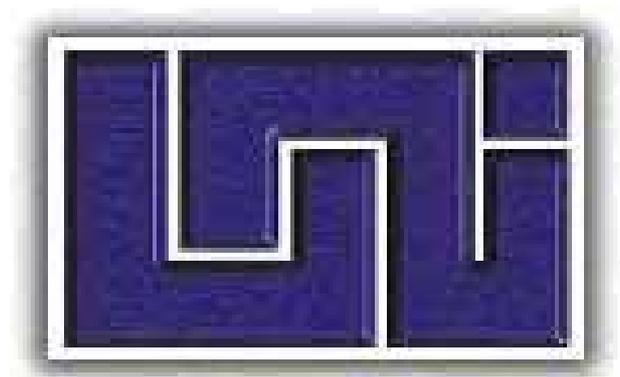


**Mon**  
**628.44564**  
**R696**  
**2007**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**APLICACIÓN DE UN LIXIMETRO COMO ELEMENTO PREDICTIVO DEL  
RELLENO SANITARIO MANUAL DEL MUNICIPIO DE MATEARE**

**TRABAJO DE DIPLOMADO PRESENTADO POR:**

Eloísa Deyanira Rodríguez Ramírez  
Tania Martha Larios Castro

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**TUTOR**

MSc. Ing. Edouard Jacotin

Diciembre 2003  
Managua, Nicaragua

## TABLA DE CONTENIDO

	<i>Contenido</i>	<i>Página</i>
	<b>Agradecimiento</b>	<b>i</b>
	<b>Dedicatoria</b>	<b>ii</b>
	<b>Resumen</b>	<b>iii</b>
<b>I</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>II</b>	<b>Objetivos</b>	<b>2</b>
<b>III</b>	<b>Marco Teórico</b>	<b>3</b>
<b>IV</b>	<b>Diseño Metodológico</b>	<b>21</b>
<b>V</b>	<b>Presentación y Discusión de Resultados</b>	<b>35</b>
<b>VI</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>60</b>
<b>VII</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>62</b>
<b>VIII</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>63</b>
<b>IX</b>	<b>Anexo A (Microlocalización)</b>	<b>64</b>
	<b>Anexo B (Tabla de Resultados)</b>	<b>65</b>
	<b>Anexo C (Métodos Análíticos)</b>	<b>70</b>

## **AGRADECIMIENTO**

**Tenemos un especial agradecimiento  
A nuestros padres por su apoyo incondicional,  
A nuestro tutor Ing. Edouard Jacotin, por sus orientaciones,  
Y al Lic. Francisco Ramírez por su  
Aprendizaje y Confianza en  
El manejo de los análisis.**

**Al Lic. Rodolfo Jaén Serrano por ser nuestro  
compañero de trabajo**

**Al MSc. Ing. Ernesto Acevedo por asesorarnos en la redacción  
de este documento**

## RESUMEN

Aunque los principios fundamentales de un relleno sanitario son conocidos, las condiciones propias de los desechos generados en nuestro medio exige el desarrollo de estudios que permitan definir, entre otras variables, los períodos de degradación, cantidad de lixiviados y características de los mismos como DQO, DBO<sub>5</sub>, pH, sólidos, etc, con el fin de tener valores específicos para nuestro medio. En Nicaragua no existe información detallada al respecto, porque el manejo y especialmente la disposición final de los residuos sólidos, es relativamente reciente.

La mayoría de los estudios sobre producción y caracterización de lixiviados, informados en la bibliografía general, han sido llevados a cabo en los E.E.U.U, Canadá y algunos países Europeos usando tanto rellenos experimentales como simuladores. Esas pruebas fueron realizadas bajo una variedad de condiciones climáticas diferentes de aquellas que pueden encontrarse en nuestro país, por lo tanto, las conclusiones de estos estudios no pueden ser aplicables estrictamente a los lixiviados que se están generando en el Municipio de Mateare- Nicaragua.

La primera fase del proyecto consiste en la caracterización física y química de los Residuos Sólidos del Municipio, los residuos fueron recolectados en viviendas aleatorias por un período de una semana obteniendo los siguientes resultados promedios: 73.8 %de Materia orgánica, 52.92 % de Humedad, p6-6.9 de pH, Densidad suelta 269 Kg/m<sup>3</sup>,148 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ %MS y 0.48 gr NTK/ %MS.

La segunda fase del proyecto comprende el arranque y operación del Liximetro durante 196 días, tres meses en verano y tres meses de invierno, en los cuales se recopiló información sobre las características y cantidades de lixiviado producidos, al igual que la temperatura por celdas y compactación de los residuos en el liximetro.

La parte final de la investigación, comprende el análisis de la información recolectada, donde se obtuvieron rangos de DQO desde 67,912.02 a 729.00mg O<sub>2</sub>/l, para la DBO<sub>5</sub> tenemos datos de 15,619.8 a 78.00mg O<sub>2</sub>/l, altas concentraciones de sólidos como 96,169mg/l hasta 1,780mg/l de sólidos totales, dentro de los requerimientos de nutrientes se obtuvieron datos de 245.12 mg/l de NTK y de 32.08 mg/l de P, el pH del lixiviado se encontró en un rango de 7.61 a 9.74, La temperatura promedio de los residuos dentro del liximetro fue de 32.12 °C, y una turbiedad de 709.57 NTU. Inicialmente el lixiviado es químicamente agresivo, a medida que la fracción orgánica de los residuos sólidos va decreciendo él se vuelve menos agresivo, comportando como lixiviado viejo (> 5 años).

Es importante tener en cuenta que aunque los principios básicos de un relleno sanitario son conocido, las condiciones particulares de los residuos sólidos producida en nuestro medio exigen el desarrollo de investigaciones como ésta, con el fin de tener valores específicos y poder emitir conclusiones que sean aplicables a los sistemas de disposición final de los residuos sólidos a escala real en nuestro país.

## **I. INTRODUCCIÓN**

**El Relleno Sanitario (RS) es una técnica que se aplica para la disposición final de los Residuos Sólidos como una respuesta diferente a la disposición a cielo abierto o en las fuentes de agua, además es una técnica más económica y menos complicada para manejo de los Residuos Sólidos Domésticos municipales; esta técnica se ha consolidado como la práctica más utilizada no sólo en países como EEUU, Inglaterra, Francia, Alemania, Países Bajos, etc., sino en países en vías de desarrollo como México, Brasil, Argentina y Colombia.**

**En Nicaragua, esta técnica se encuentra en un proceso de evaluación como una alternativa a la disposición final de los Residuos Sólidos generados en la ciudad de Managua y como fase de operación en cuatro microsistemas manuales de tratamiento de Residuos Sólidos a nivel del municipio de Mateare, Santo Tomás, Santa Teresa, Acoyapa, y San Isidro, donde se han realizado evaluaciones que permitan optimizar los niveles de operación, mantenimiento, así como el control de gases y líquidos percolados (lixiviados). La Alcaldía de Mateare con la cooperación del Proyecto " Fortalecimientos de los Municipios y Mejoramiento de los Servicios Municipales dio apertura a la aplicación del Relleno Sanitario Semi-Manual de Mateare ubicado a 3 Km de la ciudad, sobre la carretera nueva a León., estando a sotavento de la población, y donde la vivienda más cercana se encuentra a unos 800 mts del Relleno.**

**Anteriormente en la localidad de Mateare se disponían los Residuos Sólidos generados por la población en un sitio que, por una parte, cumplía con los requisitos sanitarios de ubicación, pero por otra, la disposición final se realizaba por el método de Vertimiento a Cielo Abierto, originando enfermedades de transmisión vectorial.**

**El mayor problema ambiental creado por la disposición final de los Residuos Sólidos en Rellenos Sanitarios está asociada con la contaminación de las aguas superficiales, subterráneas y el suelo, ocasionado por los lixiviados que se producen. La composición y volumen de estos lixiviados son difíciles de predecir, por las variaciones que día a día se presentan en los Residuos Sólidos, por los fenómenos ambientales e hidrológicos propios de cada sitio donde quedan ubicados los rellenos sanitarios y por las diferentes modalidades de operación y construcción.**

**Sobre la base de esta problemática, se han diseñado y estudiado un simulador de rellenos sanitarios (Lixímetro) para poder predecir la carga contaminante que se infiltra a las aguas subterráneas. Se construyó un Lixímetro, el cual fue ubicado en una de las trincheras sin operación del Relleno Sanitario de Mateare. Previo a esto se determinaron los parámetros físicos - químicos del lixiviado fresco producido por los Residuos Sólidos compactados en una caja especial de 1 m<sup>3</sup>. Posteriormente, se realizó la caracterización y selección de las muestras de Residuos Sólidos, continuando con la colocación y distribución de los Residuos Sólidos y del material de cobertura en el Lixímetro. Finalizando la fase experimental con la producción y composición físicoquímica del lixiviado producido. El resultado obtenido servirá para proponer alternativas de tratamiento del lixiviado sobre la base del grado de contaminación que este tenga sobre el medio y la salud.**

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

**Evaluación de un Lixímetro como un simulador de un Relleno Sanitario para evaluar las características físico - químicas del lixiviado que se produce por biodegradación de los Residuos Sólidos domésticos generados en el Municipio de Mateare.**

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- **Conocer la composición orgánica y cantidad de nutrientes contenidos en los Residuos alimentados al Lixímetro, a través de la caracterización físico - química de los Residuos Sólidos domésticos del Municipio.**
- **Investigar la influencia de la composición de los Residuos Sólidos contenidos en el Lixímetro sobre las características físico – química del lixiviado producido.**
- **Estudiar el comportamiento de la biodegradación de los Residuos en el Lixímetro con respecto al tiempo y la temperatura en el Lixímetro.**
- **Evaluar las características físico - química del lixiviado producido.**

### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Trabajos experimentales con Lixímetros

Los trabajos experimentales sobre lixiviados han sido hechos para determinar su volumen, su variación en la producción, identificar los tipos y concentraciones de contaminantes presentes en el percolado y observar la relación entre el clima, tiempo, lugar del relleno, producción de lixiviado, generación de gas, temperatura y estabilización del relleno.

Varios estudios experimentales han utilizado columnas de laboratorio de diferentes medidas; la metodología utilizada en estos estudios ha sido similar, es decir, siempre se trata de una aproximación entrada - salida típica, en donde las entradas (precipitación) son controladas o medidas, y las salidas líquidas y gaseosas han sido determinadas y analizadas.

A pesar de que se ha determinado la composición del desecho en varios estados de estabilización del relleno, pocos datos han sido reportados acerca de las condiciones en el interior de los rellenos sanitarios experimentales, excepto la composición del gas y la temperatura en el interior de los mismos.

La generación del lixiviado en rellenos sanitarios fue informada por muchos especialistas con relación a pruebas en lixímetros (Rovers, F.A y Farquhar, Collins, Hans Jorge and Spillmann, Peter, Bookter, Todd and Ham, Robert), y en diferentes sitios de relleno a escala real (Chen, K. Y. y Bowerman, F.B, Caffrey, R. P y Ham, Qasim, S.R. y Burhinal, J.C) trabajando con rellenos a escala piloto, operando tres columnas de varias alturas, llegaron a la conclusión de que aún cuando los rellenos de mayor profundidad producían lixiviados con altas concentraciones de DBO, amoníaco, nitrógeno orgánico, cloruro, hierro, sodio, maganeso y otros contaminantes, la concentración de estos en tales líquidos por unidad de profundidad de relleno disminuía a medida que aumentaba la profundidad del relleno.

Los incrementos en la profundidad del residuo permite al percolado aproximarse a su límite de solubilidad, por medio de eso se reduce su potencial, lixivante para las profundidades más bajas del residuo. De esta manera, para el límite de solubilidad, las profundidades incrementadas resultan en un percolado más fuerte mientras se incrementa el tiempo de contacto entre la fase sólida y líquida. Esto puede incrementar la fuerza del lixiviado pero también incrementa el tiempo para la estabilización del residuo.

Estos estudios y los de Chian y Dewalle (1977), demostraron que las concentraciones de sustancias orgánicas (carbono orgánico total, DQO y DBO<sub>5</sub>), y la relación DBO<sub>5</sub>/DQO, son generalmente mas altas durante las etapas activas de descomposición y decrecen gradualmente a medida que el relleno se estabiliza.

Sin embargo, la posible disminución de la relación DQO/COT, a medida que aumenta la edad del relleno, anotada por estos últimos autores mencionados, no es sostenida por dichos resultados; esto se debe probablemente a que la velocidad de estabilización depende del movimiento del agua a través del relleno, el que a su vez, está influenciado por la infiltración, no hallándose entonces la estabilización necesariamente relacionada con la edad cronológica.

Mediante grandes lixímetros de cemento (Eifert y Swartzbaugh), se investigaron los efectos que tenía el procesamiento de la Residuos Sólidos, previo a su emplazamiento sobre la producción y composición subsecuente del lixiviado. Sus resultados mostraron tendencia ampliamente similares para un rango de constituyentes (ejemplo: COT, Sólidos Totales y Hierro) para celdas de prueba conteniendo Residuos Sólidos entera, compactada y desmenuzada, durante un período de dos años. Sin embargo, durante este período la celda conteniendo los desechos desmenuzados liberó una masa total de DQO, COT y Sólidos Totales aproximadamente dos veces mayor que aquella de cualquiera de las otras celdas.

Se ha investigado (Chian y Dewalle), que en rellenos sanitarios las siguientes relaciones, comparando cuantitativamente la edad del relleno:

- $DBO_5/DQO$
- $DQO_{(S)}/DQO_{(T)}$
- Sólidos Volátiles / Sólidos Fijos.

Se advierten un decrecimiento en la concentración de lixiviados orgánico e inorgánico con el tiempo y encontraron que los rellenos sanitarios jóvenes presentaban altas concentraciones de los parámetros estudiados, al tiempo que la utilización y dilución de organismos microbianos reducen la concentración del lixiviado en los rellenos sanitarios viejos. Sin embargo, normalmente dentro de los primeros años siguientes a la clausura del relleno sanitario, la etapa anaeróbica comienza a dominar hasta que toda la materia orgánica remanente disponible ha sido descompuesta.

Con los años el Relleno Sanitario, la velocidad de producción de gas decrece con el tiempo, aunque pequeñas cantidades de metano continúan produciéndose después de una década de clausura. Por consiguiente una gran cantidad de estudios se pueden realizar acerca del estatus del Relleno Sanitario por monitores de gas y el lixiviado. En el acápite 3.6 se describe de forma mas detallada la relación edad – característica del lixiviado.

El flujo y la concentración del lixiviado son irregulares y estacionales, dependiendo de la lluvia y la evaporación, pudiendo el flujo de lixiviado cesar durante los meses de verano. Algunos investigadores (Robes, F. A. y Fragar, G. 1972) concluyeron que las velocidades reales de descomposición pueden ser solamente alcanzadas en celdas de pruebas abiertas a las condiciones naturales, o donde tales condiciones puedan ser simuladas correctamente, ya que la adición de agua a altas velocidades a celdas de Residuos Sólidos simuladas para reducir la duración de los experimentos, puede crear condiciones no naturales y llevar a conclusiones incorrectas acerca del comportamiento del relleno, ya que las altas velocidades del flujo pueden afectar la actividad microbiana y hacer decrecer entonces el valor del pH del lixiviado, obteniéndose como resultado altas velocidades de lixiviación de materiales a través de la Residuos Sólidos, que no son reales. Para altos rangos de flujo, los organismos solubles y hasta las células microbianas podrían ser escurridos del residuo. En tales casos, la actividad microbiana aparece para jugar un menor rol en la determinación de la calidad del lixiviado.

En estudios relativamente recientes (Chian y Dewalle), han usado membranas de ultra filtración, cromatografía de penetración a través de los poros de un gel y análisis orgánicos específicos para tratar de separar y determinar las clases principales de sustancias orgánicas solubles presentes en la muestra de lixiviado. Estos autores llegaron a la conclusión de que el lixiviado de rellenos de Residuos Sólidos doméstica podría ser caracterizados por la distribución de tres grupos de compuestos orgánicos: ácidos grasos de bajo peso molecular, sustancias tipo fúlvico de peso molecular intermedio y finalmente húmico o sustancias tipo carbohidratos de alto peso molecular; todos estos compuestos ordenados en forma de una estabilidad creciente con respecto a la biodegradación. Los análisis de muestras de lixiviados recolectados por estos autores en rellenos mas estabilizados confirmaron una disminución general en los ácidos grasos volátiles con el tiempo, y el fraccionamiento por membranas, demostró que la mayoría del material orgánico se encontraba presente como moléculas refractarias semejantes al fúlvico.

### **3.2 Principios de Descomposición de los Residuos Sólidos en el Sitio de Disposición Final.**

Los depósitos de los Desechos Sólidos dispuestos en un Liximetro como simulador de un relleno sanitario se descomponen por una combinación de procesos químicos, físicos y biológicos. La descomposición resulta en productos sólidos, líquidos y gaseosos, todos estos dependen del manejo total del relleno. La actuación de los procesos biológicos sobre los materiales orgánicos de los Desechos Sólidos comienza tan pronto los Desechos Sólidos son colocados. Sin embargo, la interdependencia entre los tres procesos requieren que los procesos físico-químicos deban ser considerados a lo largo del proceso biológico. Por ejemplo, los procesos físicos y químicos influyen en la disponibilidad de los nutrientes esenciales para la acción biológica.

La descomposición física de los Desechos Sólidos resulta de la ruptura y movimiento de los componentes de la Desechos Sólidos, efecto del sol en las capas superficiales, por la acción de enjuague, abundante movimiento de agua, la capacidad de campo,. El flujo de desalojo en las partículas de Residuos Sólidos ocurre tanto por el gradiente de presión y la difusión como el gradiente de concentración. Como el nivel de humedad de la Residuos Sólidos se incrementa, adicionalmente las partículas de Residuos Sólidos son desalojadas.

Los procesos químicos que resultan de la descomposición de los Desechos Sólidos incluyen la hidrólisis, disolución/precipitación, adsorción/desorción e intercambio iónico de los componentes de los Desechos Sólidos. La descomposición química generalmente resulta en alterar las características y remoción de los componentes de los Desechos Sólidos, por eso aumenta la velocidad a la cual el relleno llega a convertirse químicamente más uniforme.

La descomposición biológica ocurre con bacterias nativas presentes. Este es un proceso complejo dentro del lecho del relleno que consiste de varios procesos biológicos mediante etapas secuenciales y paralelos por el cual los Residuos Sólidos es descompuesta a varios productos finales.

Una vez que los residuos domésticos son ubicados en el lixímetro, éstos sufren diversos cambios bioquímicos. Los compuestos carbonáceos presentes en los residuos se descomponen mediante un proceso complejo que ocurre por una serie de caminos paralelos secuenciales y según las condiciones del medio como temperatura, humedad, pH del sector que rodea a los Residuos Sólidos, presencia de oxígeno, composición inicial de los desechos (en especial su porción orgánica), la “historia” del relleno que le permite acceder a nutrientes y tener ciertos organismos presentes; también influye en este proceso el material de cobertura y el grado de compactación.

Los factores de humedad, temperatura, pH en el sitio de disposición final de los Desechos Sólidos, influyen directamente en la velocidad de biodegradación de los residuos; contando con estas condiciones ambientales se ha encontrado que para temperaturas entre 30<sup>0</sup> y 40<sup>0</sup>C y contenido de humedad del 50% o mayor, la velocidad de biodegradación es máxima. Estas reacciones de descomposición se producirán a lo largo de un período cuya duración dependerá, además de los factores antes mencionados, de la concentración de materia remanente posible de sufrir descomposición, ya que las condiciones cambian a medida que los residuos se estabilizan, teniéndose como resultado una disminución de la proporción de compuestos orgánicos que son fácilmente biodegradables.

### **3.3 El Lixímetro , como un reactor bioquímico**

Como resultado de la combinación de los procesos referidos anteriormente, el lixímetro se comportan como un reactor bioquímico, similar a un digestor anaerobio de una planta de tratamiento de aguas residuales. Por supuesto, hay potencialmente limitaciones importantes sobre el grado en que el contenido del lixímetro es homogenizado, así como el control de sus parámetros (pH, alcalinidad, nutrientes, etc.) para su operación.

La descomposición biológica se da en tres etapas, cada una de las cuales esta con los requerimientos propios de sustrato y medio ambiente como resultado de las características del producto final.

#### **3.3.1 Descomposición Aeróbica**

La descomposición aeróbica requiere la presencia de oxígeno y ocurre desde el momento en que los Desechos Sólidos son colocados en el Relleno Sanitario, hasta el momento en que el oxígeno está disponible todavía. La descomposición aeróbica puede seguir ocurriendo tan bien por encima y justamente debajo de la superficie de llenado.

A causa de la cantidad finita de oxígeno disponible atrapado dentro de los Desechos Sólidos y las limitaciones de transporte que ocurren dentro del espacio ocupado, la descomposición aeróbica es responsable de la biodegradación de una pequeña porción de la materia orgánica.

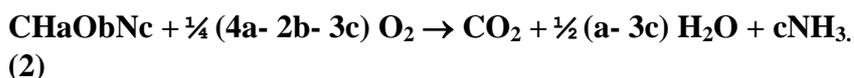
Dentro de esta primera los microorganismos aeróbicos degradan el material orgánico a CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, residuos orgánicos parcialmente degradados y un calor

disponible. La descomposición aeróbica es característicamente rápida, referente a la subsiguiente descomposición anaeróbica y la demanda de oxígeno de estos Desechos Sólidos es alta.

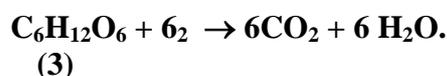
Una reacción general para esta descomposición es:



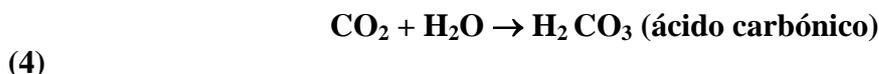
Un ejemplo de la descomposición aeróbica de un constituyente general  $\text{CHaObNc}$  es:



Para los carbohidratos la reacción será:



Los microorganismos aeróbicos producen niveles de  $\text{CO}_2$  tan alto a un 90% y la temperatura asciende hasta  $70^\circ \text{C}$ . El elevado  $\text{CO}_2$  produce la formación de ácido carbónico en la Residuos Sólidos de esta manera resultan niveles de pH ácidos en el lixiviado.



El periodo de descomposición aeróbica es de corta duración debido a la cantidad viable de oxígeno dentro de la basura.

### 3.3.2 Descomposición Anaeróbica - Fase de Hidrólisis y Fase Ácida.

La hidrólisis es una etapa indispensable, dado que los microorganismos encargados de realizar el proceso de biodegradación solo son capaces de actuar sobre materia orgánica disuelta. La hidrólisis se produce por actuación de enzimas extracelulares. **\*\*Esta etapa es limitante, hay que considerar que la velocidad de producción del biogás es proporcional a la velocidad de solubilización de la materia orgánica.\*\***

Las bacterias acidificantes transforman la materia orgánica disuelta, (ácidos grasos de cadena larga, aminoácidos, azúcares), en  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  y ácidos grasos volátiles. Las bacterias implicadas son las facultativas.

La fermentación ácida prevalece con la existencia de un producto final característico, con altos niveles de  $\text{CO}_2$ , materia orgánica parcialmente degradable (especialmente ácidos orgánicos) y poco calor, como es descrito en la siguiente ecuación:



La producción de CO<sub>2</sub> (presión parcialmente alta) y la gran cantidad de ácidos orgánicos producen un lixiviado con un pH bajo en el rango de 5.5 - 6.5 (los cuales causan el retorno de la disolución de otros ácidos orgánicos e inorgánicos). El resultado es un lixiviado químicamente agresivo con alta conductividad específica.

Por lo tanto y debido al crecimiento más rápido de las bacterias facultativas, originado en la fase fermentativa - ácida, la cual puede durar entre 3 a 7 años (Hartman et al 1990), dependiendo de la forma y factores ambientales que predominen en la disposición, los lixiviados muestran concentraciones muy altas de DQO y DBO<sub>5</sub>, durante este período la relación DBO<sub>5</sub>/DQO es aproximadamente 0.6 y alrededor del 90% de la DBO<sub>5</sub> es causada por ácidos grasos volátiles (AGV)(Harmsen 1983), significando esto que la biodegradabilidad del lixiviado durante este período es alta.

