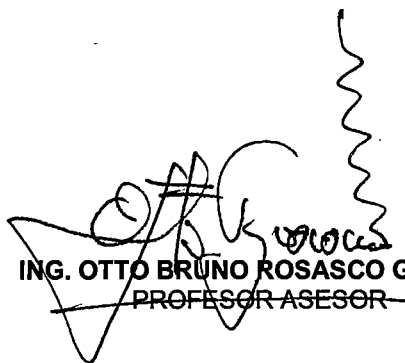
Siendo las 14 horas, en la Sala de Grados Facultad de Ingeniería, los suscritos profesores de la Facultad de Ingeniería Ambiental, convocados como Miembros del Jurado Calificador de la tesis titulada: "**COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UN MATADERO**", presentada y sustentada por la señorita bachiller:

BAQUERIZO NOLE FIORELLA MARIEL COD.20022557B PROM.2007-2

para optar el Título Profesional de **INGENIERO SANITARIO**

Luego de realizada la sustentación, absueltas las observaciones y habiendo la graduanda cumplido con todos los requisitos establecidos, el Jurado acordó calificarle con la nota DIECISIETE (17) Aprobado con DISTINCIÓN y, por lo tanto, acuerda recomendar al Consejo Universitario les otorgue el título de **Ingeniero Sanitario** en mérito a lo cual se suscribe para su constancia la presente acta de sustentación.

Lima, 29 de Setiembre de 2011


ING. OTTO BRUNO ROSASCO GERKES
PROFESOR ASESOR


MSc. VICTOR ANTONIO MALDONADO YACTAYO
PROFESOR ESPECIALISTA


ING. ROGER EDMUNDO SALAZAR GAVELAN
PRESIDENTE