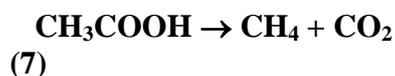
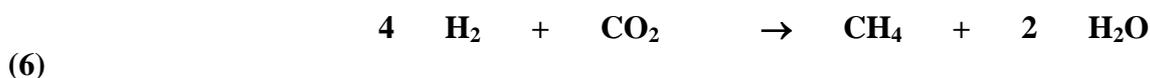
### 3.3.3 Fase Acetogénica:

Las moléculas orgánicas de pequeño tamaño, sobre todo los ácidos grasos volátiles, son convertidos en ácido acético e hidrógeno, mediante la oxidación de productos intermedios (ácido propiónico, ácido butírico). Las bacterias encargadas de esta conversión son las acetogénicas.

### 3.3.4 Descomposición Anaeróbica (Metanogénesis)

El tiempo requerido para que la etapa metanogénica empiece puede ser de seis meses a varios años después de la disposición final. El período de tiempo más corto es asociado con situaciones de más alto contenido de agua y velocidad de flujo. Esto es notable, sin embargo, esta inestabilidad en el sistema o variación rápida en el movimiento de agua puede inhibir las bacterias metanogénicas.

Es la única fase estrictamente anaeróbica y en ella las bacterias metanogénicas utilizan los productos de la fase acetogénica (hidrógeno y ácido acético) para la obtención de metano. Las reacciones que se verifican son las siguientes:



Tanto la cinética del proceso, como la velocidad de reacción de formación de nuevas bacterias es baja.

La bacteria productora de metano que funciona en la etapa metanogénica obtiene energía a partir de dos reacciones:

- 1- La reducción de CO<sub>2</sub> a través de la adición de H<sub>2</sub> para formar metano y agua.
- 2- La división del ácido acético en metano y CO<sub>2</sub>. Aunque la energía es capturada por los microorganismos en esta etapa, muy poca síntesis del material ocurre en la celda. ( M<sup>c</sup> Carty ,1963 ).

Los gases  $N_2$  y  $H_2S$  pueden también ser producidos en la descomposición anaeróbica. El  $N_2$  es producido por el proceso de desnitrificación en el cual el ión nitrato es reducido. El  $H_2S$  es producido por organismos sulfato - reductores.

El pH óptimo para las bacterias metanogénicas está en el rango de 6.7 - 7.5, sin embargo aún hay algunas actividades en el rango de 5.9 - 9.0. Las mejores condiciones de temperatura están en el rango de 30 - 35 ° C para bacterias mesofílicas, y alrededor de 45 ° C para bacterias termofílicas. La temperatura del relleno sanitario determina que clase de bacterias (mesofílicas o termofílicas) están actuando. La mayoría de rellenos sanitarios operan en el rango *mesofílico*. Hay una significativa disminución en la actividad metanogénica a temperatura debajo de 10 - 15°C. La mejor relación C/ N para las bacterias metanogénicas es 16:1, más agua presente, las altas concentraciones de ácidos orgánicos, y la presencia de cualquier material tóxico interferirá dramáticamente con las bacterias metanogénicas.

Durante la fase metanogénica, el lixiviado característico tiende a un pH casi neutro, bajo contenido de ácidos grasos volátiles y bajo sólidos disueltos totales. Una pequeña porción orgánica de los Desechos Sólidos, que son un tipo de compuestos aromáticos ligados, se degradan anaerobicamente de forma lenta.

La etapa metanogénica no señala el final de la hidrólisis y la fermentación que ocurre en la etapa acetogénica. Estas etapas continúan, pero la población de bacterias metanogénicas crece a un nivel en el cual el rango bacterial de consumo del producto final de la etapa acética se aproxima al rango de producción.

El incremento de las bacterias metanogénicas, afectan negativa y progresivamente la producción de AGV después de un período de 7 a 9 años alcanza un estado estable, denominada fase metanogénica. La contaminación orgánica del lixiviado disminuye rápidamente la  $DBO_5$  a valores más bajos que 500 mg/l y la relación  $DBO_5/DQO$  se acerca a 0.1 o aún más bajo.

Contrario a la disminución de la contaminación orgánica del lixiviado, las concentraciones de amonio aumenta rápidamente, alcanzando concentraciones 500 - 150 mg/l de  $NH_4$  en un período de 3 a 8 años y permaneciendo así por lo menos 50 años o más. (Ehrig H.J, 1988).

El proceso anterior nos lleva a pensar en el Relleno Sanitario como un gran filtro percolador o un gran bioreactor en el que ocurren procesos físicos, químicos y biológicos simultáneamente.

Entre ellos los más importantes son:

- Disminución del material orgánico putrescible aeróbica o anaeróbicamente, con producción de gases y líquidos.
- Oxidación química de materiales
- Escapes de gases del relleno y difusión lateral de gases a través de este.
- Movimiento de líquidos causados por diferenciales de presión.
- Disolución y lixiviación de gases de materiales orgánicos e inorgánicos causados por el movimiento del agua y del lixiviado a través del relleno.

- **Movimiento del material disuelto por gradientes de concentración y ósmosis.**
- **Asentamiento irregular a causa de la consolidación del material en los vacíos o huecos creados por rompimiento de material (Salvato, et al. 1971).**

### **3.4 Factores que inciden en la producción de Lixiviados**

**La cantidad y calidad de los lixiviados dependen de múltiples factores a saber:**

***Condiciones Meteorológicas del Lugar.***

**Humedad, Precipitación, Tasa de Evaporación. Régimen de Temperatura. Régimen de Vientos, Horas de Sol.**

***Condiciones Operacionales.***

**Conformación de Celdas, Cobertura de Celdas, Grado de Compactación, Características del Material de Cobertura.**

***Naturaleza de los Residuos Sólidos.***

**Tipo de Residuos Sólidos, Características de los Residuos Sólidos, Contenido de Materia Orgánica, Humedad.**

***Topografía.***

**Área de Relleno, Perfil de Terreno.**

***Otros Factores***

**Geología y Geomorfología, Calidad y Cantidad de Reciclaje, Costumbre de los Usuarios.**

**Esfuerzos históricos para entender los procesos que controlan la calidad contaminante del lixiviado y su variabilidad han enfocado generalmente los estudios de LIXIMETROS. Algunas investigaciones han caracterizado la fuerza del lixiviado proveyendo típicos rangos de concentración o relacionando la composición del lixiviado con la edad de los residuos del relleno. Otros investigadores han usado estudios de lixímetros seleccionados en un esfuerzo para controlar o eliminar varios factores externos que afectan la composición del lixiviado. En 1954 Merz construyó algunos lixímetros para examinar el proceso de degradación de los Residuos Sólidos municipales. Le siguieron numerosos estudios de lixímetros y varios experimentos de campo.**

**Estos estudios identificaron los componentes más importantes del diseño y operación del relleno que afectan significativamente la composición del lixiviado.**

#### **3.4.1 Composición de los Residuos:**

**La masa de residuos almacenados en un relleno municipal representa una fuente finita de contaminantes. La masa de contaminantes disponible para lixiviación es mayormente una función de la naturaleza físico-química de los desechos, el grado de estabilización de desecho y el volumen de infiltración dentro del relleno. Desperdicios domésticos y comerciales están compuestos de una amplia variedad de componentes pero pueden ser sorprendentemente similares en la composición total.**

En las tempranas etapas de descomposición son degradados los materiales más rápidamente metabolizados tales como azúcares, almidones, grasas y proteínas. La materia orgánica compleja remanente, tal como la celulosa, es lenta para descomponerse y podría ser obstaculizada más adelante por la falta de nutrientes. Los pesticidas y herbicidas pueden estar presentes, aunque generalmente sólo encontrados en cantidades pequeñas.

#### **3.4.2 Adición de humedad:**

El rango de adición de agua al residuo del relleno influye en la calidad del lixiviado. La disolución del soluto, la descomposición microbiana y el acarreo de partículas son todos afectados. En rangos de baja infiltración se presume que la actividad microbiana anaerobia sea un factor significativo en gobernar la fuerza orgánica del lixiviado, para altos rangos de flujo, los organismos solubles y hasta las células microbianas podrían ser escurridos del residuo. En tales casos, la actividad microbiana aparece para jugar un menor rol en la determinación de la calidad del lixiviado.

#### **3.4.3 Profundidad del residuo:**

La profundidad del residuo tiene influencia en la composición del lixiviado. Los incrementos en la profundidad del residuo permite al percolado aproximarse a su límite de solubilidad, por medio de eso se reduce su potencial, lixivante para las profundidades más bajas del residuo. De esta manera, para el límite de solubilidad, las profundidades incrementadas resultan en un percolado más fuerte mientras se incrementa el tiempo de contacto entre la fase sólida y líquida. Esto puede incrementar la fuerza del lixiviado pero también incrementa el tiempo para la estabilización del residuo.

#### **3.4.4 Temperatura del residuo:**

La temperatura afecta el crecimiento bacteriano y la descomposición del residuo. Las bacterias operan dentro de rangos específicos de temperatura y la eficiencia óptima ocurre sobre un rango relativamente estrecho. La temperatura óptima mesofílica para metanogénesis está entre los 30 y 40 °C. La temperatura elevada también favorece la solubilidad de la mayoría de las sales y la cinética de la mayoría de las reacciones químicas manejadas.

La absorción y complejación de metales en el lixiviado son procesos importantes que influyen la atenuación de metales en trazas. En general, la complejación actúa para incrementar la solubilidad del metal. Los cloruros, amoníacos, sulfatos y sulfuros, tanto como un arreglo de compuestos orgánicos, proveen la condición ideal para la complejación de iones metálicos. Los sulfuros efectivamente compiten con la mayoría de agentes complejadores, sin embargo los metales más pesados se precipitan como sulfuros.

### **3.5 Cantidad de Lixiviados**

La descomposición química y física de los desechos sólidos dependen grandemente de la cantidad y rango del flujo de agua. Hay dos fuentes de agua en un relleno sanitario, de igual manera, en un simulador como es el Liximetro, el agua presente en los desechos sólidos cuando se llena la celda y el agua agregada o lixiviado por precipitación. El agua obtenida producto de la descomposición está en el análisis. El agua agregada se debe un número de posibles fuentes:

1. de la percolación del agua a través de la superficie del relleno.
2. del flujo horizontal proveniente de los lados (periféricos)
3. del flujo ascendente a través del fondo del relleno.

Las cantidades de agua que percolan dentro del relleno son una función del balance de Agua en la superficie del relleno. El destino de la precipitación incidental en el Balance Hídrico puede consistir en lo siguiente: formación de la cantidad superficial, evaporación directamente a la atmósfera, transpiración de la vegetación, o infiltración a la capa de cobertura y a los residuos del relleno. El agua que se infiltra en la subsuperficie podría ser mantenida por suelos superficiales para evaporación y transpiración. Dependiendo de la acción de la capilaridad, el agua mantenida en estos suelos puede fluir a través de las raíces de las plantas hacia la superficie durante períodos secos, o se pueden infiltrar a través de los residuos para convertirse en percolado y, al final lixiviado.

Para el caso del liximetro los flujos horizontales o escorrentía superficial no se presentan, sin embargo, se dan los demás casos. Una vez que ocurre la percolación, afecta las cantidades del lixiviado, pero el tiempo de recorrido es difícil de estimar. En la realidad un relleno no es homogéneo, tampoco lo es un liximetro, hay objetos que absorben humedad rápidamente tal como el papel, tanto como hay objetos que no o hacen, como metales, vidrio, y plástico. Además hay huecos o canales por donde el agua puede fluir delante del frente húmedo.

### **3.6 Características de los lixiviados en función de la edad del Relleno Sanitario**

Las concentraciones de las diferentes variables que caracterizan el lixiviado varía considerablemente día a día y de un lugar a otro. Por esta razón, es más benéfico usar relaciones de diferentes parámetros en lugar de valores absolutos.

Con bases a las relaciones entre propiedades químicas tales como DQO/COT, DBO/DQO SV/SF, se puede asociar la composición de la materia orgánica del lixiviado y su relación con la edad del relleno (Chian y Dewalle, 1976). Para el caso de un relleno sanitario específico la relación DQO/COT varía con el tiempo, tendiendo a decrecer con la edad del mismo, esta relación es tan alta como 4 y tan baja 1.3:1 para compuestos orgánicos que contengan grupos carboxílicos (Simense y Odegard, 1971 y Chian et al, 1974). Un decrecimiento en esta relación para una muestra de lixiviado representa un estado de mayor oxidación del carbón orgánico, el cual llega a ser rápidamente menos disponible como fuente de energía para el crecimiento bacterial. Estos orgánicos son generalmente producto de la degradación microbial y se incrementa con el aumento de la edad del relleno sanitario, de esta forma, el lixiviado resultante puede ser menos tratable por métodos biológicos.

Otro factor que se debe tener en cuenta es el incremento en la relación de DQO/DBO que se refleja en el cambio gradual de la composición de la materia orgánica media como DBO o como AGV. Dado que la DBO es una prueba predominantemente biológica, ésta generalmente refleja la biodegradabilidad de la materia orgánica del lixiviado, y por lo tanto, por si misma es una medida directa de la tratabilidad de los lixiviados por procesos biológicos. Por lo anterior la relación DBO/DQO muestra un decrecimiento cuando la edad del relleno aumenta (Miller et al, 1974), sin embargo debe recordarse que la DBO es un bioensayo y como tal está sujeta a muchas fuentes de error (dilución del lixiviado, semilla adicionada entre otras).

El análisis de orgánicos específicos ha mostrado que los AGV constituyen la principal fracción presente en el lixiviado, además estos son fácilmente biodegradable (Chian y Dewalle, 1973); por lo tanto un decrecimiento en la relación de carbono presente en los AGV como COT corrobora un decrecimiento en la relación DBO/DQO.

Debido a su naturaleza biodegradable inicial, los compuestos orgánicos decrecen más rápidamente que los inorgánicos con el aumento en la edad del relleno sanitario. El decrecimiento de los orgánicos es debido a la fermentación metano en forma anaerobia y su agotamiento por lavado. Los inorgánicos decrecen únicamente por el lavado causado por el agua de lluvia y su infiltración.

La relación de los Sólidos Totales Volátiles (SVT) respecto a los Sólidos Totales Fijos (SFT), STV/SFT decrece con la edad del relleno. Se han encontrado que esta lo hace gradualmente con valores de 2.0 para rellenos relativamente jóvenes a 0.2 - 0.25 para rellenos sanitarios viejos. Tal decrecimiento fue corroborado en las investigaciones de Qasim y Burchinal, 1970. Ellos se encontraron que la relación calculada para este parámetro decrece de 2.06 a 1.64 y de 1.88 a 1.45 durante un período de 121 días y 163 días con lixiviados obtenidos de un relleno sanitario simulado el cual tenía una profundidad de 3.5 y 2.3 m respectivamente.

El incremento del pH en el lixiviado con el tiempo refleja el descenso de la concentración de los AGV libres parcialmente ionizados. El uso potencial de esta relación es doble, puede emplearse para establecer la tendencia generalizada entre la composición del lixiviado y la edad del relleno sanitario y como un control interno de la consistencia de los resultados analíticos, la relación DQO/COT por ejemplo puede usarse para delimitar la validez de las mediciones DQO y COT. Si los resultados de los análisis dados para una determinada muestra del lixiviado en el relleno origina una relación DQO/COT mayor que el máximo valor teórico de 4.0 para los orgánicos solubles, los valores de DQO y COT son cuestionables.

### **3.7 Parámetros Físicoquímicos del Lixiviado.**

Todos los datos que se reportan a continuación son para países de clima frío como Canadá y Estados Unidos, los cuales tienen condiciones climáticas totalmente diferentes a las de Nicaragua, y en especial al municipio en estudio, que se ha caracterizado por ser un sitio con condiciones climáticas bastante secas. Los datos más cercanos a nuestras condiciones son de Colombia en un estudio realizado de un simulador de relleno sanitario de la Universidad del Valle, Calí.

Otro aspecto importante, es aclarar que el lixiviado obtenido del simulador se caracteriza como un agua residual, producto de la descomposición de los desechos y la precipitación, bajo cierta condición climática.

**pH:** Este parámetro es un indicativo de la etapa que se está desarrollando en el proceso de descomposición de los desechos. Además es un factor muy importante en el proceso anaeróbico, como se mencionó anteriormente, este en dependencia de su valor puede influir en la población microbiana del bioreactor (lixivómetro), de manera que, si se presentan fluctuaciones en el pH óptimo del proceso, la actividad de las diferentes bacterias que toman parte en el proceso, pueden ser inhibidas. Estas fluctuaciones en el pH son causadas por una producción excesiva de acetogénicos o, por una excesiva producción de  $\text{NH}_3$  en la degradación de proteínas.

Es importante señalar que el pH del lixiviado varía según la edad que tenga el relleno sanitario y la condición previa al muestreo. Por ende si se toman muestras del lixiviado durante la fase ácida de descomposición el valor del pH será bajo, se conoce que en esta fase el rango de pH oscila entre 4.5 a 7.5, por otro lado, si se toman muestras en la fase de fermentación del metano el pH se encuentra en el rango de 6.7 a 7.5. Desglosando un poco más el proceso anaeróbico encontramos que el pH óptimo para las bacterias hidrolíticas es de 7.2 a 7.4, la acidogénesis entorno a 6, la acetogénicas de 6 a 6.2 y la metanogénicas de 6.5 a 7.5. Un pH ácido incrementa la solubilidad de algunos constituyentes, disminuye la absorción, e incrementa el intercambio iónico entre el lixiviado y la materia orgánica. Un pH ácido es generalmente el resultado de una formación de ácidos orgánicos durante la etapa inicial de la descomposición anaeróbica. Estos ácidos llegan a ser el sustituto de las bacterias metanogénicas. A medida que los ácidos orgánicos empiezan a proliferar el pH debería incrementarse mientras los ácidos son convertidos a metano. Sin embargo si el pH es demasiado bajo, la metanogénesis será inhibida.

El pH del lixiviado también dependerá no solamente de la concentración de los ácidos que están presente, sino también de la presión parcial del  $\text{CO}_2$  en el gas producido por la degradación de los desechos y de la alcalinidad del lixiviado.

En lixiviados jóvenes el pH típico está entre 6 a 7 debido a la presencia de ácidos grasos volátiles. Para lixiviados obtenidos durante la fase de estabilización el pH se incrementa en el rango de 7 a 8. Este cambio ocurre como un resultado de la disminución de la materia orgánica fácilmente biodegradable y la producción de gases. (Farquhar).

**Conductividad:** es una medida de la capacidad que tiene una muestra de agua de transmitir la corriente eléctrica. Este parámetro depende de la concentración total de sustancias iónicas disueltas en el agua y la temperatura a la cual se hace la medida. En estudios de monitoreo continuo, la determinación de la conductividad puede mostrar rápidamente las variaciones de la concentración de los sólidos disueltos y contenido de minerales en el lixiviado. Ambos pueden ser elevados en el lixiviado debido a su contacto con los desechos sólidos. Es importante señalar que los desechos sólidos están sobre puestos por capas de material de cobertura dentro del lixivómetro para poder simular la operación de un relleno sanitario como objetivo de estudio, por lo tanto la materia orgánica y la fracción inorgánica del suelo no actúan independientemente o sea sin influir la una sobre la otra, existen

mezclas y uniones muy estables entre compuestos inorgánicos y orgánicos. Estas resultan de la combinación de la materia orgánica y el suelo la atracción de un catión polivalente como el  $\text{Ca}^{+2}$ . Según datos de Greenland (Suelos), más de la mitad de la materia orgánica y a veces hasta un 95%, se presenta en algunos suelos en complejos organominerales. Estos suelen ser de diferentes tamaño y, por tanto, de diferente movilidad. Los complejos pequeños son con frecuencia solubles y contribuyen a la movilidad de los componentes en el suelo. Los ácidos fúlvicos, de menor peso molecular promedio que los ácidos húmicos, son importantes en esta movilidad. Las sustancias, tanto de tipo fúlvico como húmico, forman complejos organominerales, cuya estabilidad es de gran importancia para la regulación de procesos químicos.

**Turbiedad:** Los contaminantes que causan turbiedad en el agua son las partículas en suspensión como arcilla, limo, minerales, sedimentos, materia orgánica e inorgánica dividida.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Es una medida del contenido de materia orgánica del agua, en términos de la cantidad total de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato, en medio ácido a  $\text{CO}_2$  y agua. Sin embargo, tratándose de un simulador, también depende de la descomposición físico química de la fracción orgánica e inorgánica presentes en los desechos sólidos.

Según datos promedios reportados, para la fase ácida anaeróbica de DQO es de 22,000 mg  $\text{O}_2/\text{l}$  con un rango de 6,000 a 60,000 mg  $\text{O}_2/\text{l}$  (revista del seminario de desechos sólidos), y para lixiviados jóvenes se ha encontrado una concentración de 20,000 a 40,000 (Farquahart). Para vertederos menores de dos años de arranque y operación tienen un rango de 3,000 a 60,000 mg  $\text{O}_2/\text{l}$  y un valor típico de 18,000 mg  $\text{O}_2/\text{l}$  (Schobanoglus).

**Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ):** Es usualmente definida como la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias mientras estabilizan la materia orgánica putrescible bajo condiciones aerobias. El término podría ser interpretado como significando que la materia orgánica puede servir de comida para las bacterias, y se deriva energía de su oxidación. De otra manera, la  $\text{DBO}_5$  expresa la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para la oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción bioquímica aerobia. Generalmente se expresa como  $\text{DBO}_5$  o DBO a los cinco días. La oxidación bioquímica es un proceso lento. Se estima que para un tiempo de 5 días, la oxidación de ha completado aproximadamente en un 60 a 70 %.

La  $\text{DBO}_5$  como se ha definido representa la fracción orgánica biológicamente y fácilmente biodegradable, está refleja la biodegradabilidad de la materia orgánica del lixiviado y el cambio gradual de la composición de la materia orgánica medida como DBO. La DBO es el resultado de tres tipo de materiales: (1) materiales orgánicos carbónicos, utilizables como fuente de alimentación por organismos aeróbicos; (2) nitrógeno oxidable, derivado de la presencia de nitritos, amoníaco, y en general compuestos orgánicos nitrogenados que sirven como alimentación para bacterias específicas (*Nitrosomas* y *Nitrobacter*). (3) compuestos químicos reductores (ion ferroso, sulfitos, sulfuros, que se oxidan por oxígeno disuelto). En

la primera fase de descomposición el 90% de la DBO es causada por los ácidos grasos volátiles o AGV que contribuyen la principal fracción presente en el lixiviado, además estos son fácilmente biodegradables.

Anteriormente se mencionaba que al colocar los desechos sólidos in situ se produce la descomposición biológica bajo condiciones aerobicas, porque hay cierta cantidad de aire atrapado dentro de los intersticios de los desechos, al agotarse el oxígeno resulta la terminación de la fase aerobica y la iniciación de la fase anaerobia, dentro de ésta, la fase ácida anaerobica. Aquí, grandes cantidades de materia orgánica se disuelve en el agua percolada, resultando altas concentraciones orgánicas en el lixiviado medido por altos valores de DQO y DBO, resultando lixiviados químicamente agresivos, que pueden disolver material inorgánico dentro de la basura. Se han reportado datos promedio para la fase ácida anaerobia de DBO<sub>5</sub> de 13,000 mgO<sub>2</sub>/l con un rango de 4,000 a 40,000 mg O<sub>2</sub>/l (revista del seminario de desechos sólidos), y para lixiviados jóvenes se ha encontrado una concentración de 10,000 a 20,000 mgO<sub>2</sub>/l (Farquahart). Para vertederos menores de dos años de arranque y operación tienen un rango de 2,000 a 30,000 mgO<sub>2</sub>/l y un valor típico de 10,000 mgO<sub>2</sub>/l (Schobanoglus).

Seguidamente se da la fase metanogenica donde los valores e DBO<sub>5</sub> se reducen a valores promedio de 180 mgO<sub>2</sub>/l con un rango de 20 a 550 mg O<sub>2</sub>/l (Farquahart). Para vertederos mayores de 10 años la DBO<sub>5</sub> oscila entre 100 a 200 mg O<sub>2</sub>/l (Schobanoglus).

**Biodegradabilidad:** Está varia con el tiempo. Se pueden supervisar estos cambio mediante el control de la relación DBO/DQO. Inicialmente, las relaciones estarán en el rango de 0.5 o más. Las relaciones en el rango de 0.4 a 0.6, se toman como un indicador de que la materia orgánica en los lixiviados es fácilmente biodegradable. En los vertederos antiguos, la relación DBO<sub>5</sub>/DQO está a menudo en el rango de 0.05 a 0.2. La relación cae porque los lixiviados procedentes de vertederos antiguos normalmente ácidos húmicos y fúlvicos, que no son fácilmente biodegradable. (Schobanoglus).

**Sólidos:** Los sólidos presentes en el lixiviado pueden ser de tipo orgánico y/o inorgánico y proviene de composición física y química de los desechos sólidos y del material de cobertura. Los sólidos totales representan un valor significativo de la cantidad de materia contaminante presente en el lixiviado, y sirve como un soporte para la DQO y DBO. Una aproximación de la cantidad de materia orgánica y/o inorgánica se puede determinar con los sólidos volátiles y fijos. El conocimiento de los Sólidos Disueltos nos representa una guía de la conductividad determinada, y de igual manera, los Sólidos Suspendidos nos aproxima a la turbiedad del lixiviado. De cualquier manera, es claro que la concentración de sólidos es variable dependiendo de la profundidad a la cual se tome la muestra.

La cuantificación de los sólidos en el lixiviado es una información importante en la toma de decisiones en la estrategia de tratabilidad que debe ser usada y en los procesos que debe contemplarse, son un parámetro tan importante como la DBO y la DQO y por ello es adoptado usualmente como un indicador a la hora de aplicar un tratamiento de las diferentes operaciones que lo componen.

**Nitrógeno:** este puede ingresar al relleno sanitario por varias vías, entre ellas están, arrastre de aguas lluvias a través del suelo o por la atmósfera, al reaccionar el amoníaco o el ácido nítrico por descargas eléctricas, o por el humo de las industrias, la atmósfera constituye una fuente almacenadora de nitrógeno el cual está siendo removida constantemente por la acción de descargas eléctricas. Durante las tormentas gran cantidad de nitrógeno se oxida a pentóxido de nitrógeno,  $N_2O_5$ , que al combinarse con el agua produce ácido nítrico  $HNO_3$  que es arrastrado por las lluvias hacia la tierra.

El vertimiento de desechos domésticos (heces y materia orgánica), contiene material proteico que se descompone en el relleno sanitario, las heces contienen cantidad apreciable de materia proteica no asimilable (nitrógeno orgánico, que se refiere funcionalmente al nitrógeno ligado orgánicamente en el estado de oxidación -3. Estos incluyen el nitrógeno presente en amino-ácidos, aminas, amidas, nitroderivados y urea.) que es convertida a amoníaco por la acción de bacterias saprófitas lo cual ocurre bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas, igual sucede con el nitrógeno orgánico remanente de los animales y plantas que mueren, para luego ser oxidado por bacterias autotróficas nitrificantes del grupo Nitrosoma formando nitrito ( $NO_2^-$ ) estos a su vez son oxidados a la forma de nitrato ( $NO_3^-$ ) por la acción de bacterias del grupo Nitrobacter; estos pasos requieren oxígeno, en el caso de los rellenos sanitarios esto se explica por que el lixiviado tiene alto contenido de nitrógeno amoniacal ( $N-NH_4$ ) pues su producción puede darse en condiciones aerobias o anaerobias y su paso a  $NO_2^-$  o  $NO_3^-$  es impedido por la falta de oxígeno, es decir, bajo condiciones anaeróbicas, tanto los nitratos y nitritos sufren la reacción de reducción por el proceso de desnitrificación pasando de  $NO_3^-$  a  $NO_2^-$  y de nitrito al estado de nitrógeno amoniacal y a nitrógeno gaseoso el cual escapa a la atmósfera.

La desnitrificación tiene lugar entre  $0^\circ C$  y aproximadamente  $50^\circ C$  con una temperatura óptima de  $40^\circ C$ . El valor óptimo del pH varía con los tipos de microorganismos presentes pero, en general, se favorece un pH neutro o ligeramente alcalino. La desnitrificación ocurre sobre un amplio rango de valores del pH, entre 4 y 9.5. En condiciones ácida, el óxido nítrico (NO) es uno de los principales productos, mientras que por encima de pH 7, se produce óxido nitroso ( $N_2O$ ), pero es reabsorbido o reducido a nitrógeno gaseoso.

Según datos de Shobanoglus para vertederos nuevos, menores de 2 años, el Nitrógeno Amoniacal tiene un rango de 10 a 800 mg/l de  $NH_3-N$  con un promedio de 200 mg/l, seguidamente para vertederos mayores de 10 años se reportan valores de 20 a 40 mg/l. Por otro lado, Farquarhar reporta datos de 1,000 a 2,000 mg /l de  $NH_3-N$  en lixiviados jóvenes, para lixiviados de 5 años reporta una concentración de 350mg/l de  $NH_3-N$  y de 60 mg/l de  $NH_3-N$  para lixiviados de 15 años. Para NTK se reporta datos de 1,500 mg/l para lixiviados de un año , 400 mg/l en lixiviados de 5 años y 70 mg/l en lixiviados de 15 años.

**Fosforo (P) como  $PO_4^{3-}$ :** presente en el lixiviado eventualmente puede provenir tanto de la materia orgánica presente en los desechos sólidos y de los empaques sobrantes de detergentes sintéticos y algunos fertilizantes utilizados a nivel doméstico y agrícola. Teniendo en cuenta que el fósforo es esencial para controlar los niveles requeridos para la buena marcha de los procesos biológicos, su determinación en el lixiviado es particularmente importante ya que muchos

autores han encontrado que este se encuentra en déficit y por lo tanto debe ser adicionado al desecho. Las concentraciones más altas encontradas de fosforo soluble reportadas por Robinson y Maris, 1977, fue de 0.41mg/l, y las concentraciones más bajas fueron de 0.1 mg/l. La relación de DBO:P > 7000:1 han sido encontrada para lixiviados de desechos sólidos recientes. Debido a que la relación óptima de DBO:P es de 100:1, es ampliamente recomendada para procesos de tratamiento biológicos de aguas residuales (Metcalf y Eddy, 1991), el tratamiento biológico para estos lixiviados puede ser inhibido debido a la deficiencia de fósforo.

Como fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) se ha encontrado datos de 150mg/l para lixiviados de un año, 50 MG/l para lixiviados de 5 años y para mayores de 15 años no se ha detectado. (farquarth)

**Ácidos Grasos Volátiles:** los compuestos orgánicos son caracterizados por compuestos de carbono. Se pueden clasificar en tres grandes grupos: Grupo A Ácidos Grasos, que son compuestos de bajo peso molecular, ejemplo: acético, propionico y butírico. Grupo B Ácidos Húmicos, compuestos de alto peso molecular, carbohidratos, compuestos semejantes con grupos funcionales carboxilo, aromático e hidroxilo. Grupo C Ácido Fulvico y sustancias semejantes, estas son de peso molecular intermedio.

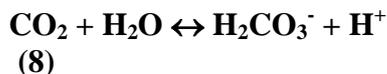
Chian y deWalle (1975), realizaron análisis a profundidad para establecer la composición de la fracción orgánica en los lixiviados. Ellos encontraron que del 20 al 70 por ciento de Carbono Orgánico Total (COT) estaba constituido por los ácidos grasos volátiles (AGV), dependiendo de la edad del relleno sanitario. El porcentaje de estos AGV disminuye cuando la edad del relleno se incrementa. El porcentaje remanente de compuestos orgánicos, estaba distribuido aproximadamente en iguales cantidades entre los grupos del ácido fulvico, ácido **tanico**, ligninas, material derivado de la celulosa, otra materia orgánica.

La concentración de AGV es regulada por las bacterias metanogénicas, las que trabajan conjuntamente con las bacterias acidogénicas, en el medio y por lo tanto controlan el pH de la fermentación. Los AGV son tóxicos para la etapa metaogénica solamente en la forma no ionizada. cuando el pH disminuye, los AGV están en forma menos disociada (tóxicos), a valores de pH entre 7-8 los ácidos orgánicos están mayoritariamente en la forma ionizada (no tóxica). A un pH de 5, los AGV están disociados en un 50% aproximadamente.

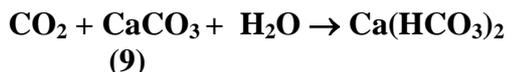
Concentraciones típicas de AGV (como ácido acético) en lixiviados jóvenes son de 9,000 a 25,000 mg/l (farquart)

**Alcalinidad:** la capacidad amortiguadora de un sistema acuoso, esa dado por la existencia en el agua de compuestos carbonatados, que impiden las fluctuaciones bruscas de pH. La alcalinidad se define como la capacidad de neutralización de un sistema hasta un determinado pH. Para efluentes de un reactor anaerobio como el lixímetro que es la etapa predominante, la concentración de iones bicarbonatos,  $\text{HCO}_3^-$ , está generalmente entre 2,000 a 50,000 mg/l  $\text{CaCO}_3$ . En un reactor anaerobico el  $\text{HCO}_3^-$  y el  $\text{CO}_2$  se constituyen en los principales reguladores del pH del sistema, ellos tienen a su cargo mantener el pH óptimo para la actividad de las bacterias metanogénicas.

En realidad es el bicarbonato que posee capacidad buffer, siendo parte del  $\text{CO}_2(\text{g})$  proveniente de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica el que se transforma en  $\text{HCO}_3^-$ , estableciéndose la siguiente secuencia de reacciones:



El ión  $\text{HCO}_3^-$  es la base conjugada del  $\text{H}_2\text{CO}_3$  que es un ácido débil. El bicarbonato además se forma en cantidades considerables por la acción del dióxido de carbono sobre los materiales básicos que están presentes en el suelo:



Otras sales de ácidos débiles, tales como boratos, silicatos y fosfatos, pueden estar presente en pequeñas cantidades; pocos ácidos orgánicos que son totalmente resistentes a la oxidación biológica, por ejemplo, el ácido húmico; forman sales que se agregan a la alcalinidad en el agua

En aguas solucionadas o anaeróbicas, las sales de los ácidos débiles como el ácido débil como el ácido acético, propionico e hidrosulfúrico pueden producir y por tanto a contribuir a la alcalinidad. En otros casos el amoníaco o los hidróxidos pueden hacer su participación en la alcalinidad total del agua.

Para suelos los valores más altos de pH 8.5 indican la presencia de carbonatos de sodio, los de pH de 8.0 a 8.5 indican con frecuencia la presencia de cal libre y la disponibilidad de fósforo, manganeso, zinc y cobre es muy baja frecuentemente.

### 3.8 Diseño del Liximetro:

Siguiendo los lineamientos de la teoría expuesta anteriormente, se diseñó un simulador de un relleno sanitario, que permitiera estudiar los fenómenos físicos y químicos que suceden después de enterrar los desechos.

En el diseño del liximetro se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- El volumen mínimo utilizado para simuladores de rellenos sanitarios es de 200 litros.
- Las formas mas recomendadas son el paralelepípedo y el cilindro.
- Los simuladores pueden estar ubicados ya sea bajo cubierta o en el exterior.
- Los sistemas deben tratar de mantenerse en condiciones anaeróbicas, sellando las uniones con materiales relativamente inerte.
- Se debe prever sistemas adecuados para mediciones de temperatura en las celdas al igual que el biogás y lixiviado generado.

## **IV. DISEÑO METODOLOGICO**

Para poder evaluar el arranque y operación del lixímetro como un simulador de un relleno sanitario fue necesario seleccionar el lugar donde se ubicaría el lixímetro en función de minimizar el tiempo de descomposición de los residuos sólidos y de las muestras de lixiviado que serían llevadas al laboratorio para su respectivos análisis, algo necesario, fue que lixímetro se ubicará en un sitio donde ya existiera un relleno sanitario, no bajo su totalidad de operación, pero si en funcionamiento, lo que fue vital para determinar la disposición de los residuos, la selección del material de cobertura dentro del lixímetro y sobre todo que tuvieran las mismas condiciones climatológicas.

Una vez seleccionado el sitio, se determinaron las variables y el período que duraría el estudio y todas las posibles fuentes de información que se pudieran obtener respecto al tema, que a continuación se describen.

### **4.1 Universo de Estudio**

#### **4.1.a-) Sitio:**

El Municipio de Mateare tiene una extensión territorial de 315 km<sup>2</sup> y sus límites geográficos son: al este con el municipio de Ciudad Sandino antes distrito N°1 de Managua, al oeste con Nagarote, departamento de León, al norte con el Lago Xolotlán y al sur con la Villa Carlos Fonseca Amador.

Mateare cuenta con un basurero Municipal, ubicado a 3 kms, al oeste del casco urbano, el cual tiene un área de 5,000m<sup>2</sup> hábiles. En el momento del estudio se encontraba en proceso de clausura. Además, se cuenta con un sistema de recolección de residuos que da cobertura al casco urbano de Mateare, los Brasiles y Alfonso González. La recolección se realiza con un tractor agrícola y su trailer de 4 mt<sup>2</sup> de capacidad, participan 3 trabajadores quienes se encargan de recoger la basura, de acuerdo a la programación de 4 recorridos diarios con el vehículo recolector. La cobertura del servicio de recolección en términos de área es de aproximadamente el 80%, parte de los barrios de la zona periférica no cuentan con este servicio.

El Relleno Sanitario está ubicado a 3 Km de la ciudad, sobre la carretera Nueva León. Ver Plano de Localización del Relleno en el anexo A. Esta a sotavento de la población, no hay peligro de contaminación de fuentes de aguas potenciales para el consumo humano, las viviendas más cercanas están a unos 800 m, terreno no inundable, buen drenaje. Existe material adecuado de cobertura para el relleno y en cantidades suficiente.

El Relleno en el momento del estudio contaba con tres trincheras, una completamente operada, otra en proceso y una totalmente vacía, la cual se ocupo para la ubicación del liximetro. En el Anexo A se muestra el plano que contiene la planta de conjunto de Relleno Sanitario con la ubicación el liximetro.

#### **4.1.b) Tiempo:**

El tiempo de ejecución del arranque y operación del lixímetro fue de 6 meses, desde marzo hasta Septiembre de 1997. Se ubicaron tres meses en período seco y tres meses en período lluvioso.

#### **4.1.c) Variables:**

##### **c.1) Variables Cuantitativas:**

Las variables cuantitativas del estudio son:

- La cantidad o volumen de lixiviado producido por el lixímetro.
- La temperatura de los residuos sólidos por celdas.
- Profundidad o altura desde el borde superior del lixímetro hasta la capa superficial de material de cobertura como una medida de la degradación de los residuos sólidos con el tiempo.
- Densidad de los Residuos Sólidos sueltos y compactados

##### **c.2) Variables Cualitativas:**

Las variables cualitativas del estudio son:

- Características Físico – química de los Residuos Sólidos del Municipio de Mateare.
- Determinación de las fuentes de carbono de los Residuos Sólidos.
- Características Físico – químicas del lixiviado producido por el lixímetro.

#### **4.2 Desarrollo Metodológico**

El sustrato alimentado al lixímetro fue de una caracterización realizada por una semana, donde diariamente después de la caracterización física se dejaba un cuarto de la torta formada para ser alimentado al lixímetro, obteniéndose al final de la semana 5 capas de residuos sólidos y 5 capas de material de cobertura, siendo la última capa la mayor espesor. Una vez introducida la capa de residuos y la de material de cobertura se procedía a la compactación con un torniquete que al final de su brazo tenía una placa que compactaba las capas.

##### **4.2.1 Fase Preliminar:**

- **Diseño y Construcción de una Caja Compactadora.**

En la Figura # 1 se presenta la caja compactadora con sus principales partes, tiene como volumen útil 1 m<sup>3</sup>, cuenta con un sistema semi mecánico de compactación, un tornillo sin fin, el cual gira sobre una placa cuadrada para ejercer presión sobre los residuos, en uno de los lados de la caja tiene un sistema de alimentación de los residuos, en la parte inferior cuenta con una placa difusora para que el lixiviado expulsado por la compactación sea recolectado por una cámara, que cuenta con una sistema tapón para la salida del lixiviado.

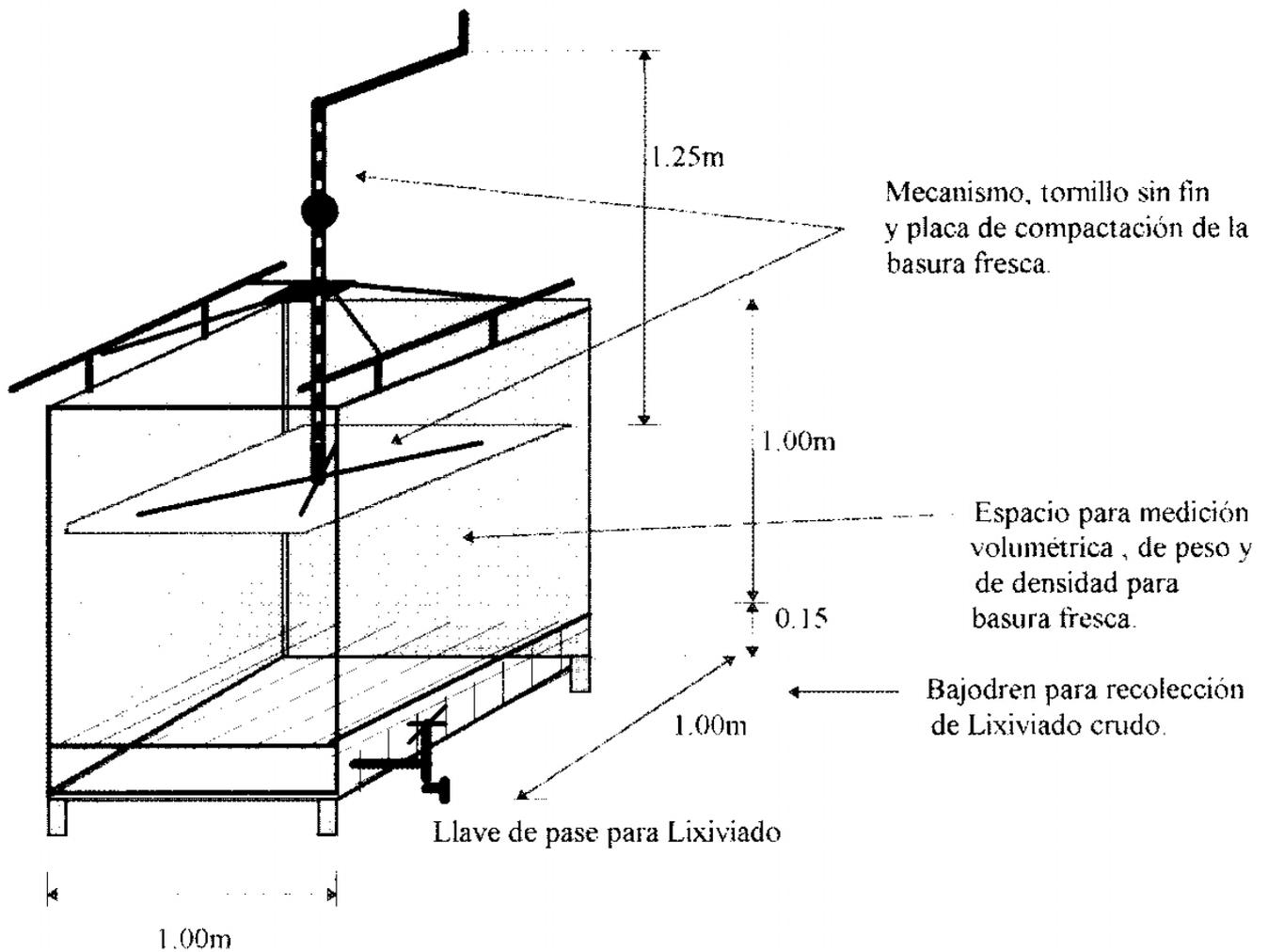


Fig. CAJÓN COMPACTADOR DE MEDICIÓN Y MUESTREO

- **Operación de la Caja Compactadora:**

El 11 de Noviembre de 1996 se realizó la primera prueba preliminar para conocer las características físico- químicas reales de lixiviado producido por los residuos sólidos del sitio de estudio “Mateare”, hasta el momento, solo se conocen datos teóricos de lixiviados provenientes de países fríos y algún otro como Colombia.

Los residuos sólidos fueron recolectados y seleccionados por el servicio municipal, durante una semana, y trasladados al relleno donde se compactaron con la caja para la extracción del lixiviado, una vez obtenido fueron llevado al laboratorio de Análisis Físico – Químico del CIEMA – UNI para realizarle los análisis necesarios en el conocimiento de su carga contaminante. Se produjeron aproximadamente 2 galones de lixiviados.



Foto # 1 Compactación



Foto # 2 Residuos Compactados

También se determinó la densidad de la residuos compactada, se lleno por completo con la residuos recolectada la caja, luego se compacto la residuos hasta obtener un volumen de  $0.6 \text{ m}^3$  para un peso de 300 kg de desechos.

Para determinar el peso de la caja vacía y luego con desechos compactados, se realizaron dos viajes a la báscula ubicada en la entrada de los Brasiles. Por diferencia de pesos se cálculo la cantidad en peso de desechos compactados, el valor obtenido entre el volumen compactados nos da como resultado la densidad de la residuos compactada.

#### **4.2.2 Caracterización de los Residuos Sólidos del Municipio de Mateare:**

Como resultado de los mecanismos de descomposición que ocurren en las basuras se generan líquidos, gases y productos intermedios. La ocurrencia de los mecanismos físicos, químicos y biológicos en el interior del relleno depende de diversos factores entre los que se encuentra la composición del material enterrado, en especial de su contenido de materia orgánica.

En Mateare hasta la fecha no se han realizado estudios de generación de desechos sólidos y para efectos de cálculo de los volúmenes de residuos producidos se utiliza el valor de 0.3 Kg. por habitante por día; valor estimado de un estudio puntual (INIFOM). Igualmente no hay datos precisos sobre la densidad, composición física y otras características de los desechos.

##### **4.2.2.a) Procedimiento para la Toma de Muestra de los Residuos Sólidos**

Para llevar a cabo la caracterización de los residuos del municipio se montó un plan de muestreo en conjunto con la alcaldía de la siguiente manera:

**Tabla N<sup>o</sup> 1 Plan de Muestreo realizado en el Municipio de Mateare.**

ÁREA	NVT	NVP	%TaR	NVR	%RaR
CASCO URBANO	533	32	6	28	5.25
JOSÉ BENITO ESCOBAR	67	4	6	4	6.00
CASIMILO SOTELO	117	7	6	4	3.43
MARVIN ORTEGA	67	4	6	3	4.50
JAVIER SABALLO	200	12	6	5	2.50
COLONIA	100	6	6	3	3.00
ALVARO ALEMAN	83	5	6	4	4.80
ROBERTO ALVARADO	250	15	6	6	2.40
TOTAL DE VIVENDAS	1417	85	6	57	3.98

**NVT: Número de viviendas teóricas; NVP: Número de viviendas participantes; %TaR: porcentaje teórico a recolectar; NVR: Número de viviendas reales; %RaR: porcentaje real a recolectar.**

Se tomó el 6% de base cálculo para la recolección, según lo recomendado por el Programa Regional OPS/HPE/CEPIS de Mejoramiento de la Recolección, Transporte y Disposición Final de Residuos Sólidos.

Después de realizar el plan de muestreo se citó a los representantes por viviendas que participarían en la caracterización a un breve taller en compañía de las autoridades municipales. Se les explicó a los participantes la finalidad de la recolección de los residuos y de la importancia de su participación, también de manera general pero técnica se resaltó en qué consistía el estudio y los beneficios futuros que este podría traer al municipio. Para concluir el taller se le entregó a cada representante siete bolsas marcadas por día de muestreo, donde debería incluir todos los desperdicios de comida, residuos de patio, residuos de la venta, si la casa seleccionada era una venta y otras que se recojan en el día sin ninguna selección previa.

El período de caracterización fue de una semana del 26/11/97 al 02/12/97, diariamente se recolectaron los residuos en las viviendas seleccionadas, una vez terminado el recorrido se trasladaban las bolsas al relleno sanitario, donde se realizaba la caracterización Física.

#### 4.2.2.b) Composición Física de los Residuos Sólidos

- Se descargaron las bolsas de residuos en un plástico grande y grueso para que la residuos no tuviera contacto con el suelo y alterara la composición de piedras o tierra al momento de pesarla.
- Se destruyeron las bolsas plásticas, se cortaron cartones, cajas, papeles, trapos y demás elementos grandes con el fin de poder mezclar toda la basura.



Foto # 3 Medición de Temperatura de los residuos una vez homogenizados, antes de realizar el primer cuarteo.

- Una vez homogenizados los residuos se aplicó el método del cuarteo. El montón se dividió en cuatro partes y se escogieron dos partes opuestas para formar otra muestra representativa más pequeña. La muestra menor se vuelve a mezclar y se divide en cuatro partes, luego se escoge dos opuesta y se forma otra muestra más pequeña, esta operación se repite nuevamente hasta obtener una muestra aproximada de 50 Kg de residuos o menos. El cuarteo se realizo con los residuos recolectados diariamente.



Foto # 4 Residuos Cuarteados

- En el último cuarteo por día se almacenó los cuartos que se debían eliminar, con el propósito de realizar un cuarteo que representará los residuos de toda la semana y a la vez comparar los resultados con los cuarteos que se realizaban diariamente.
- Los cuartos seleccionados para la caracterización se homogenizaron y se procedió a la caracterización física.

La composición física, nos dice los diversos componentes de residuos sólidos distribuidos por peso. Originalmente, en la composición física se contaban únicamente los siguientes elementos:

- Escorias
- Barrido de calles
- Residuos secos
- Residuos Orgánicos

Con el tiempo mas y más elementos se incorporan en la composición física, pero no existe una lista única de estos elementos, y esta clasificación varía de acuerdo al objeto de la investigación y a los tipos de elementos frecuentemente encontrados en los desechos.

Como se mencionó anteriormente la composición física de la residuos varía con factores como el grado de desarrollo económico y cultural del país, estratos socioeconómicos de la población dentro de una misma ciudad y otros factores como clima, costumbres, tipo de industrias, etc.

La prueba de composición física de la residuos se realizó según el procedimiento siguiente:

- Se tomó la muestra (cuarteo seleccionado) y se expandió en el plástico
- Se separaron los componentes del montón y se clasificaron de acuerdo a las siguientes características:

- |                  |                            |                      |
|------------------|----------------------------|----------------------|
| • Papel y Cartón | • Vidrio                   | • Desechos Orgánicos |
| • Textiles       | • Huesos                   |                      |
| • Plástico       | • Metal                    |                      |
| • Madera         | • Piedra y Tierra Orgánica |                      |

- Se pesó el balde que se ocuparía para determinar la composición, utilizando una balanza de aguja.
- Los componentes se fueron clasificando y pesando a la vez, y por diferencia se encontró el peso de cada componente.
- Se sacó el porcentaje (%) de los componentes teniendo los datos del peso total y el peso de cada elemento.
- Este procedimiento se realizó los siete días consecutivos y con la mayor rapidez posible para evitar demasiada evaporación de agua.

#### **4.2.2c) Metodología para la determinación de la densidad de los residuos sueltos**

**La medición de la densidad de la residuos suelta descargada en el sitio de la investigación, se realizó de la siguiente manera:**

- **Se preparó un balde y una balanza de aguja.**
- **Se peso el balde y se le midió el volumen**
- **Se coloco la residuos en el balde sin hacer presión, homogenizando manualmente con el fin de que se llenen los espacios vacíos en la misma.**
- **Se peso una vez lleno el recipiente y por diferencia se obtiene el peso de la basura.**
- **Se obtuvo la densidad de la residuos suelta al dividir su peso en kilogramos entre el volumen del balde en metros cúbicos.**



**Foto # 5. Medición de la Densidad**

### 4.2.3 Prueba de Humedad

El porcentaje de humedad de los Residuos Sólidos, es un parámetro importante en el estudio sobre recolección, disposición final y tratamiento de las basuras. Es un parámetro básico que favorece la degradación de los Residuos Sólidos. Este porcentaje varía considerablemente de una localidad a otra, dependiendo de los hábitos, costumbres, nivel socioeconómicos y condiciones climáticas; es así como se registran valores de 38% de humedad para los Estados Unidos (Valor promedio), 70% para la ciudad de Cali y 60% para la ciudad de Bogotá.

El contenido de humedad de los Residuos Sólidos normalmente se expresa de dos formas. En el método de medición peso - húmedo, la humedad de una muestra se expresa como un porcentaje del peso del material húmedo; en el método peso-seco, se expresa como un porcentaje del peso seco del material. El método peso - Húmedo se usa más frecuentemente en el campo de gestión de desechos sólidos.

La Prueba de Humedad se efectuó de la siguiente manera:

- Se llevaron las muestras lo más hermético posible al laboratorio
- Se preparan previamente los recipientes de papel aluminio y se pesan vacíos. ( $W_1$ )
- Se desmenuza una porción de la muestra, se mezcla y se distribuye en los recipientes de aluminio.
- Se pesan los recipientes con la muestra ( $W_2$ ) y por diferencia se obtiene el peso de la muestra ( $W_3$ )  
$$\boxed{W_2 - W_1 = W_3} \quad (10)$$
- Las muestras se colocan en el horno a  $75^{\circ}\text{C}$  durante tres días para remover el agua.
- Remover diariamente las muestras de abajo hacia arriba para mejorar la evaporación.
- Se pesan los recipientes después de sacarlas del horno y dejarlas enfriar a temperatura ambiente. ( $W_4$ ).

Se determina el porcentaje de humedad por la diferencia de los pesos de las muestras antes y después del secado, dividido entre el peso de la muestra.

$$\boxed{\% \text{ HUMEDAD} = \frac{W_2 - W_4 * 100}{W_3}} \quad (11)$$

#### 4.2.4 pH:

Para medir el pH en muestras de basura fresca se tomo una porción de cada cuarteo seleccionado por día y se trituro lo más rápido posible para evitar perdidas de humedad, una vez triturada la muestra se procedió de la siguiente manera:

- En recipientes limpios se pesan aproximadamente 10 gramos de muestra fresca y homogénea.
- Se adicionan 25 ml de agua destilada
- Se agita y se deja en reposo por 12 horas aproximadamente.
- Antes de efectuar la lectura del valor del pH se agita la muestra y se deja reposar por media hora, luego se efectúa la medición del pH a cada muestra de trabajo ( con un ph-metro previamente calibrado en un rango aproximado al esperado).
- De cada muestra se toman tres réplicas y luego se reporta un valor promedio de las tres lecturas.
- Los pH fueron leídos a temperatura ambiente (25<sup>0</sup> C).

#### 4.2.5 Sólidos Totales y Volátiles (muestra fresca)

Una vez seleccionado el cuarteo por día se tomaron muestras las cuales fueron trituradas para la determinación de los sólidos totales y volátiles de la siguiente manera:

- Pesar la cápsula seca (dato 1).
- Se tomaron de 30 - 50 gramos de cada muestra , esta muestra debe ser homogénea en composición. (dato 2)
- Se colocan en el horno a 105<sup>0</sup>C durante 12 horas consecutivas. Seguidamente se pasan a un desecador y se toma el peso de la cápsula conteniendo la muestra seca. (dato 3)
- Se realizan los cálculos de diferencia de pesos:

$$\% \text{ de Materia Seca contenida en la muestra} = \frac{(\text{dato 3}) - (\text{dato 1})}{(\text{dato 2})} \times 100 \quad (12)$$

- Anotar el peso de la cápsula mas la muestra seca (dato 3) obtenido de los sólidos totales.

- Colocar la muestra seca en la mufla a 600<sup>0</sup>C por dos horas.
- Pasar la cápsula a un desecador.
- Una vez fría la cápsula se pesan (dato 4).
- El cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$\% \text{ de Sólidos Volátiles} = \frac{(\text{dato 3}) - (\text{dato 4})}{(\text{dato 2})} \times 100 \quad (13)$$

#### 4.3 Dimensiones del lixímetro :

El Lixímetro se construyó con un tubo PVC tipo Rib.Loc comprado a DURMAN ESQUIVEL DE NICARAGUA S.A con las siguientes especificaciones: Tipo perfil 8T; diámetro interno 550 mm equivalente a 22 pulg y de 7.430 Kg de Peso ML/Tubo.



Las dimensiones del Lixímetro fueron las siguientes:

Diámetro Interno: 0.55 m  
 Altura: 4 m  
 Altura por celda 0.58 m  
 Altura del material de cobertura intermedio por celda: 0.15 m  
 Altura del material de cobertura Final: 0.50 m  
 Area: 13.823 m<sup>2</sup>  
 Volumen: 3.801 m<sup>3</sup>

← Foto #6 “LIXIMETRO”

El tubo de pvc tipo RIB.LOC consta de una parte interna lisa y la parte exterior corrugado, para poder instalar el lixímetro se diseñó un esqueleto de perlin a como se muestra en la Figura # 2, montado sobre una base de madera y tensado en sus cuatro costados. En la parte inferior del tubo fue colocada una placa difusora de plástico color ámbar, sobre una placa de acero, que sirve como base retención del lixímetro. El lixiviado producido era retenido sobre un cono de plástico ámbar con su respectivo orificio de salida, que consistía de una llave de pase.

Una vez instalado el lixímetro se perforo un orificio por celda para medir la temperatura. Esta medición se trato de realizar lo más rápido posible para evitar la entrada de aire al sistema, para ello una vez terminada la medición se cerraban los orificios con tapones de hule a presión. El sistema de compactación fue semi-mecánico, similar al sistema de la caja compactadora, un tornillo sin fin con una placa circular plana con el mismo diámetro del lixímetro.

#### 4.4 Muestreo y Caracterización de lixiviado

El monitoreo en el Lixímetro en período seco se realizaba dos veces por semana, donde se media temperatura y profundidad, no se tomaron muestras de lixiviado por que en esa temporada no se obtuvo producción del mismo. En el período de lluvia se realizaron tomas de muestra de lixiviado dos veces por semana, midiendo volumen recolectado, temperatura y profundidad.

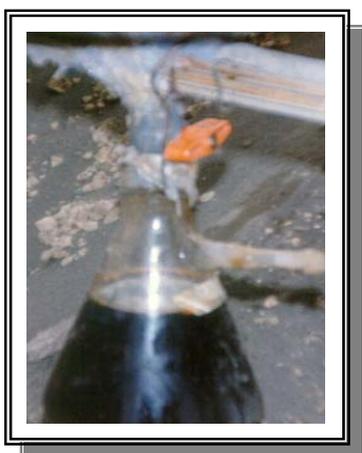


Foto # 7 Lixiviado



Foto # 8 Medición de Temperatura

#### 4.5 Nutrientes en Desechos Sólidos

La muestra de desechos de la caracterización se le realizaron también los siguientes parámetros.

Tabla N°3 Métodos Analítico empleado en la caracterización de los Residuos Sólidos

PARAMETRO	METODO
Nitrógeno Amoniacal	Método de Destialción
Nitrato	Método de Destilación con Reactivo D'varda
Nitrógeno Total	Método Kjeldahl
Fósforo Total	Método OLSEN

Estos Parámetros están basados en los Métodos Normalizados para el Análisis de Suelo de la Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 2da Edición. 1986

#### 4.6 Parámetros Físico – Químicos en los Lixiviados.

El lixiviado recolectado era preservado con hielo y traído al laboratorio para realizarle los siguientes análisis:

Tabla N°2 Método Analítico Empleado en la caracterización Físico-Química

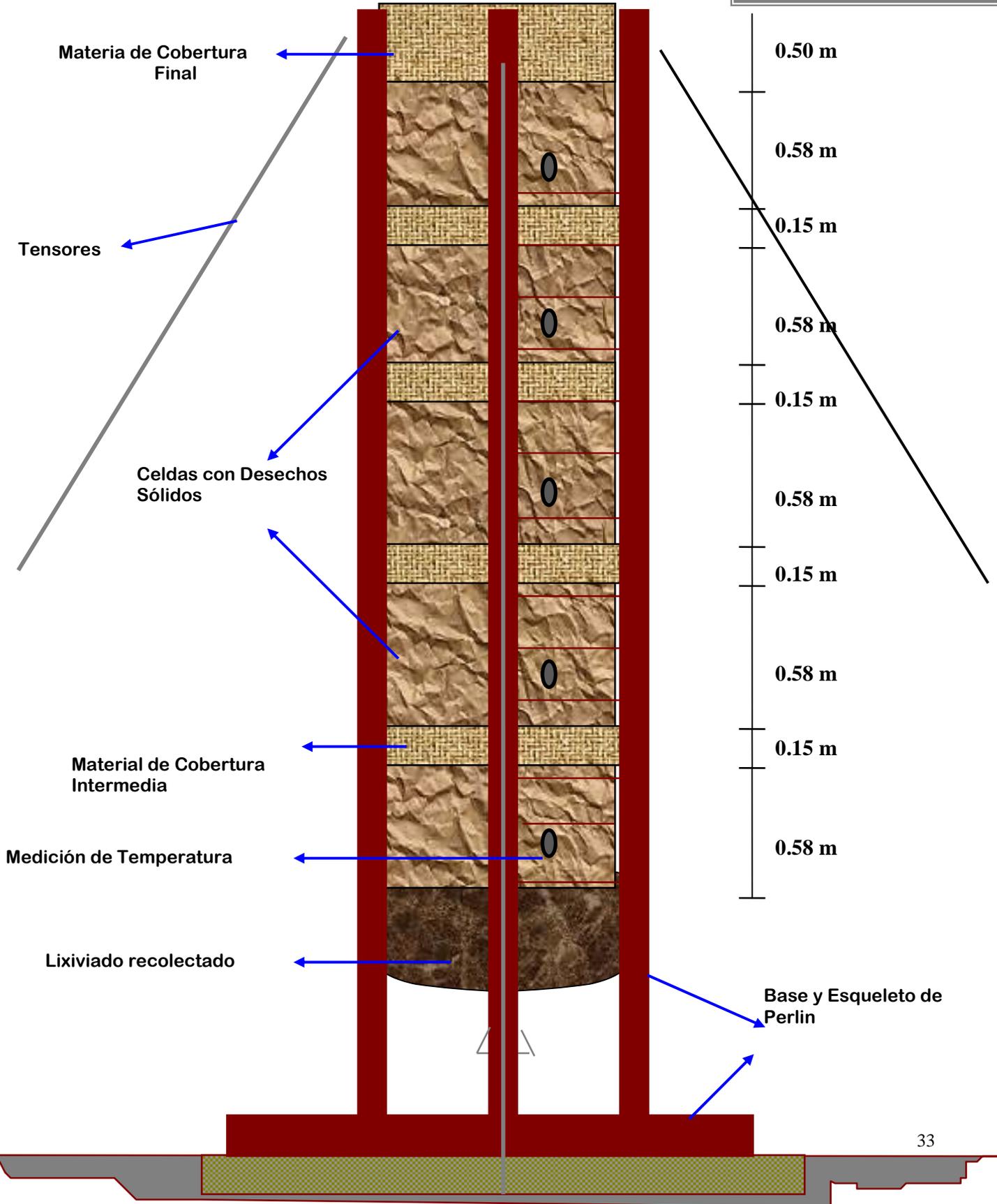
PARAMETROS	METODO
PH	4500-H <sup>+</sup> Método Electrométrico
Conductividad Eléctrica	2510.B Método de Laboratorio
DQO	5220.C Reflujo Cerrado, método titulométrico
DBO <sub>5</sub>	5210.B Prueba de DBO de cinco días
Nitrógeno Amoniacal	4500-NH <sub>3</sub> E Método Titulométrico
Nitrógeno Orgánico	4500-Norg D Método Macro-Kjendahl
Nitrógeno Kjendahl	4500-Norg D Método Macro-Kjendahl
Nitratos*	308 B.2 Método de la Brucina
Nitritos	4500-NO <sub>2</sub> B Método Colorimétrico
Fósforo Total	4500-P.C Método Colorimétrico del ácido vanadomolibdofosfórico.
Sólidos Totales	2540.B Sólidos Totales secados a 103-105 <sup>0</sup> C
Sólidos Volátiles/Sólidos Fijos	2540.E Sólidos Fijos y Volátiles incinerados a 550 <sup>0</sup> C
Sólidos Suspendidos Totales	2540.D Sólidos Totales en Suspensión secados a 103-05 <sup>0</sup> C
Sólidos Disueltos Totales	2540.C Sólidos Totales Disueltos secados a 180 <sup>0</sup> C
Sólidos Suspendidos Volátiles/Fijos	2540.E Sólidos Fijos y Volátiles incinerados a 550 <sup>0</sup> C
Sólidos Disueltos Volátiles/Fijos	2540.E Sólidos Fijos y Volátiles incinerados a 550 <sup>0</sup> C
Sólidos Sedimentables	2540.F Sólidos Sedimentables
Alcalinidad Total	
Hierro Total	3500.D Método de Fenantrolina
Acidos Grasos Volátiles	Método de Jim Field

Estos Parámetros están basados en los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potable y Residuales de la APHA, AWWA, WPCF. 17<sup>th</sup> Edición. La descripción de estos método se presentan en el ANEXO C

0.55 m

# LIXIMETRO

Figura # 2



## V. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan y a la vez se discute el comportamiento de los resultados obtenidos en toda la fase experimental. Primeramente para conocer la composición orgánica que se alimentó el Liximetro fue necesario realizar una caracterización de los Residuos Orgánicos del municipio. A continuación, producto de la degradación de estos residuos, se obtuvo un lixiviado que fue sometido a diferentes pruebas con el propósito de evaluar su composición físico-química bajo las condiciones climatológicas de la zona de influencia. A la vez se comprobó la proporcionalidad directa entre los componentes de los Residuos Sólidos y los lixiviados producidos, de tal manera que se obtiene un lixiviado con altas concentraciones de DQO y DBO, entre mayor sea la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos. Y un comportamiento contrario cuando la fracción orgánica es baja.

### 5.1 Composición Físico-Química de los Residuos Sólidos del Municipio de Mateare.

- **Composición Física:**

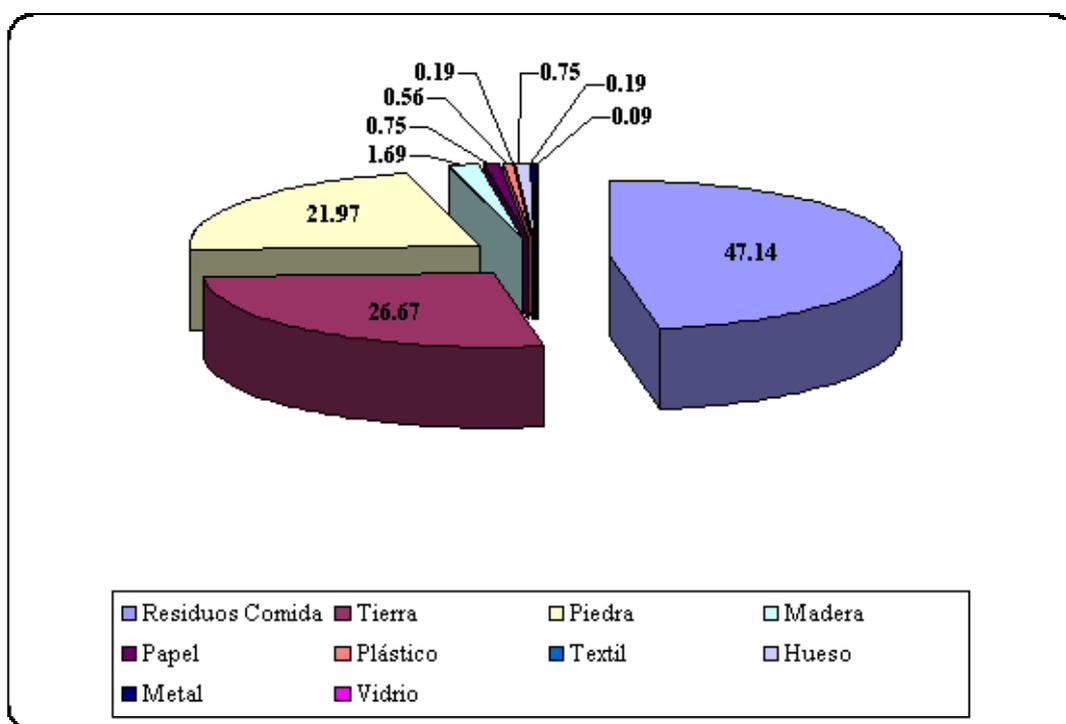
En la Tabla N°4 se presenta la composición física de estos desechos y muestran que los residuos de comida y hojas representaron el 47.1% del total de los desechos caracterizados, seguidos de la tierra (incluida algunas cantidades de resto de comida y patio de tamaño muy pequeño que fueron difíciles de separar) con un 26.7% y un contenido de piedra igual a 22.0%. Si consideramos como fracción orgánica fácilmente putrescible a los Residuos de comida más hojas y tierra, el total corresponde a 73.8% y una fracción orgánica moderada y difícilmente putrescible que incluye plástico, textil, papel y madera de un 3.3%, y dentro de la fracción inorgánica tenemos vidrio, metal y hueso que constituyen el 1.1%, otro componente inorgánico que es característico del lugar, es la cantidad de piedras de tamaño pequeño, producto del barrido de patio y que comprende un porcentaje considerable del 26.7%. En la gráfica N°1 se muestra la distribución de la composición física de los residuos caracterizados.

**Tabla N°4 Caracterización Física del Municipio de Mateares con otros Municipios (% en Peso)**

Componente	Mateare	La Paz Centro	El Tuma	La Dalia	C.Sandino
Materia Orgánica	47.10	48.73	67.18	60.23	32.00
Piedra/Tierra	48.70	31.13	24.19	31.85	36.20
Plástico	0.60	8.52	2.55	2.84	9.40
Papel/Cartón	0.80	6.09	2.24	1.96	10.20
Metal	0.20	1.47	1.85	1.41	1.80
Madera	1.70	-	0.69	0.68	0.70
Vidrio	0.10	0.55	0.56	0.11	5.00
Tela	0.20	3.05	0.57	0.91	4.7-0
Otro	0.80	-	0.57	-	

**Tabla N° 5 Resultados de la Composición Física de los Residuos Sólidos del  
Municipio de Mateare durante la semana de muestreo del  
26/11/97 al 02/12/97**

<b>COMPONENTES</b>	<b>PESO (lbs)</b>	<b>PESO(Kg)</b>	<b>% PESO</b>
Residuos Comida	12.55	5.69	47.14
Tierra	7.10	3.22	26.67
Piedra	5.85	2.65	21.97
Madera	0.45	0.20	1.69
Papel	0.20	0.09	0.75
Plástico	0.15	0.07	0.56
Textil	0.05	0.02	0.19
Hueso	0.20	0.09	0.75
Metal	0.05	0.02	0.19
Vidrio	0.03	0.01	0.09
<b>TOTAL</b>	<b>26.63</b>	<b>12.08</b>	<b>100.00</b>



En la Tabla N°4 se puede observar como la cantidad de materia orgánica entre Mateare y La Paz Centro son muy similares y un poco menos Ciudad Sandino, y para el Tuma – La Dalia su composición es similar entre ellas. De igual manera la cantidad de Tierra con piedra ocupa el segundo lugar dentro su composición para todos los sitios aunque en diferentes proporciones. El papel/cartón y el plástico se disputan el tercer y cuarto lugar. Esta comparación nos indica como las condiciones socio-económica de una localidad pueden influenciar de forma directa sobre las características físicas de los residuos generados y más adelante mostramos como es el comportamiento del lixiviado fresco producido por estos residuos para estos sitios con estas características. Como una observación, estas caracterizaciones se tomaron como referencia porque se desarrollaron de la misma manera en que se realizó la caracterización de Mateare. Este contenido alto de materia orgánica favorece el tiempo de degradación de la materia orgánica y el contenido de tierra orgánica incrementa la concentración de nutrientes para los microorganismos responsables del proceso de descomposición de los residuos, sin embargo se esperan lixiviados agresivos químicamente.

## 5.2 Densidad

La densidad promedio de los residuos sólidos sueltos promedio que se obtuvo para Mateare y en comparación con los otros sitios fue de:

**Tabla N°6 Densidad Promedio de Residuos Suelos**

<b>LOCALIDAD</b>	<b>DENSIDAD SUELTA Kg/m<sup>3</sup></b>
Mateare	269.00
La Paz Centro	254.80
Ciudad Sandino	237.00
El Tuma	202.00
La Dalia	165.00

Fuente: Programa Bolívar

Para INIFOM de la memoria de cálculo del relleno sanitario del Municipio de Mateare encontramos una densidad suelta de 250 Kg/m<sup>3</sup> para residuos sueltos y si comparamos con los datos de la Tabla N°3 Mateare tiene una densidad promedio de residuos suelta de 269 Kg/m<sup>3</sup>. Las densidades de estas localidades fueron obtenidas con la misma metodología utilizada para Mateare, encontramos un rango de 165.00 a 269.00 Kg/m<sup>3</sup> siendo ligeramente menores que lo propuesto por INIFOM, dependerá de la metodología utilizada.

En Mateare y La Paz Centro los datos son muy similares, valores un poco mayores que en Ciudad Sandino, al contrario para el Tuma y la Dalia los datos son parecidos entre si pero menores que Mateare. La densidad compactada par Mateare fue de 500 Kg/m<sup>3</sup> aproximadamente el doble de la densidad suelta, en la memoria de cálculo de INIFOM se considera una densidad de residuos compactados de 450 Kg/m<sup>3</sup>. Estos resultados nos indican que la metodología utilizada sirve como criterio para determinar la densidad características de una localidad y se pueden aplicar como base de calculo en el diseño de rellenos sanitarios.

## **5.3 Composición Química de los Residuos Sólidos**

### **5.3.1 Humedad**

El porcentaje de humedad promedio para los residuos sólidos de Mateare fue de 52.92% tomando en cuenta las Normas Austríacas y requerimientos de calidad, las muestras analizadas poseen un porcentaje intermedio, recomendados por las normas que oscila entre 26 y 70% en el caso que se quisiera producir compost con estos residuos.

### **5.3.2 pH**

El pH de Mateare se encontró en un rango de 6.00 a 6.90 para la semana de muestreo, este indica una fase ácida indicio del inicio de la degradación de los residuos, por ser un residuo fresco producido a diario con 24 horas de degradación, considerando la cantidad de materia orgánica presente. Este pH acelera el proceso aeróbico para iniciar la fase anaerobica y dentro de esta a la fase hidrolítica –ácida que da inicio a la descomposición de la materia orgánica fácilmente putrescible.

### **5.3.3 Porcentaje de Sólidos Totales y Volátiles**

El porcentaje promedio de Sólidos Totales y Volátiles fue de 47.34% y 45.32% respectivamente. Los Sólidos Totales son el complemento del porcentaje de humedad determinado en las muestras, y los sólidos volátiles frecuentemente se utilizan como una medida de la biodegradabilidad de la fracción orgánica de los residuos, lo que es erróneo, porque algunos constituyentes orgánicos de los residuos sólidos son altamente volátiles pero bajos en biodegradabilidad, por ejemplo, el papel periódico y residuos de plantas. Se ha encontrado que los residuos con alto contenido de lignina son significativamente menos biodegradables que los propios residuos orgánicos, Sin embargo, podemos afirmar que el 45.32% de los residuos se calcifican como compuestos orgánicos biodegradables, siendo estos proporcionales a la cantidad de materia orgánica entrada de 47.12% en la caracterización para residuos de comida más hojas de patio.

### **5.3.4 Análisis de Nutrientes**

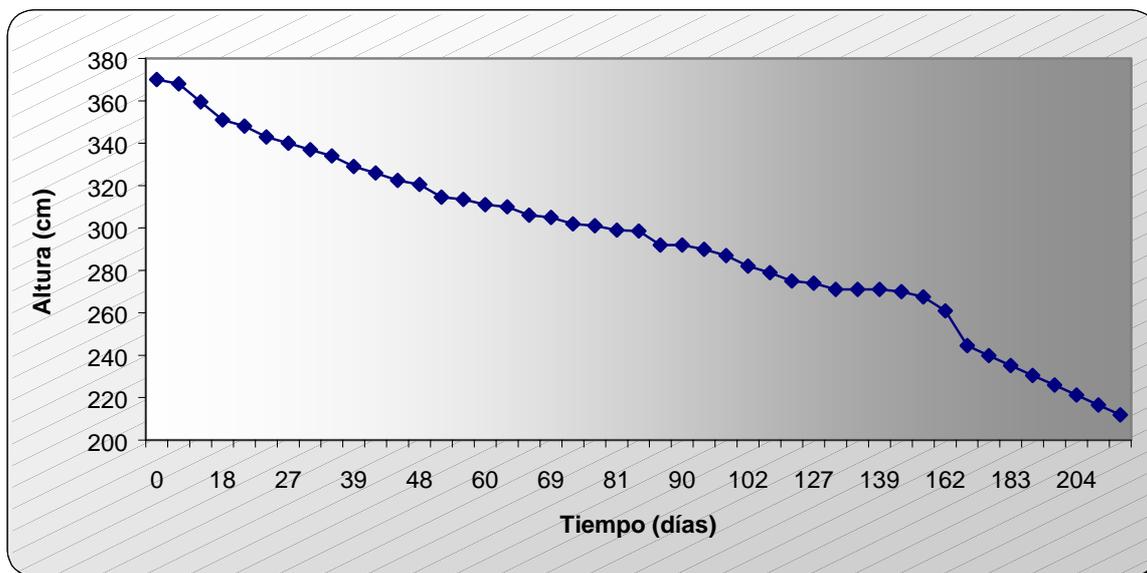
Los resultados obtenidos para los residuos sólidos del municipio fueron de 148.50 gr de  $P_2O_5$ /%MS y de 0.485 gr NTK/%MS, en cuanto contenido de nutrientes se encuentran arriba de las Normas Austríacas par elaboración de compost siendo de 0.17% para Nitrógeno Kjendhal y  $P_2O_5$  respectivamente, es decir, se cuenta con una buena cantidad de macro nutrientes para que los microorganismos puedan degradar el sustrato disponible hasta convertirlo en humus, que fue lo que se encontró por sus características físicas de color y textura al desmontar el lixímetro después de 8 meses de operación.

## **5.4 Comportamiento de los Residuos Sólidos en el Lixímetro**

### 5.4.1 Profundidad vs Tiempo

Una vez que los residuos sólidos han sido depositados en el Liximetro, comienza a producirse asentamientos diferenciales. La razón por la cual se produce el asentamiento es, en principio, una *compresión adicional de los desechos* y posteriormente la descomposición de la misma. El fenómeno de asentamiento depende de la compactación inicial que se realizó, con un sistema semi mecánico. Las características de los desechos, el grado de descomposición, los factores climáticos y los efectos de la consolidación cuando el agua y el aire salen del material compactado.

En el gráfico # 2 se presenta el comportamiento del asentamiento de los residuos sólidos con el tiempo, la altura representa la variación de los residuos más el material de cobertura durante un tiempo de medición de 218 días, esta altura es un indicador de cómo son degradados los residuos dentro del liximetro a medida que estos se degradaban el asentamiento inicial medido desde el borde del Liximetro a la última capa aumentaba. Durante el período de verano el asentamiento diferencial fue casi constante en un rango de 3 a 4 cm, en el período de lluvia el asentamiento se incrementó en un rango de 5 a 6 cm, esto es debido en principio, a que la lluvia incrementa el peso de los desechos en proceso de degradación, produciendo a la vez un arrastre de sólidos y eliminando los intersticios en el seno de los desechos sólidos.

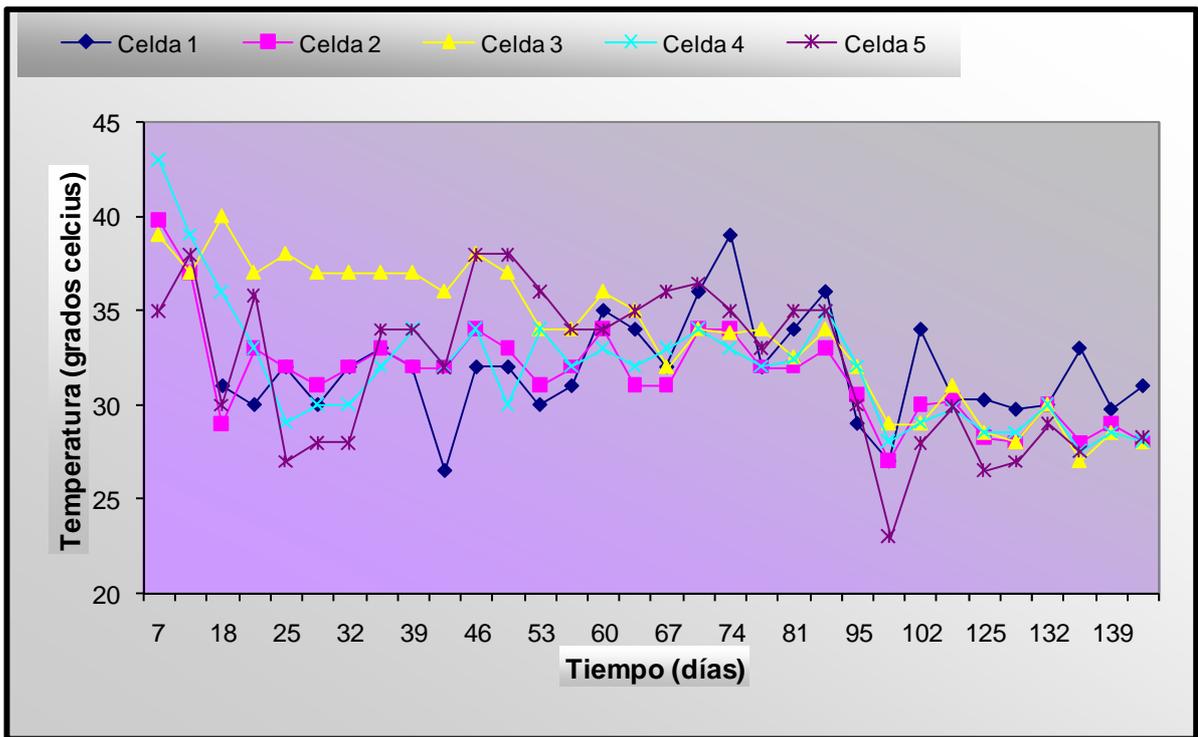


**Gráfico N°2 Comportamiento del asentamiento de los Residuos Sólidos en función del tiempo dentro del liximetro.**

De la gráfica se observa que a los 218 días se tiene aproximadamente 211 cm equivalentes a 11 m, donde 1.1 constituyen de material de cobertura el otro 1.018 m era de residuos orgánicos degradados (humus), los difícilmente degradantes como trapos y fracciones inorgánicas, como metales o vidrio.

## 5.4.2 Temperatura

Dependiendo del tipo de bacteria que actúa en la descomposición de los desechos sólidos se determina el rango de temperatura en el que se produce la degradación anaerobia. Las mediciones realizadas por celda en el lixímetro trabajaron a una temperatura promedio de 32.12°C lo que nos indica que se trabajó en un rango mesofílico. Trabajaron con un rango mínimo de 23°C y con un máximo de 43°C. Las mejores condiciones de temperatura para las bacterias metanogénicas dentro del rango mesofílico trabaja de 30° a 35°C.



**Gráfico N°3 Variación de la Temperatura por celda en el tiempo.**

En los estudios realizados por Farquahar y Schobanolgus en el ítem.. se encuentran rangos de temperatura para la degradación de los Residuos Sólidos de 30° a 40°C. Sin embargo, hay que recordar que las condiciones climatológicas, velocidad del viento, temperatura del ambiente, elevación, son muy diferentes a las condiciones del sitio en estudio, en nuestro caso el Municipio de Mateare, así que la coincidencia del rango se dio por las condiciones del diseño del lixímetro, material de construcción, no hay transferencia de calor por celdas compartidas en paralelo, están superpuestas una sobre la otra, la parte exterior del lixímetro tiene un diseño como un aireador de cascada y el color blanco del material interfería en la absorción del calor del exterior al interior del lixímetro.

## 5.5 Parámetros Físicoquímicos del Lixiviado.

### 5.5.1 pH

El comportamiento del pH durante el periodo de estudio puede observarse a través del siguiente gráfico

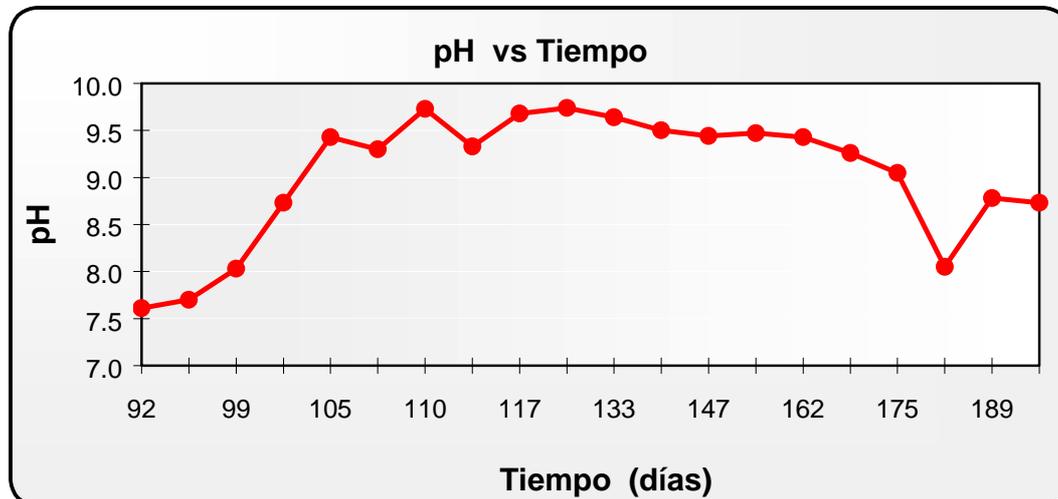


Gráfico # 4 Variación del pH

En lixiviado jóvenes el pH típico está entre 6 y 7 debido a la presencia de ácidos grasos volátiles. Para lixiviados obtenidos durante la fase de estabilización el pH se incrementa en el rango de 7 a 8. Este cambio ocurre como un resultado de la disminución de la materia orgánica fácilmente biodegradable y la producción de gases.

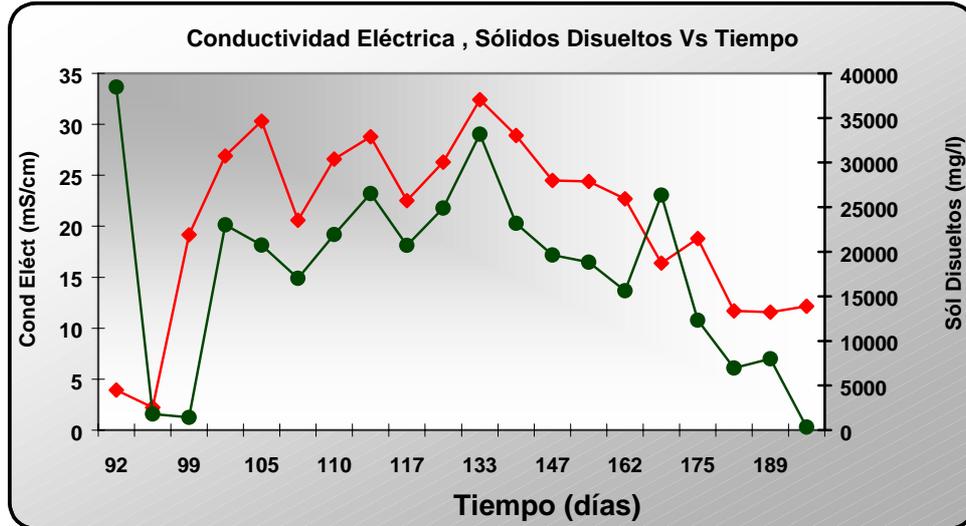
Los primeros lixiviados recolectados el día 92 y el 96 presentan un pH de 7.61 y 7.70 respectivamente, tomando en cuenta lo anterior podemos inferir que estamos en el inicio de la fase de estabilización, aunque no hubo expulsión del lixiviado en los primeros 90 días, sin embargo, se estaba desarrollando la biodegradación de los residuos dentro del lixímetro.

A partir del día 99 al 126 el pH se incrementó a 8.03 y 9.74 a estos pH generalmente se incrementa la alcalinidad, lo que significa que menos constituyentes inorgánicos quedan en la disolución, encontrándose en forma de sales de ácidos débiles. A estos valores de pH mayores que 8.3 y menores que 11 encontramos que la alcalinidad se da principalmente por la presencia de carbonatos e hidróxidos presentes en el lixiviado.

Del día 133 al 196 el pH tiende a disminuir de 9.64 a 8.73, cayendo en la fase de maduración, la que se produce después de convertirse el material orgánico biodegradable en  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ . Mientras la humedad sigue migrando a través de los residuos, se convierten porciones de material biodegradable que anteriormente no estaban disponibles, provocando también un descenso en el pH.

### 5.5.2 Conductividad Eléctrica

La conductividad puede indicar la variación de la concentración de los sólidos disueltos y el contenido de minerales en el lixiviado, como resultado de la disolución de los productos de la conversión biológica de la fracción orgánica, de los residuos en los líquidos que se infiltran a través de estos, interfiriendo en la composición del lixiviado.



**Gráfico #5 Comportamiento de la Conductividad Eléctrica y los Sólidos Disueltos**

La conductividad eléctrica varió desde un valor máximo de 32.40 mS/cm hasta un valor mínimo de 2.21 mS/cm con un valor promedio de 20.54 mS/cm. Del gráfico #5 se puede observar que en los primeros dos días de recolección de lixiviado la conductividad eléctrica fue baja de 3.93 y 2.21 mS/cm en comparación con los demás resultados, una explicación de este hecho se debe a que el lixiviado recolectado contenía mucho material sedimentado producto de la intensa precipitación en la primera semana de junio, los demás resultados muestran una tendencia variable del incremento y disminución de la conductividad, debido a la variabilidad de las concentraciones de las sustancias disueltas en el lixiviado, en este caso podrían ser las sales inorgánicas que resultan del proceso de biodegradación y del incremento del pH.

Otro factor interesante es que los residuos sólidos están sobre puesto por capas de material de cobertura dentro del lixímetro para poder simular la operación de una trinchera en un relleno sanitario, entonces a medida que el lixiviado producido de las capas superiores enjuaga las capas inferiores del material de cobertura donde se produce una transferencia de iones en la fase sólido-líquido, lo que provoca un incremento en la conductividad. La variación de la conductividad eléctrica en el tiempo, es similar a la de los sólidos disueltos, exceptuando en las últimas mediciones donde la concentración de los sólidos disueltos tiene a disminuir y la conductividad eléctrica permanece casi constante, producto de la estabilización de los residuos sólidos, por otro lado, se verifica la estrecha relación existente entre los sólidos disueltos y la conductividad eléctrica.

### 5.5.3 Turbiedad

Podemos observar del Grafico # 6 que el lixiviado presenta valores de turbiedad en un rango de 112 NTU al final del período y de 5,000 NTU a mediados del período de caracterización, con un valor promedio de 709.57 NTU, el resultado de estos valores de turbiedad es producto de la degradación de la materia orgánica e inorgánica coloidal en suspensión, sumando a esto el arrastres de sólidos aportados del material de cobertura en el lixiviado. Si observamos el comportamiento de los Sólidos Suspendidos, es muy proporcional a la Turbiedad, los suspendidos están en un rango de 210 mg/l a 57,701.40 mg/l con un valor promedio de 5,997.47 mg/l. Es importante señalar que los sólidos suspendidos representan la fracción orgánica del lixiviado, por lo tanto son los principales causantes de los altos valores de turbiedad encontrados, en el ítem se desarrolla más detalladamente sobre el tema.

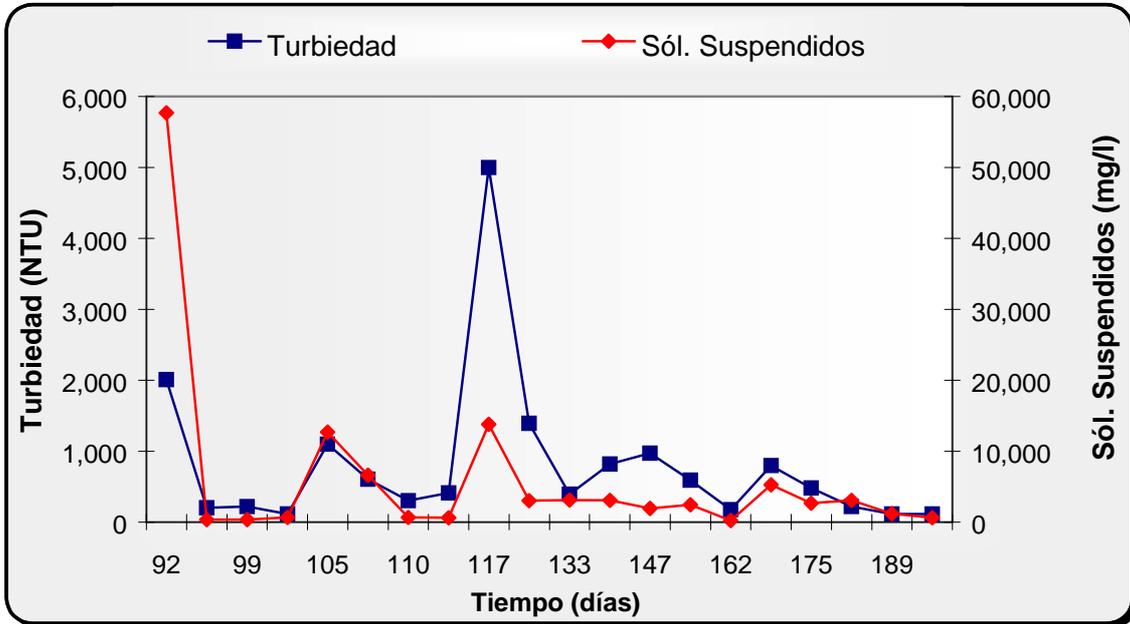


Gráfico # 6 Comportamiento de la Turbiedad y los Sólidos Suspendidos Totales

#### 5.5.4 Demanda Química de Oxígeno ( DQO ) .

La biodegradación de la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos está relacionada con su composición química (fracción orgánica rápida y lentamente biodegradable), por lo que es de esperarse altas concentraciones de DQO en el lixiviado generado, es decir, entre mayor sea la fracción orgánica contenida mayor será la concentración de DQO en el lixiviado. Los residuos sólidos caracterizados en el Municipio de Mateare contenían una fracción orgánica del 77%, esperándose entonces lixiviados químicamente agresivos, producto de la disolución de los ácidos orgánicos en él.

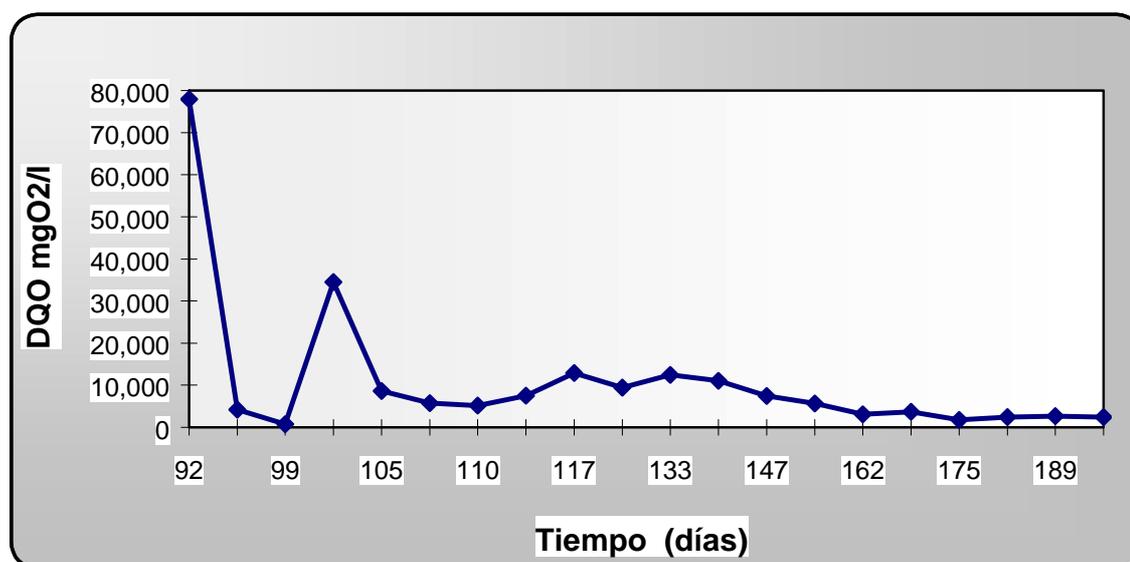


Gráfico # 7 Variación de la Demanda Química de Oxígeno en el Tiempo.

El lixiviado inicialmente obtenido el día 92 presenta un valor de DQO de 67,912.02 mg de O<sub>2</sub>/l, representando la mayor concentración de DQO obtenida durante todo el periodo de análisis de lixiviado, demostrándonos esto la estrecha relación que existe entre la naturaleza de los residuos sólidos depositados dentro del lixímetro y la calidad del lixiviado obtenido.

El lixiviado producido a partir del día 103 al 147 presenta una DQO con un mínimo de 5,162.89 mg de O<sub>2</sub>/l y un máximo de 34,486.00 mg de O<sub>2</sub>/l. Esto indica la carga contaminante típica de lixiviado si tomamos en cuenta la acumulación y el arrastre de material sólido en fase de degradación, que hubo durante el período lluvioso que provocó un incremento en su concentración. Si observamos en el Gráfico # 7, notaremos incrementos y disminuciones en la concentración de la DQO, esto se debió probablemente a la migración de la humedad a través de los residuos sólidos, y la conversión de porciones del material biodegradable que anteriormente no estaban disponibles.

**La concentración de la DQO sigue disminuyendo debido a poca disponibilidad de sustrato presente, esto es posible ya que el descenso de los residuos es notable dentro del lixímetro, indicándonos por consiguiente una estabilización de los mismos.**

**A partir del día 154 al día 196 se obtienen valores con un mínimo de 1,800 mg O<sub>2</sub>/l y un máximo de 5,712.60 mg O<sub>2</sub>/l, aquí la DQO de lixiviado disminuye significativamente, porque la mayoría de los nutrientes disponibles se han separado con el lixiviado durante las fases anteriores, y los sustratos que quedan dentro del lixímetro son de una degradación lenta.**

**Datos para lixiviados obtenidos de Rellenos Sanitarios en su etapa de estabilización se ha encontrado una concentración de DQO de 20,000 a 40,000 mgO<sub>2</sub>/l (Farquahart). Para vertederos menores de dos años de arranque y operación tienen un rango de 3,000 - 60,000 mg O<sub>2</sub>/l y un valor típico de 18,000 mgO<sub>2</sub>/l (Schobanoglus). Si comparamos nuestros resultados con los datos reportados por Schobanoglus y Farquahart nos damos cuenta que estamos dentro de los rangos establecidos por ambos autores, porque los valores predominantes de DQO en el lixiviado variaron desde los 34,486 hasta los 3,000 mg O<sub>2</sub>/ en el periodo de máxima actividad de biodegradación y desde valores menores a los 3,000 mg O<sub>2</sub>/ hasta 729 mg O<sub>2</sub>/, indicándonos esta disminución en la concentración en la DQO, que la mayoría de los residuos sólidos se encuentran en su fase de estabilización.**

**Es importante señalar que los factores ambientales ( periodo seco y lluvioso, temperatura, horas de sol, etc), así como la naturaleza misma de los residuos sólidos influyen mucho en el tiempo de que durará el proceso de biodegradabilidad y estabilización de los mismos, es por ello que en países tropicales como el nuestro este proceso se reduce en comparación con países de clima frío, además de no contar con estudios realizados a nivel Centroamericano nos hizo establecer comparaciones con los datos anteriormente reportados.**

### 5.5.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno ( DBO<sub>5</sub> ).

El primer lixiviado obtenido en nuestro experimento dio como resultado una concentración de DBO<sub>5</sub> de 17,919.76 mgO<sub>2</sub>/l , indicándonos este resultado el alto contenido de materia orgánica de fácil degradación presente en los residuos sólidos generados en este Municipio, y la constante actividad microbiana efectuada aun durante el periodo seco. Se han reportado valores de DBO<sub>5</sub> para vertederos menores de dos años en la fase de arranque y operación de 2,000 - 30,000 mg O<sub>2</sub>/l y un valor típico de 10,000 mgO<sub>2</sub>/l (Schobanoglus). 10,000 mg O<sub>2</sub>/l a 20,000 mg O<sub>2</sub>/l (Farquahart).

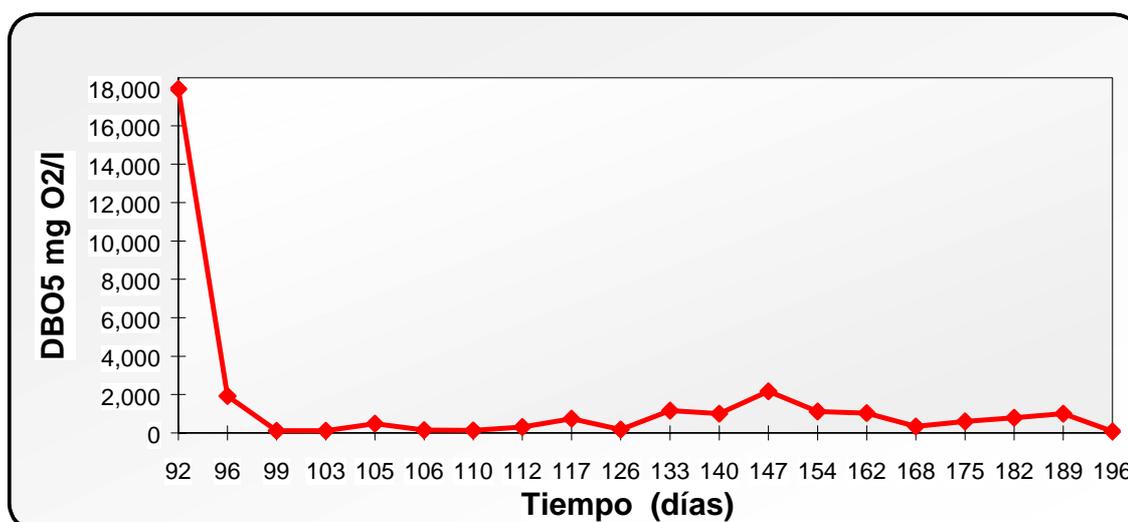


Gráfico # 8 Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el Tiempo.

Los datos del día 99 al 126 oscilan entre los 1,920.00 y los 175.00 mg O<sub>2</sub>/l y reflejan que el material fácilmente putrescible se va agotando quedando poco sustrato disponible para ser degradado, indicando la disminución de la carga orgánica del lixiviado. Seguidamente a partir del día 133 al 162 la DBO<sub>5</sub> se incrementa a rangos de comportamiento intermedios, en un rango de 1,000 hasta 2,160 mg O<sub>2</sub>/l, esto se debe probablemente a que la humedad migrante llega a porciones de material biodegradable que anteriormente no estaban disponibles, en el cual también existía material fácilmente biodegradable provocando este incremento en la DBO<sub>5</sub>. Del día 168 al 196 el lixiviado estuvo en el rango de 78 a 1,000 mg O<sub>2</sub>/l.

Los datos reportados que oscilan desde 2,160 hasta 1,000 mgO<sub>2</sub>/l tienden a un comportamiento de un lixiviado intermedio entre un vertedero joven y uno en fase de estabilización (50 a 100 mg O<sub>2</sub>/l), según Farquahart. Luego los valores tienden a decrecer hasta el final del período de caracterización. Presentando un comportamiento de un lixiviado proveniente de un vertedero mayor de 10 años según Schobanoglus.( oscila entre 100 – 200 mgO<sub>2</sub>/l)

**El asentamiento de los residuos en el Liximetro es una prueba visual que secunda la disminución de la concentración de la  $DBO_5$ , ya que al ir estabilizándose los residuos sólidos hay menor disponibilidad de materia a ser biodegradada.**

**Si comparamos estos resultados como los reportados por Schobanoglus, solamente el primer dato de 17,919.76 mg  $O_2/l$  representa el de un lixiviado joven. Sin embargo, es un lixiviado producido por el material susceptible de descomposición (residuos de comida, cáscaras de frutas, residuos orgánicos de patio) y por la humedad global de los residuos caracterizados. Los demás resultados están en el rango de los lixiviados producidos durante la fase de estabilización de los residuos sólidos, esto indica que durante el periodo no lluvioso si hubo biodegradación, prueba de ello es la constante disminución del nivel inicial de los residuos contenidos en el Liximetro. Después de la precipitación caída durante una semana se favorecen las condiciones optimas para la biodegradación de los residuos fácilmente putrescibles y expulsión del Lixiviado. Los resultados anteriormente presentados indican que estos residuos ya han sido biodegradados en su gran mayoría provocando la disminución de la  $BDO_5$ .**

### 5.5.6 Relación de la DQO con la DBO<sub>5</sub>

Los lixiviados son considerados como un agua residual doméstica, entonces es de esperarse que la relación entre la DQO y la DBO<sub>5</sub> sea casi proporcional, o sea que para concentraciones altas de DQO las de la DBO<sub>5</sub> también lo sean, y sean aproximadamente más o menos el 50 % de la concentración de la DQO durante el inicio del proceso de biodegradación, y vaya disminuyendo a medida que la fracción orgánica fácilmente putrescible se agote.

El comportamiento entre estos dos parámetros puede observarse en el siguiente gráfico:

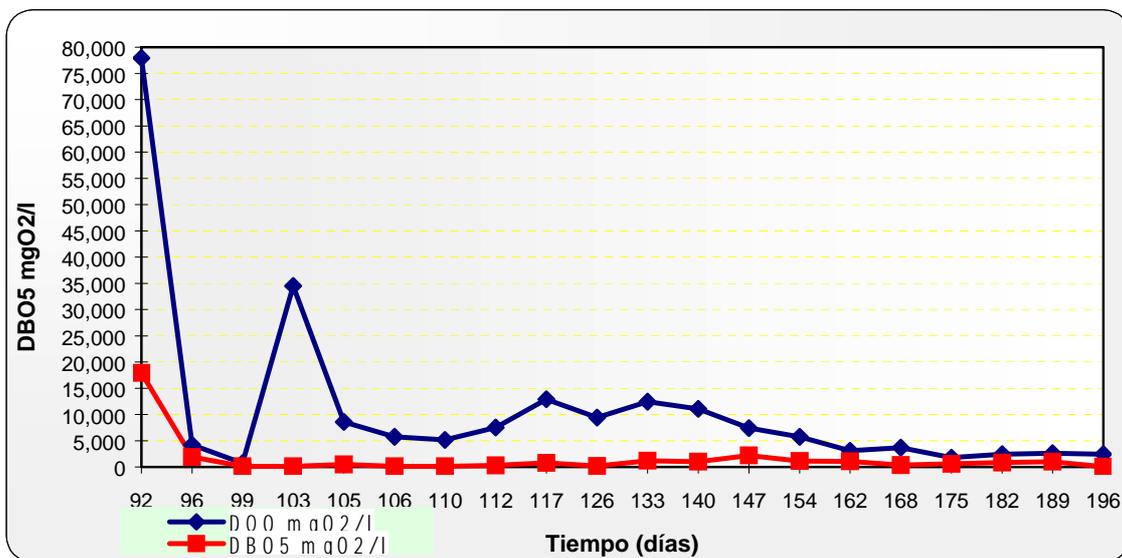


Gráfico # 9 Variación de la DQO y la DBO<sub>5</sub> en el tiempo.

Aquí puede verse que no existe comportamiento similar como es de esperarse al inicio con concentraciones altas, pero a medida que la fracción orgánica disminuye también disminuyen las concentraciones de ambos parámetros, probablemente lo que sucedió es que solo se encontraban presente sustancias difícilmente biodegradables ( la lignina), que no puede ser determinada mediante la prueba de la DBO<sub>5</sub>, la presencia de estas sustancias es posible tomando en consideración la composición química de los residuos sólidos que fueron depositados en el lixímetro, por ejemplo papel, cartón entre otros.

Es importante señalar que hasta el momento de la aparición del lixiviado ya casi todo los residuos sólidos fácilmente putrescibles se habían estabilizado ( el descenso mismo de los residuos es un indicador de su estabilización), reflejándose esta estabilización mediante las bajas concentraciones de DBO<sub>5</sub> encontradas en el lixiviado.

La biodegradabilidad del lixiviado varía con el tiempo. Se pueden supervisar los cambios en la biodegradabilidad del lixiviado mediante el control de la relación  $DBO_5/DQO$ . Inicialmente se espera que las relaciones estén en el rango de 0.5 o más. Las relaciones en el rango de 0.4 a 0.6 se toman como un indicador de que la materia orgánica en los lixiviados es fácilmente biodegradable. En los vertederos mayores de 10 años, la relación  $DBO_5/DQO$  está a menudo en el rango de 0.05 a 0.2. La relación cae porque la mayor parte de la fracción orgánica presente en los residuos ya ha sido biodegradada casi en su totalidad, los únicos compuestos existentes en los residuos son los ácidos húmicos y fúlvicos, que no son fácilmente biodegradables.

Datos iniciales de la relación  $DBO_5/DQO$  fueron de 0.37 y 0.455 para los dos primeros muestreos, indican que estamos en presencia de materia orgánica fácilmente biodegradable, aunque se esperaba un comportamiento de esta relación con tendencia a disminuir con el tiempo, pero no ocurrió así. Incrementos y disminuciones fueron comunes durante casi todo el periodo de caracterización y esto se debió probablemente a la poca presencia de la fracción orgánica en los residuos, o a la asimilación de cierto material orgánico que hasta ese momento no habían sido asimilado aun por los microorganismos encargados de su descomposición.

El valor promedio de la relación  $DBO_5/DQO$  fue de 0.162, comparando este resultado con el rango anteriormente dado para vertederos mayores de 10 años, nos situamos dentro de la categoría de residuos en su fase de estabilización, además la reducción de los residuos sólidos dentro del lixímetro confirman la estabilización de los mismos.

### 5.5.7 Concentración de Sólidos en el Lixiviado.

Los Sólidos que se presentan en el lixiviado puede ser de tipo orgánico y/o inorgánico y provienen de las diferentes actividades domésticas. Los Sólidos Totales representa un valor significativo de la cantidad de materia contaminante presente en un agua residual, y sirven como un soporte evaluativo para la DQO y DBO<sub>5</sub>. Una aproximación de la cantidad de materia orgánica y/o inorgánica se puede determinar con los sólidos volátiles y fijos. Una de las razones importantes de conocer los sólidos volátiles es saber la fracción orgánica que toma parte en el proceso de degradación para una posible tratabilidad por vía biológica

En el Siguiete gráfico se muestra la variación de los sólidos totales, disueltos y suspendidos en el lixiviado.

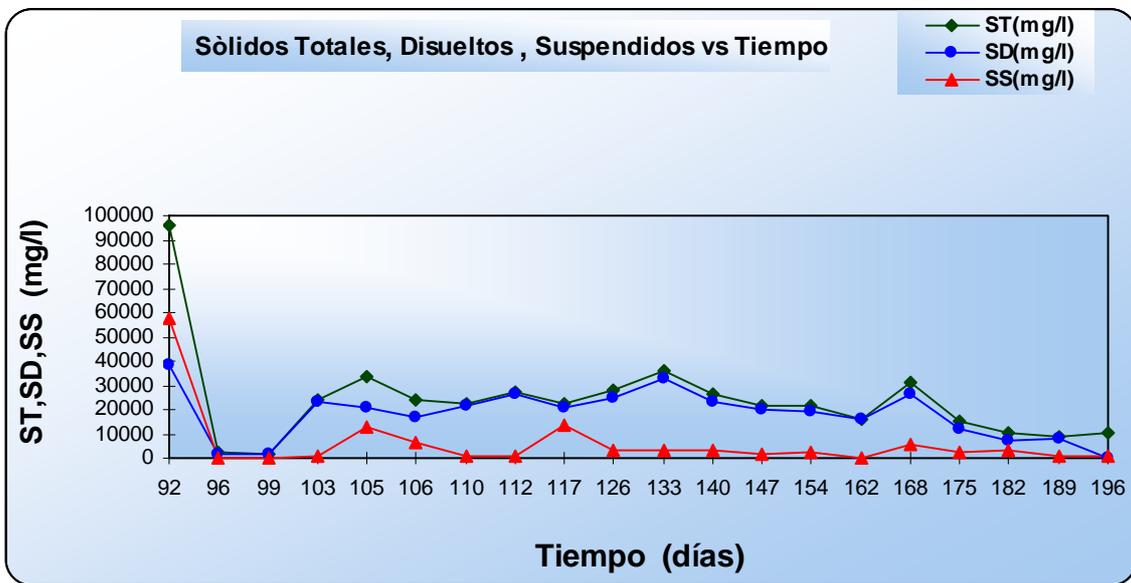


Gráfico # 10 Variación de la concentración de sólidos en el tiempo.

La mayoría de los sólidos se encuentran como sólidos disueltos y sólo una pequeña porción corresponde a sólidos suspendidos, es decir, el 85.47% de los sólidos totales corresponde a sólidos disueltos y el 14.53% a los sólidos suspendidos. La situación anterior podría explicarse por el hecho de que el material enterrado (residuos sólidos y cobertura) actúan como un filtro, reteniendo las partículas en suspensión y dejando pasar las disueltas hasta la parte inferior del lixímetro. Otro factor que hace posible la presencia mayoritaria de los sólidos disueltos es la disolución y arrastre en suspensión de los materiales de los residuos y los productos de la conversión biológica en los líquidos que se infiltran a través de los residuos, interfiriendo de esta manera en la composición del lixiviado.

La concentración de los diferentes tipos de sólidos varió de la siguiente forma: Para los sólidos totales se obtuvieron concentraciones desde los 96,169.0 hasta los 10,200.0 mg/l, los disueltos de los 38,467.6 hasta los 340.0 mg/l y los sólidos suspendidos de 57,701.4 hasta los 90.0 mg/l. La fracción orgánica (sólidos volátiles), presente en los diferentes tipos

de sólidos analizados en el lixiviado siempre fue menor que la fracción inorgánica (sólidos fijos), indicándonos esto el grado de estabilización alcanzado por los residuos hasta el momento de su monitoreo.

Solamente durante el primer muestreo los sólidos suspendidos fueron mayores que los sólidos disueltos y esto puede deberse al hecho que de alguna manera el lixímetro tuvo la función de un filtro, espacios de Residuos sólidos completos una vez degradados formaron intersticios de gran tamaño en los tres meses de período secos, luego al producirse una fuerte precipitación estos residuos fueron arrastrados fácilmente. Los pequeños incrementos en la concentración de sólidos suspendidos pueden explicarse tomando en consideración el arrastre continuo del material sólido junto con el lixiviado que emigra hacia la parte inferior del lixímetro donde es recolectado. La porción orgánica (fracción volátil) presente en los sólidos suspendidos fue del 47.8%, mientras que los sólidos suspendidos fijos representaron el 52.2%.

El comportamiento de los sólidos disueltos totales es similar al de los sólidos totales, durante casi todo el periodo del experimento, pues como ya se había mencionado anteriormente los sólidos totales se encuentran en forma disuelta en el lixiviado.

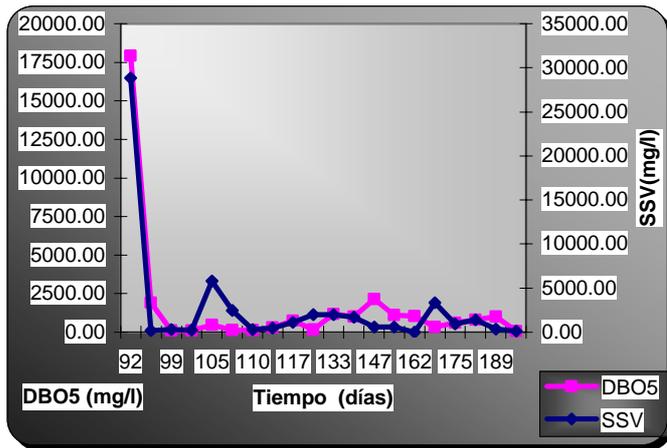
A través del estudio realizado en la ciudad de Cali, Colombia, con un “Lixímetro como elemento Predictivo de un Relleno Sanitario”, se reportaron concentraciones de sólidos presente en el lixiviado de 45,605, 42,496 y 3,083 mg/l de sólidos totales, disueltos y suspendidos, representando los sólidos disueltos el 93.18% de los sólidos totales y el 0.0682% de los sólidos suspendidos se encuentran como sólidos totales.

La concentración promedio de las diferentes formas de sólidos obtenidas en el lixiviado fue de 23,906.95, 18,049.53 y 5,997.47 mg/l de sólidos totales, disueltos y suspendidos. Para un porcentaje del 75.49% y 25.51% de sólidos totales como sólidos disueltos y suspendidos, en todo caso puede apreciarse que el porcentaje de sólidos suspendidos de nuestro lixiviado es mayor que el reportado para el estudio en mención y la fracción de los sólidos disueltos es menor. Sin embargo la concentración promedio de los sólidos totales y disueltos es menor que la presentada anteriormente y en esto puede tener mucha influencia el tipo de desecho sólido depositados dentro del lixímetro, y el proceso de biodegradación que este verificándose.

El comportamiento de los Sólidos Totales con respecto a los Sólidos Fijos y Volátiles del (ver anexo A). Esencialmente se determinó un promedio del 28.37% de los sólidos totales corresponde a los sólidos volátiles y el 71.63% a sólidos fijos; por lo tanto, se confirma la biodegradación de la fracción orgánica desde que los residuos sólidos fueron depositados al lixímetro hasta el momento de la primera recolección de lixiviado.

### 5.5.8 Relación de la DBO<sub>5</sub> con los Sólidos Suspendidos Volátiles

Los Sólidos Suspendidos Volátiles Totales representan de cierta manera la fracción orgánica fácil de degradar, por lo tanto sirve como un de relativo de comparación con los valores de la DBO<sub>5</sub>, de los cuales se puede observar en la gráfica #11, como el comportamiento es bastante similar, a medida que la concentración de los sólidos volátiles disminuye de igual manera disminuye la concentración de la DBO<sub>5</sub> en el tiempo.



Sin embargo, cuando se realiza la prueba de SSV a una temperatura de 600°C no se puede distinguir precisamente entre los residuos orgánicos e inorgánicos porque la pérdida por ignición no está limitada a la materia orgánica porque incluye pérdidas debido a la descomposición o volatilización de ciertas sales minerales. Una mejor medida de la materia orgánica en especial la más fácilmente biodegradable es la DBO<sub>5</sub>.

Gráfico #11 Comportamiento de la DBO<sub>5</sub> con los SSV

### 5.5.9 Relación de la DQO con los Sólidos Totales

De igual manera existe una proporcionalidad entre el comportamiento de la DQO que representa la fracción orgánica total (fácil y difícilmente biodegradable) con los sólidos totales, que representa la fracción orgánica e inorgánica en el lixiviado, esta similitud nos confirma la predominante presencia de componentes orgánicos en el lixiviado, a mayor concentración de sólidos mayor es la concentración de la DQO.

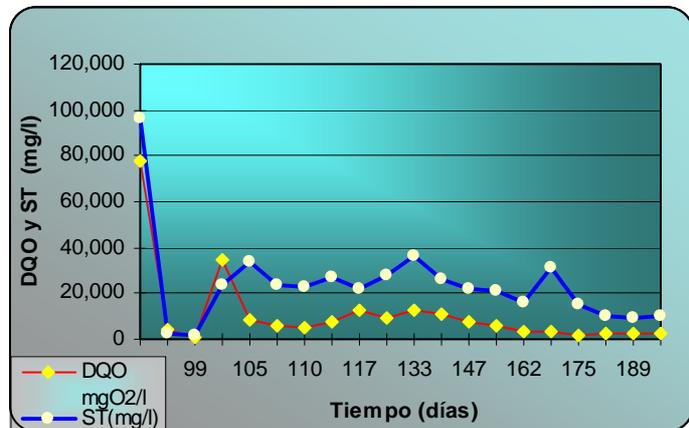


Gráfico #12 Comportamiento de la DQO con los ST

### 5.5.9 La Alcalinidad y los Ácidos Grasos Volátiles

En la segunda fase de degradación de los Residuos Sólidos se da por un proceso de digestión anaeróbica donde en la fase acidogénica se involucra la producción de grandes cantidades de ácidos grasos volátiles dentro del lixímetro, lo cual puede llevar a caída de pH, a valores en los cuales la actividad metanogénica es seriamente inhibida.

El problema puede ser obviado por la acción neutralizante de compuestos amortiguadores que forman con los ácidos generados durante el proceso de fermentación, sales neutras, impidiendo así la acidificación del medio por acumulación de ácidos orgánicos. El sistema tampón o buffer de aguas y aguas residuales, considerando el lixiviado como un agua residual, generalmente es el sistema carbonático, en el cual el ión bicarbonato, principalmente, reacciona con los protones,  $H^+$ , de los AGV, produciendo la respectiva sal e impidiendo así un descenso en el valor del pH por aumento de la concentración de hidrogeniones.

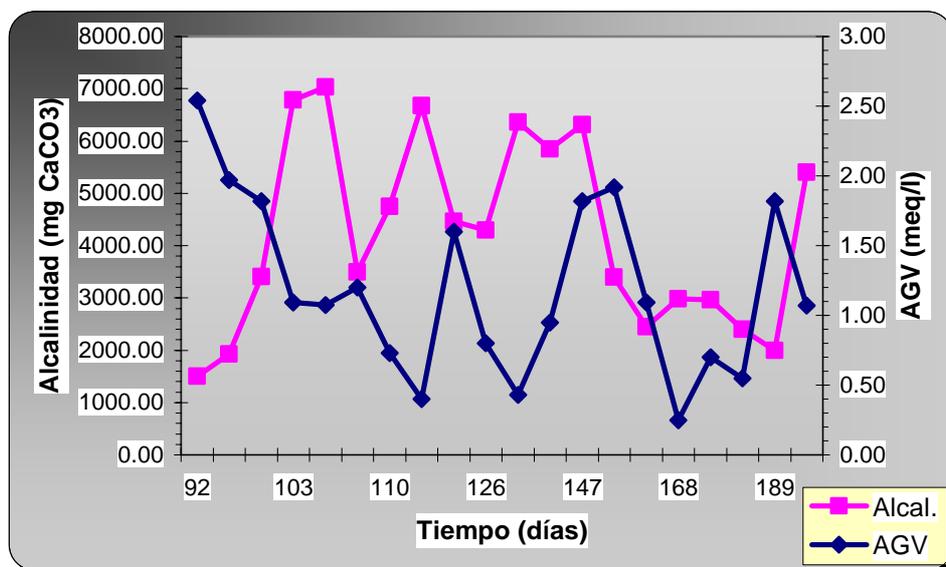


Gráfico N°15 Comportamiento de la Alcalinidad con los AGV

En este gráfico se podemos analizar el comportamiento de la alcalinidad con los AGV, en las dos primeras tomas de lixiviado donde se dio un pH de 7.61 y 7.70 la alcalinidad presento los valores más bajos de 1,500 a 1,930 mg de  $CaCO_3/l$ , y los valores más alto de AGV de 2.54 y 1.97 meq/l, esto indica la existencia de la fase metanogenica en los períodos seco, que fueron representativos al ser expulsado el lixiviado por sobresaturación de una fuerte precipitación. seguidamente el pH a partir del día 99 al 126 se mantuvo en un rango de 9.00 a 9.74 con alcalinidades de 7000 a 4300 mg  $CaCO_3/l$ .

Contrario a los demás parámetros analizados encontramos en la literatura (Chobanoglous) que la alcalinidad respectiva para vertederos nuevos (menos de 2 años) el rango está entre 1000 – 10000 mg CaCO<sub>3</sub>/l con un rango típico de 3000 mg CaCO<sub>3</sub>/l y para vertederos maduro (mayor de 10 años) un rango de 200 – 1000 mg CaCO<sub>3</sub>/l.

En datos reportados por la Waste Age presenta un rango de 100 – 5000 mg CaCO<sub>3</sub>/l con un rango de 6700 mg CaCO<sub>3</sub>/l. Esto significa que el lixiviado considerando solamente este parámetro se comporta como un lixiviado relativamente joven. Por otro lado, a pH <6.0 y >8.0 el trabajo microbial metanogénico se ve seriamente inhibido.

Después del día 126 al 154 la alcalinidad presento valores tan altos como 6,360 mg CaCO<sub>3</sub>/l. a 3,400 mg CaCO<sub>3</sub>/l. luego hasta el final del período de monitoreo se mantuvo en un rango de 2,000 a 2,500 mg CaCO<sub>3</sub>/l. Es importante señalar también el tipo de material cobertura utilizada, este presenta un valor de pH de 8.7 con una alcalinidad de 4,975 mg/l lo que supone un incremento en la alcalinidad presentados por los desechos. Para suelo los valores más altos de pH 8.5 indican la presencia de carbonato de sodio y/o sodio muy intercambiable, y la necesidad de tratar el suelo con yeso, azufre u otros materiales ácidos. Los valores de pH de 8.0 a 8.5 indican con frecuencia la presencia de cal libre y en esta gama y más arriba, la disponibilidad de fósforo, manganeso, cinc y cobre es muy baja frecuente.

Es muy probable que un efecto acumulativo entre la alcalinidad de los desechos y el material de cobertura hayan mantenido elevada las concentraciones, al ir disminuyendo el sustrato dentro del lixímetro, solamente va quedando el material de cobertura con sustrato difícilmente biodegradable, predominando la alcalinidad del material de cobertura.

La alta concentración del ión bicarbonato en el lixiviado reacciona con los patrones, H<sup>+</sup>, de los AGV, produciendo la respectiva sal e impidiendo así un descenso en el valor del pH por aumento de la concentración de hidrogeniones. Por tal razón nunca se obtuvo dentro del monitoreo descenso del pH en el lixiviado, lo que corresponde a valores altos de alcalinidad bicarbonatada y concentraciones bajas de AGV.

### 5.5.10 Concentración de Fósforo Total.

Datos reportados sobre la concentración de Fósforo en lixiviados juvenes (< de 2 años) varían de 5- 100 mg/l y con un valor típico de 30 mg/l (Farquarth), otros estudios han reportado concentraciones que varían de 0.1-30 mg/l con un valor típico de 6 mg/l. Los resultados obtenidos en el lixiviado presentan concentraciones que oscilan de 4.24 - 68 mg/l. Comparando nuestros resultados con estos rangos vemos que estamos dentro de ellos. La concentración típica para nuestro lixiviado es de 35.87 mg/l. Vale la pena mencionar que estos valores están en dependencia del estado metabólico de los residuos contenidos en el lixímetro.

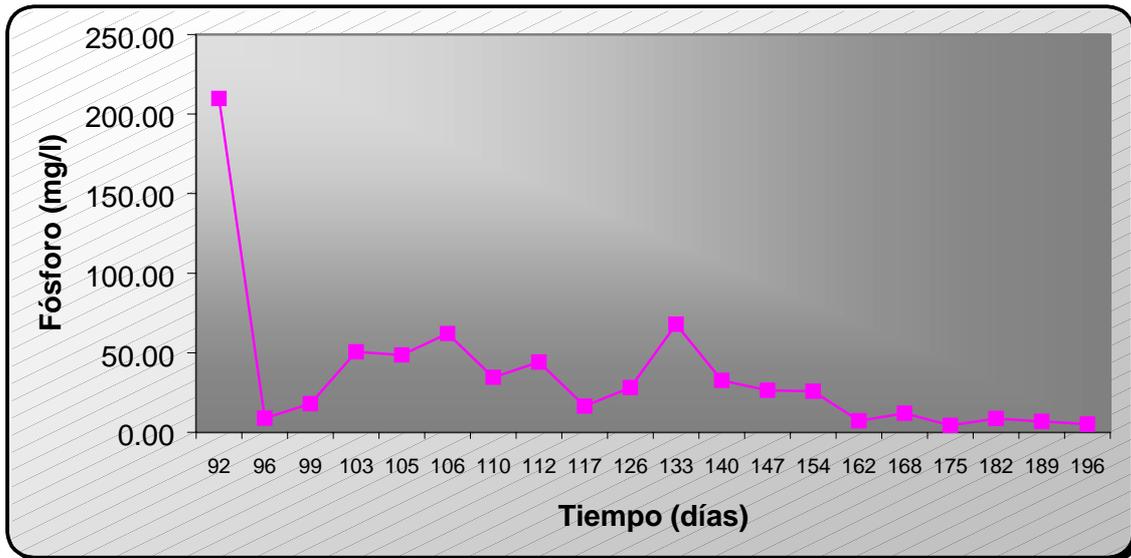


Gráfico # 13 Variación de la concentración de Fósforo Total en el Tiempo.

Los incrementos y/o disminución (ver Gráfico # 13) se debieron probablemente a la liberación y/o consumo de este nutriente por parte de las bacterias encargadas de la biodegradación de los residuos depositados dentro del lixímetro.

Teniendo en cuenta que el Fósforo ( $\text{PO}_4^-$ ) es esencial para controlar los niveles requeridos para la buena marcha de los procesos biológicos, su determinación en el lixiviado es particularmente importante ya que muchos autores han encontrado que Fósforo se encuentra en déficit y por lo tanto debe ser adicionado al desecho. Se conoce que los requerimiento de nutrientes en procesos biológicos se estipulan empíricamente mediante las relaciones de DQO:350:N:7:P:1 para procesos anaerobio. Tomando el valor DQO promedio obtenido en la fase experimental y las relaciones empíricas se requiere de 29.90 mg P/l y se obtuvo un promedio de Fósforo de 32.08 mg/l mayor que el requerido, por lo tanto en nuestro estudio no hubo necesidad de adicionar este nutriente, es decir, que hubo suficiente disponibilidad de Fósforo, para la conversión biológica de la fracción orgánica presente en el lixímetro.

### 5.5.11 Concentración de Nitrógeno en todas sus formas

El lixiviado producido tiene un promedio de temperatura 35 °C y pH 9.03 considerando la teoría presentada en el ítem. Secundamos que estamos dentro de un proceso de desnitrificación. Sin embargo, en los primeros cuatro resultados tenemos la presencia de  $\text{NH}_4^+$  inicialmente se presentó una alta concentración de 162.40 mg/l por el arrastre de carga contaminante que provocó el período de lluvioso provocando la salida del lixiviado, el enjuague y asentamiento de los desechos sólidos, seguidamente decrece en un rango de 8.96 a 30.80 mg  $\text{NH}_4^+$  /l, bajando en su totalidad a cero, el nitrógeno bajo la forma de nitrógeno amoniacal indica que las aguas recientemente han sido contaminadas, en nuestro caso, la descomposición no fue totalmente reciente, a como se ha argumentado en los otros parámetros, el período seco impidió el monitoreo en las primeras fases de la descomposición de sustancias que contienen nitrógeno orgánico, donde se producen altas concentraciones de  $\text{NH}_4^+$ .

Según datos de Shobanoglus para vertederos nuevos (menos de 2 años) el Nitrógeno Amoniacal tiene un rango de 10 – 800 mg/l con un promedio de 200 mg/l, que es el rango correspondiente a nuestro primer resultado (162 mg/l), para vertederos mayores de 10 años se reportan valores de 20 – 40 mg/l, que es el rango de las cinco muestras posteriores (ver anexo A). Por otro lado, Farquahar reporta datos de 1000 – 2000 mg/l de  $\text{NH}_3\text{-N}$  en lixiviados jóvenes, para lixiviados de 5 años se reporta una concentración de 350 mg/l y de 60 mg/l para lixiviados de 15 años. Esto secunda lo discutido para los parámetros anteriormente, que el lixiviado obtenido al final del período de monitoreo se comporta como un lixiviado viejo.

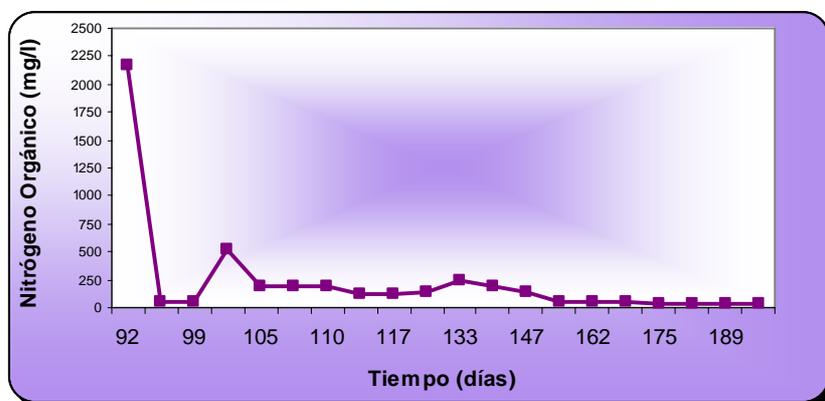


Gráfico # 14 Comportamiento del Nitrógeno Orgánico en el Tiempo

Del Gráfico observamos un efecto acumulativo en la concentración del Nitrógeno Orgánico, este dato nos confirma la presencia de una alta carga contaminante en el lixiviado, y que a pesar de no obtener lixiviado por precipitación en el lixímetro, se estaba produciendo lixiviado por degradación de los componentes orgánicos, una vez que el lixímetro se ha enjugado la curva cae agresivamente con una tendencia a decrecer, por la falta de materia orgánica a degradar. Para Schobanoglus se presentan datos de Nitrógeno Orgánico en vertederos nuevos de 10 – 800 mg/l y para vertederos viejos de 80 – 120 mg/l. Fraquahar presenta datos para lixiviados jóvenes de 500 – 1000 mg/l de Nitrógeno Orgánico.

La revista Waste Age reporta un valor promedio para lixiviados juvenes de 600 mg/l. De los datos experimentales obtenemos como dato promedio de Nitrógeno Orgánico de 233.21 mg/l. Confirmamos la presencia de un lixiviado con un comportamiento de vertedero viejo.

El nitrógeno de nitrito es una fase intermedia de la descomposición biológica del nitrógeno orgánico. El nitrógeno se forma bajo condiciones aeróbicas a partir del amonio. El nitrito es inestable en presencia de oxígeno. La presencia del nitrito en el agua es algunas veces indicador de contaminación orgánica fecal.

El nitrógeno de nitrato representa el mayor estado de oxidación del nitrógeno y se forma de la oxidación amonio por acción de los microorganismos del agua o del suelo. La reducción de nitratos en medios anaeróbicos se lleva a cabo principalmente mediante dos procesos: Desnitrificación Respiratoria y Reducción Disasimilatoria de Nitrato a Amonio. La reducción asimilatoria de nitrato también puede tener lugar, pero en la mayor parte de medios anaerobio existen concentraciones de amonio y nitrógeno orgánico que hace que este proceso sea insignificante desde un punto de vista cuantitativo. En nuestro caso tenemos un proceso de Desnitrificación biológica, es un proceso microbiano mediante el cual los nitratos y nitritos se reducen a nitrógeno gaseoso. Se trata de un mecanismo respiratorio en el que el nitrato o nitrito reemplaza al oxígeno molecular como aceptor de electrones, al contrario a lo que ocurre en la asimilación de nitrato, en que éste es reducido a amonio. En el proceso de desnitrificación, tanto como el nitrato como la materia orgánica pueden ser limitante.

Tabla N° 7 Familia del Nitrógeno

Tiempo (días)	NH <sup>+</sup> <sub>4</sub> (mg/l)	NTK (mg/l)	Norg (mg/l)	NO <sup>-</sup> <sub>3</sub> (mg/l)	NO <sup>-2</sup> (mg/l)
92	162.00	2340.00	2178.00	53.29	n.h
96	8.96	62.56	53.60	18.83	n.h
99	16.80	70.00	53.20	2.64	n.h
103	39.20	566.30	527.10	287.28	96.27
105	0.00	190.40	190.40	260.64	120.64
106	0.00	196.00	196.00	211.17	222.14
110	0.00	184.80	184.80	94.90	90.71
112	0.00	123.20	123.20	310.27	199.05
117	0.00	120.40	120.40	268.13	110.40
126	0.00	142.80	142.80	n.h	n.h
133	0.00	246.40	246.40	n.h	61.91
140	0.00	190.40	190.40	n.h	200.71
147	0.00	131.60	131.60	176.37	139.52
154	11.20	70.00	58.80	216.00	132.26
162	0.00	57.12	57.12	162.54	141.67
168	0.00	48.16	48.16	179.87	26.43
175	0.00	40.80	40.80	131.90	28.57
182	0.00	42.56	42.56	140.06	20.00
189	0.00	39.06	39.06	14.82	9.43
196	0.00	39.76	39.76	19.02	7.14

Si notamos en la tabla N°7a partir del sexto muestreo no se reportan datos de  $\text{NH}_4^+$  indicador de que no hay una polución reciente, por lo tanto al no haber producción de este, tampoco se puede dar la reducción disasimilatoria de nitrato a amonio, este último proceso sólo se lleva a cabo cuando existe un medio rico en carbono; sin embargo en medios ricos en nitrato se produce preferentemente la desnitrificación. También encontramos inicialmente en la Tabla N°7 datos significativos de nitrógeno orgánico producto de la degradación de los desechos sólidos, a la vez notamos un decrecimiento a partir del día 62 del Nitrógeno Orgánico, Nitratos y Nitritos, como se menciono anteriormente la materia orgánica en un factor limitante en la desnitrificación y mucho más aún si se diera una reducción disasimilatoria de nitrato a amonio. Esto significa que a medida que los microorganismos no poseen suficiente materia orgánica fácilmente biodegradable los parámetros de nitrógeno decrecen. Es importante señalar que en este período los datos reportados en la caracterización física de los desechos sólidos, la determinación de la DQO, DBO y sólidos volátiles encontramos un sustrato bastante agotado y con muy poco biodegradable.

Los requerimientos de nutrientes en procesos biológicos se estipulan empíricamente mediante las relaciones de DQO: 350; N:7; P:1 para procesos anaerobio y de DQO: 100; N:5; P:1 para procesos aerobios. El análisis de nitrógeno resulta importante cuando se quiere saber si es o no necesario su adición en un proceso biológico de acuerdo a las relaciones de nutrientes expresada anteriormente.

## 5.6 Cantidad de Lixiviado

Como se mencionaba en el marco teórico el lixiviado producido en el lixímetro solamente se da por dos vías, el lixiviado por descomposición y lixiviado por precipitación. Sin embargo, durante el período seco de monitoreo no hay presencia de lixiviado por precipitación, solamente por descomposición, complementado por el porcentaje de humedad contenida en los residuos sólidos, lamentablemente si no hay sobresaturación de la producción de lixiviado no hay expulsión del mismo, lo que ocurrió inicialmente. Fue a partir del día 92 que se obtuvo el primer lixiviado producto de una fuerte precipitación en esa temporada. El comportamiento de la cantidad de lixiviado monitoreado fue el siguiente:

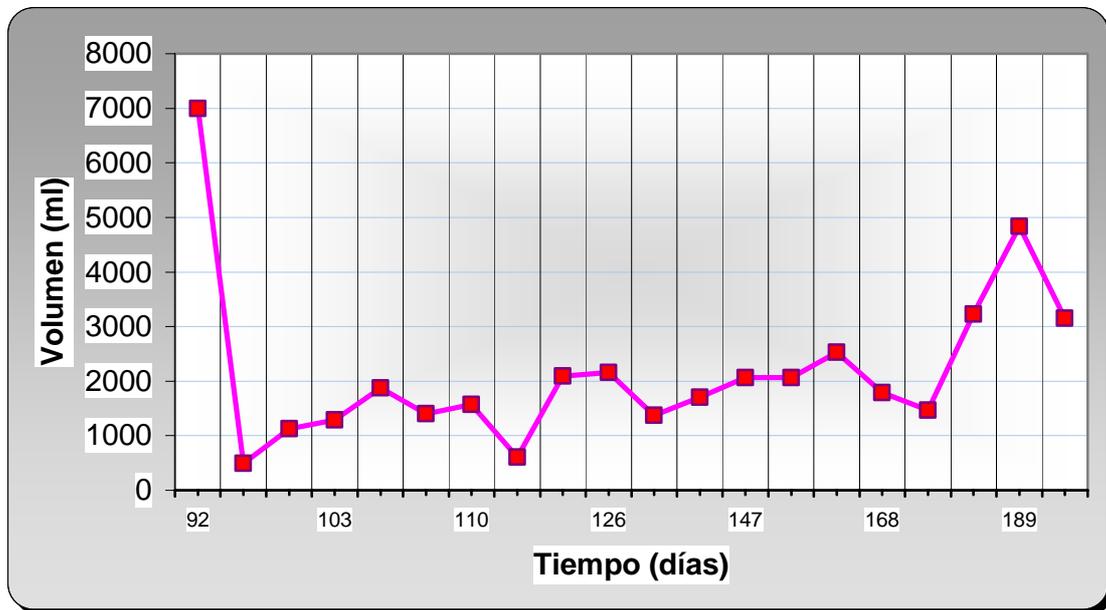


Gráfico # 16 Cantidad de Lixiviado por descomposición y precipitación

Se recolecto desde el día 92 al 196 un volumen de 43,808 ml (43.8 lts) en un período de 104 días, con un temporal de invierno.

## VI – CONCLUSIONES

Tomando como referencia el capítulo V “ Presentación y Discusión de Resultados” el estudio de evaluación de lixiviados a través de la construcción de un biodigestor de residuos sólidos mejor llamado Liximetro, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- La composición de la materia orgánica fácilmente putrescible de los residuos sólidos fue del 73.8 %. Esta alta composición favorece la carga contaminante contenida en el lixiviado producto de la degradación de estos residuos, incrementándose los valores de DQO y DBO, con el aumento de la fracción orgánica, cuando el sustrato se ha degradado en su totalidad como sucedió en el liximetro estos valores tienden a disminuir.
- El contenido de humedad de los residuos orgánicos fue del 52.92%, suficiente para dar inicio al proceso de degradación de la materia orgánica aún en períodos calientes y de poca precipitación como el Municipio de Mateare, obra de esta degradación es el lixiviado que se obtiene por descomposición, sin embargo por no darse las condiciones de sobresaturación de los mismos residuos y del material de cobertura el lixiviado no pudo ser expulsado.
- La cantidad de Residuos Sólidos adicionada al liximetro fue de 344.50 Kg, degradándose el 63% en 196 días de monitoreo continuo. El 37% restante de los residuos estaba constituido por trapos, plástico, pedazos de vidrio y metal.
- El lixiviado obtenido no fue químicamente agresivo, por comportarse como un lixiviado de un vertedero de 10 años de operación. Inicialmente los valores de la caracterización físico – química reportan datos elevados, lo que realmente sucedió, fue que el liximetro se enjuagó con la lluvia de un temporal que duró una semana, expulsando el lixiviado producido por descomposición de los residuos. Una vez que el liximetro se enjuagó, el lixiviado obtenido presenta características de un lixiviado en fase de estabilización.
- Las concentraciones de casi todos los parámetros analizados están por debajo de los rangos esperados para lixiviados jóvenes (< 2 años).
- La temperatura promedio de los residuos dentro del liximetro fue de 32.12 °C, lo que indica que se trabajó en un rango mesofílico.
- El pH del lixiviado se encontró en un rango de 7.61 a 9.74 decreciendo hasta un valor de 8.73 al final del período de caracterización. El pH se incrementa producto de los altos valores de alcalinidad obtenidos por la presencia de iones bicarbonatos. Al contrario los ácidos grasos volátiles se encuentran en concentraciones menores de 50 mg Hac/l, valor reportado para lixiviados viejos (> 10 años).

- Los sólidos disueltos y la conductividad eléctrica presentaron altos valores y similar comportamiento en casi todo el periodo de caracterización, debido a la influencia directa que tienen los sólidos disueltos totales sobre la conductividad eléctrica. El valor promedio de la conductividad eléctrica fue de 20.54 mS/cm y para los sólidos disueltos fue de 18,049.53 mg/l.
- La turbiedad y los sólidos suspendidos totales presentaron un comportamiento similar durante todo el proceso de caracterización. Se obtuvieron valores promedios de turbiedad de 709.57 NTU y de 5,997.47 mg/l de sólidos suspendidos totales.
- La concentración de los sólidos totales fue de 45,605 mg/l, con un 28.37% corresponden a los sólidos volátiles y el 71.63% a los sólidos fijos, se comprueba que los sólidos contenidos en el lixiviado estaban constituido en mayor proporción por compuestos inorgánicos que orgánicos, lo que significa la disminución de la cantidad de sustrato orgánico por degradar.
- La Demanda Química Orgánica determinada en el primer día de expulsión de lixiviado fue de 77,912.02 mg O<sub>2</sub>/l, luego disminuyó a un valor de 5,162.89 mg O<sub>2</sub>/l, y nuevamente se vuelve incrementar hasta un valor máximo de 34,486.00 mg O<sub>2</sub>/l, decreciendo seguidamente a un valor de 1800 mg O<sub>2</sub>/l. La Demanda Bioquímica de Oxígeno al inicio fue de 17,919.76 mg O<sub>2</sub>/l luego bajo hasta 175.00 mg O<sub>2</sub>/l, durante la fase intermedia de caracterización se incremento a una rango de 1,000 a 2,160 mg O<sub>2</sub>/l. Estos valores de Demanda Química y Bioquímica de Oxígeno nos indican que la degradación de los residuos sólidos es heterogénea, mientras la humedad sigue migrando a través de los residuos; se convierten porciones del material biodegradable que anteriormente no estaban disponibles se dan reacciones bioquímicas de forma dispersa y no forma secuencial.
- Se conoce que los requerimiento de nutrientes en procesos biológicos se estipulan empíricamente mediante las relaciones de DQO:350:N:7:P:1 para procesos anaerobio. Tomando el valor DQO promedio obtenido en la fase experimental (10,464.52 mg/l) y las relaciones empíricas se requiere de 29.90 mg P/l y se obtuvo un promedio de Fósforo de 32.08 mg/l mayor que el requerido, por lo tanto en nuestro estudio no hubo necesidad de adicionar este nutriente, es decir, que hubo suficiente disponibilidad de Fósforo, para la conversión biológica de la fracción orgánica presente en el lixímetro.
- Tomando en cuenta la relación anterior se requiere de 209.29 mg/l de Nitrógeno Total y se dispone de un promedio de 245.12 mg/l, lo necesario para la conversión biológica de la fracción orgánica presente en el lixímetro. Se concluye además que se presento un proceso de desnitrificación biológica para esta conversión.

## **VII RECOMENDACIONES**

- **Ubicar el Liximetro en una zona d mayor precipitación para analizar el lixiviado en época de verano. Con el propósito de determinar la cantidad y calidad de lixiviado durante las variaciones estacionales.**
- **Diseñar un Liximetro de forma trapezoidal que se aproxime al diseño real de una trinchera de Relleno Sanitario, con celdas en paralelo.**
- **Realizar análisis de metales pesados al lixiviado producido.**
- **Evaluar las condiciones meteorológicas de la zona de influencia y realizar un balance hídrico para determinar la cantidad de lixiviado teórico esperado.**
- **Desarrollar pruebas de análisis microbiológico al lixiviado.**

## VIII BIBLIOGRAFIA

- **ROVERS, F, A Y FARQUAR, G.I.** Estudio de rellenos sanitarios. V II. Canadá. University of Waterloo Research Institute, 1972.
- **ROVERS, F.A Y FARQUHAR,G.J.** Mmanagement of Leachate in Landfills. Journal of the Environmental Engineering Divisison. ASCE. 1973. Vol.99, N°67
- **CHIAN,E.S.K. y DEWALLE, F.B.** Sanitary Landfill leachales and their treatment. En: Journal of Environmental Engineering Division. ASCE, 1976. Vol.102, N°.EEA
- **MOLZ,F.J.; VAN FLEET,S.R. Y BROWNING,V.D.** Pilot-Scale investigations of Lanndfills Stabilizationd. Ground water, 1974. vol.12 N°.394
- **CHIAN, E.S.K. Y DEWALLE,F.B.**American Institute of Chemical Engineers Division Symposion Series, 1975.Vol.71, N°.319.
- **CHEN,K Y BOWERMAN,F.B.** Mecananismo de formación de lixiviados en rellenos sanitarios, Journal of the Environmental Engineering Divisison. ASCE. 1974.
- **QASIM,S.R. Y BURCHINAL,J.C.** Refuse Disposal. Journal of the Waste Pollutin Control Federations, 1970.Vol.42.N°371.
- **EIFERT,M.C.** Gas y Lixiviados de rellenamientos. Formación, recolección y tratamiento. EPA 600/9-76-001.Marzo,1976.
- **COLLINS. Hans-Jorgen and Spillmann,Meter.** Lysimeters for simulating sanitary landfills. En: Journal of Environmental Engineering Division, ASCE. Vol.108, N°. EE% .Octubre,1982.
- **BOOKTER, Todd and HAM, Robert.** Stabilization of solid waste in landfills. En: Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE. Vol.108, N°.EE6 (December 1982).
- **FARQUAHAR,G.J.** Management of gas and leachate in landfills. U.S. EPA. 600/9-77-026. September 1987.
- **STANDAR METHODS FOR THE EXAMITANTION OF WATER AND WASTEWATER.** 15<sup>TH</sup> ED. 1980.APHA,AWWA,WPCF.

**ANEXO A**  
**MICRO LOCALIZACIÓN**



## **ANEXO B**

### **TABLAS DE RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO- QUÍMICOS DEL LIXIVIADO**

**Tabla # 1**

<b>Tiempo (días)</b>	<b>pH</b>	<b>CE (mS/cm)</b>	<b>Turbiedad (NTU)</b>
92	7.61	3.93	210.0
96	7.70	2.21	200.0
99	8.03	19.16	220.0
103	8.73	26.90	112.0
105	9.43	30.30	1100.0
106	9.30	20.60	602.0
110	9.73	26.60	301.0
112	9.33	28.80	410.0
117	9.68	22.50	365.0
126	9.74	26.30	1390.0
133	9.64	32.40	5000.0
140	9.50	28.90	820.0
147	9.44	24.50	972.0
154	9.47	24.40	590.0
162	9.43	22.70	174.0
168	9.26	16.39	798.0
175	9.05	18.78	482.0
182	8.05	11.71	220.5
189	8.78	11.59	112.7
196	8.73	12.14	112.1
<b>Máximo</b>	9.74	32.40	5000.0
<b>Mínimo</b>	7.61	2.210	112.0
<b>Promedio</b>	9.03	20.54	709.6

**Tabla # 2**

<b>Tiempo</b> (días)	<b>DQO</b> (mgO <sub>2</sub> /l)	<b>DBO<sub>5</sub></b> (mgO <sub>2</sub> /l)	<b>DBO/DQO</b>
92	77,912.0	17919.76	0.230
96	4,222.8	1,920.00	0.455
99	729.0	109.50	0.150
103	34,486.0	108.00	0.003
105	8,590.0	480.00	0.056
106	5,726.8	139.00	0.024
110	5,162.9	128.00	0.025
112	7,502.1	310.00	0.041
117	12,877.6	750.00	0.058
126	9,435.3	175.00	0.019
133	12,450.0	1170.00	0.094
140	11,085.6	1000.00	0.090
147	7,420.5	2160.00	0.291
154	5,712.6	1110.00	0.194
162	3,083.0	1040.00	0.337
168	3,670.0	340.00	0.093
175	1,800.0	600.00	0.333
182	2,400.0	800.00	0.333
189	2,624.8	1000.00	0.381
196	2,399.4	78.00	0.033
<b>Máximo</b>	77,912.0	17919.76	0.455
<b>Promedio</b>	10,964.5	1566.86	0.162
<b>Desv. estand.</b>	17,363.2	3894.34	0.145

Tabla # 3

<b>Tiempo</b>	<b>Alc Total</b>	<b>AGV</b>	
(días)	(mg CaCO <sub>3</sub> )	(meq/l)	Volumen ml
92	1500.00	2.54	7000
96	1930.00	1.97	490
99	3409.00	1.82	1126
103	6785.50	1.09	1284
105	7036.00	1.07	1870
106	3496.00	1.20	1400
110	4753.50	0.73	1570
112	6680.00	0.40	610
117	4461.00	1.60	2090
126	4300.00	0.80	2160
133	6360.00	0.43	1375
140	5842.12	0.95	1705
147	6309.00	1.82	2068
154	3400.00	1.92	2060
162	2445.45	1.09	2525
168	2987.00	0.25	1790
175	2965.40	0.70	1465
182	2400.00	0.55	3230
189	2000	1.82	4835
196	5400.00	1.07	3155
<b>TOTAL</b>			43808
<b>Máximo</b>	7036.00	2.54	7000.00
<b>Mínimo</b>	1500.00	0.25	490.00
<b>Promedio</b>	4223.00	1.20	2190.40

Tabla # 4 Concentración de Nutrientes

<b>Tiempo</b> (días)	<b>NH<sup>+</sup><sub>4</sub></b> (mg/l)	<b>NTK</b> (mg/l)	<b>Norg</b> (mg/l)	<b>NO<sup>-</sup><sub>3</sub></b> (mg/l)	<b>NO<sup>-2</sup></b> (mg/l)	<b>P<sub>Total</sub></b> (mg/l)
92	162.00	2340.00	2178.00	53.29	n.h	209.82
96	8.96	62.56	53.60	18.83	n.h	8.75
99	16.80	70.00	53.20	2.64	n.h	17.86
103	39.20	566.30	527.10	287.28	96.27	50.50
105	0.00	190.40	190.40	260.64	120.64	48.50
106	0.00	196.00	196.00	211.17	222.14	62.00
110	0.00	184.80	184.80	94.90	90.71	34.50
112	0.00	123.20	123.20	310.27	199.05	44.15
117	0.00	120.40	120.40	268.13	110.40	16.38
126	0.00	142.80	142.80	n.h	n.h	28.02
133	0.00	246.40	246.40	n.h	61.91	68.00
140	0.00	190.40	190.40	n.h	200.71	32.67
147	0.00	131.60	131.60	176.37	139.52	26.37
154	11.20	70.00	58.80	216.00	132.26	25.82
162	0.00	57.12	57.12	162.54	141.67	7.30
168	0.00	48.16	48.16	179.87	26.43	11.94
175	0.00	40.80	40.80	131.90	28.57	4.24
182	0.00	42.56	42.56	140.06	20.00	8.67
189	0.00	39.06	39.06	14.82	9.43	6.74
196	0.00	39.76	39.76	19.02	7.14	5.16
<b>Máximo</b>	162.00	2340.00	2178.00	310.27	222.14	209.82
<b>Mínimo</b>	0.000	39.06	39.06	2.64	7.14	4.24
<b>Promedio</b>	11.91	245.12	233.21	149.87	100.43	35.87

Tabla # 5 Concentración de los diferentes tipos de Sólidos.

<b>Tiempo</b>	<b>ST</b>	<b>SVT</b>	<b>SFT</b>	<b>SVT/SFT</b>	<b>SD</b>	<b>SDV</b>	<b>SDF</b>	<b>SS</b>	<b>SSV</b>	<b>SSF</b>
(días)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
92	96169	67318.30	28850.70	2.33	38467.60	34620.84	3846.76		0.00	0.00
96	2170	870.00	1300.00	0.67	1800.0	700.0	1100.0	370.0	170.00	200.00
99	1780	570.00	1210.00	0.47	1424.0	271.0	1153.0	356.0	299.00	57.00
103	23660	5720.00	17940.00	0.32	23000.0	5498.0	17502.0	660.0	222.00	438.00
105	33450	11060.00	22390.00	0.49	20750.0	5250.0	15500.0	12700.0	5810.00	6890.00
106	23620	7400.00	16220.00	0.46	17020.0	4910.0	12100.0	6600.0	2490.00	4170.00
110	22580	5290.00	17290.00	0.31	21930.0	4990.0	16940.0	650.0	300.00	350.00
112	27120	7620.00	19500.00	0.39	26520.0	7180.0	19340.0	600.0	440.00	160.00
117	22110	6710.00	15400.00	0.44	20730.0	2000.0	18130.0	13800.0	1104.00	276.00
126	27960	8390.00	19570.00	0.43	24900.0	6375.0	18525.0	3040.0	1995.00	1045.00
133	36270	13450.00	22820.00	0.59	33160.0	11480.0	21680.0	3110.0	1970.00	1140.00
140	26570	7900.00	18670.00	0.42	23200.0	6200.0	17000.0	3060.0	1685.00	1375.00
147	21570	6070.00	15500.00	0.39	19650.0	5494.0	14156.0	1920.0	576.00	1344.00
154	21270	6410.00	14860.00	0.43	18830.0	5822.0	13008.0	2440.0	588.00	1852.00
162	15880	3060.00	12820.00	0.24	15637.0	3040.0	12597.0	210.0	20.00	190.00
168	31590	8750.00	22840.00	0.38	26339.0	5383.0	20956.0	5252.0	3367.00	1885.00
175	15000	3520.00	11480.00	0.31	12333.0	2577.0	9757.0	2667.0	943.00	1723.00
182	10010	2430.00	7580.00	0.32	6960.0	1008.0	5952.0	3050.0	1422.00	1626.00
189	9160	2030.00	7130	0.28	8000.0	2400.0	5600.0	1160.0	348	812
196	10200	1130.00	9070.00	0.12	340.0	340.0	3920.0	603.0	90.00	513.00
<b>Máximo</b>	96169	67318.30	28850.70	2.33	38467.60	34620.84	21680.00	13800.00	5810.00	6890.00
<b>Mínimo</b>	1780	570.00	1210.00	0.12	340.00	271.00	1100.00	210.00	0.00	0.00
<b>Promedio</b>	23907	8784.92	15122.04	0.49	18049.53	5776.94	12438.14	3276.21	1191.95	1302.30

**ANEXO C**

**METODOS ANALITICOS**

## MEDICIÓN DEL VALOR pH

4500-H<sup>+</sup> Método Electrométrico

### .1 Principio:

El principio básico de las mediciones de pH es la determinación de la actividad del ion hidrógeno por medición potenciométrica usando un electrodo estándar de hidrógeno y un electrodo de referencia. El electrodo de hidrógeno consiste en un electrodo de platino a través del cuál el hidrógeno es burbujeado a una presión de 101 Kpa. Debido a la dificultad en su uso y el potencial para el envenenamiento del electrodo de hidrógeno, se usa comúnmente el electrodo de vidrio. La fuerza electromotriz producida en el sistema de electrodo de vidrio varían linealmente con el pH.

### .2 Equipos y Materiales:

- pHmetro:
- Agitador magnético.
- Magnétos.
- Soporte.
- Beaker de 100 ml.
- Pizetas.
- Papel Kleenex.

### .3 Reactivos:

- (a) *Agua Destilada.*
- (b) *Solución Buffer de 4, 7 y 10 unidades de pH.*

### .4 Procedimiento:

#### Calibración:

1. Conectar el pHmetro a la fuente de poder, encenderlo y dejarlo calentar por 15 minutos.
2. Elegir dos soluciones tampón que tengan una diferencia entre ambas de aproximadamente 3 unidades de pH. Llenar en dos beakers suficiente cantidad de soluciones tampón con valores de pH=7 y pH=4 respectivamente o pueden ser también de pH=7 y pH=10.
3. Poner en equilibrio las soluciones tampón de calibración y las de medir, y los electrodos a 25<sup>0</sup> C
4. Cambiar el modo del pHmetro pasando de su posición original en **Estandby** a función **Lectura o pH.**
5. Ajustar la temperatura del equipo para que ésta sea igual a la ambiente.
6. Enjuagar los electrodos con agua destilada.

7. Sumergir el electrodo en la solución tampón de pH=7. Dejar que se estabilice la medición y ajustar el indicador del instrumento al valor de la solución tampón con el mando regulador de estandarización.
8. Regresar al modo de **Estandby**.
9. Repetir el paso 6, y 8 para buffers diferentes (pH=4 o pH=10), con el fin de calibrar el equipo.
10. Sacar el electrodo, enjuagarlo con agua destilada al menos tres veces y secar cuidadosamente con papel kleenex.

**Nota:** Las disoluciones tampón alcalinas son muy inestables, debido a la absorción del CO<sub>2</sub> procedente del aire, lo que puede conducir a errores en la calibración. Por lo tanto, se recomienda calibrar preferentemente en el campo ácido, ya que una calibración de errores de alcalinidad no es posible con las disoluciones tampón habituales, pobres en iones.

### **Medición del valor del pH:**

1. Estando en posición de **Estandby**, introducir el electrodo a la muestra, sin que éste toque las paredes ni el fondo del recipiente que contiene la muestra, agitar la muestra y pasar entonces al modo de **Lectura**.
2. Esperar que se estabilice la lectura y registrar su valor. Este será el valor de pH de la muestra.
3. Retornar al modo de **Estandby**, retirar el electrodo, lavarlo con agua destilada, secar con papel kleenex e introducirlo a un beaker que contenga agua destilada.
4. Apagar el equipo.

# CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

2510.B      Método de Laboratorio

## .1 Principio:

El término conductancia se refiere a la capacidad de los materiales para transmitir una corriente eléctrica. Los líquidos los cuales conducen una corriente eléctrica están generalmente referidos a un conducto electrolítico, en el cual el flujo es acompañado por el movimiento de cargas eléctricas, iones positivos y negativos, cuando el líquido está bajo la influencia de un campo eléctrico. La conductancia de un líquido puede ser definida por sus propiedades eléctricas. La conductancia de una solución es el recíproco de su resistencia y sus unidades están en mhos (recíproco de Ohms).

La conductancia específica ( $k_s$ ) de una solución es la conductancia de 1 cc de solución entre dos electrodos de  $1 \text{ cm}^2$  de área, separados 1 cm y tiene como unidades mhos/cm. Las mediciones de conductividad se hacen en una celda de igual nombre, con un puente de wheatstone que trabaja con corriente alterna para evitar cambios en la composición de los electrodos (realmente lo que se mide es la resistencia, sin embargo el equipo la convierte a conductancia).

## .2 Equipos y Materiales:

- Equipos para medición de Conductividad Modelo 140, Marca ORION.....
- Agitador magnético.
- Magneto.
- Beaker de 100 ml.
- Pizetas.

## .3 Reactivos:

- (a) Agua Destilada.
- (b) Solución de cloruro de potasio estándar, 0.01N.

## .4. Procedimiento:

### Selección del rango manual:

1. Encender el equipo (en posición ON), manteniendo al mismo tiempo presionada hacia abajo el botón DOWN.
2. Esperar por lo menos 2 minutos hasta que aparezca en pantalla LCD.

3. Después por presiones sucesivas de la tecla S/cm, se selecciona el rango promedio de medida. Empezar por el rango más bajo.
4. Si aparece un indicador en pantalla de OFL indica que el valor está fuera del rango (OVERFLOW).

**Selección del rango automático:**

1. Poner el switch en ON mientras se presiona el botón UP al mismo tiempo.
2. Esperar que aparezca en pantalla LCD para completar.
3. Ahora la medida estará en rango automático.

**Medición de la muestra:**

1. Antes de sumergir la celda de conductividad en la muestra, el MODELO 140 muestra en pantalla OF THAT SAMPLE.
2. El valor de la medición aparece en pantalla directamente. Registra la medición.
3. La unidad de medida ( $\mu\text{S}/\text{cm}$  ó  $\text{mS}/\text{cm}$ ) se indica por el cursor que está a la izquierda de LCD que aparece en pantalla.
4. Enjuague la celda varias veces con agua destilada para lavar y remover los contaminantes solubles en agua.
5. Si es necesario sumergir el electrodo en solución de cloruro de potasio por 15 minutos y luego enjuagar con agua destilada.

## DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

### 5220.C Reflujo Cerrado, método titulométrico

#### .1 Principio:

Muchos tipos de materia orgánica son oxidados mediante ebullición en una mezcla de ácido crómico y sulfúrico. La muestra es sometida a reflujo en una solución fuertemente ácida con un exceso conocido de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ). Después de la digestión el remanente de  $K_2Cr_2O_7$  no reducido se titula con sulfato ferroso amoniacal, se determina la cantidad de  $K_2Cr_2O_7$  consumido y la cantidad de materia orgánica oxidable se calcula en término de oxígeno equivalente.

#### .2 Equipos y Materiales:

- Tubos de ensayos para digestión .
- Bloque de destrucción.
- Gradilla para los tubos de ensayos.
- Bureta de 50 ml.
- Balones aforados de 100, 200 y 500 ml.
- Pipetas volumétricas de 5 y 10 ml.
- Goteros.
- Agitador magnético.
- Mángeto.
- Soporte y pinza.
- Pera.
- Pizeta.

#### .3 Reactivos:

- ❑ *Solución patrón de dicromato de potasio*, 0.025 N:
- ❑ *Sulfato de plata* ( $AgSO_4$ ), grado reactivo en polvo o cristales.
- ❑ *Acido sulfúrico* ( $H_2SO_4$ ) concentrado.
- ❑ *Solución indicadora de Ferroín* (1,10-fenantrolina monohidratada y  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ )
- ❑ Solución patrón titulante de *sulfato ferroso amoniacal* (FAS), aproximadamente 0.025 N.
- ❑ *Sulfato de mercurio*,  $HgSO_4$  en cristales o en polvo.

#### .4 Procedimiento:

1. Tome 2.5 ml de muestra y adicinarla en un tubo de ensayo para digestión.
2. Adicionar al tubo de ensayo 1.5 ml de dicromato de potasio y agitar.
3. Haciendo uso de un guante agregar al tubo de ensayo 3.5 ml de ácido sulfúrico con sulfato de plata, tapar bien y agitar remoliendo la mano horizontalmente.

4. Poner a digestión en un bloque de destrucción a 150<sup>0</sup>C por un tiempo de 2 horas, luego sacarlos y dejar enfriar a temperatura ambiente.
5. Hacer un blanco y una molaridad con agua destilada y trabajarla igual que la muestra, pero solamente el blanco se introduce en el bloque de destrucción.
6. Después de 2 horas de digestión, pasar los tubos con la muestra, el blanco y la molaridad a la gradilla y dejarlos enfriar a temperatura ambiente.
7. A cada tubo adicionar 2 gotas de ferroín lo que origina un color verde - celeste.
8. Titular con FAS hasta un cambio de coloración rojo-vino (café marrón).
9. Anotar el volumen gastado de titulante.

#### .5 Cálculos:

$$\text{DQO (mg/l)} = [ ( A - B ) * M * 8,000 ] / \text{ml de muestra}$$

*Donde:*

- A:** ml de FAS consumido por el blanco.  
**B:** ml de FAS consumidos por la muestra.  
**M:** Molaridad del FAS

$$M = (1.5/C) * 0.1$$

*Donde:*

- C:** ml de FAS consumido por el tubo de molaridad.

## DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO<sub>5</sub>)

### 5210.B Prueba de DBO de cinco días.

#### .1 Principio:

El método consiste en llenar completamente con la muestra una botella, la cual se tapa herméticamente para evitar la entrada de aire, y se somete a incubación bajo unas condiciones especificaciones por un tiempo determinado. El Oxígeno disuelto (OD) se mide al inicio y después del período de incubación.

El tamaño de la botella y el período de incubación, as como la temperatura de incubación están especificados. También como muchas aguas residuales contienen mas material demandante de oxígeno que el OD disponible en el agua saturada, es necesario diluir la muestra antes de la incubación para conducir la demanda y suministrar un balance apropiado.

#### .2 Equipos y Materiales:

- Incubadora
- Winkler de 300 ml
- Probeta de 100 ml
- Pipetas
- Frascos erlenmeyer de 250 ml
- Bureta semi-automática de 20 ml
- Pera
- Papel aluminio
- Magneto
- Agitador magnético

#### .3 Reactivos:

- (a) *Sulfato de Manganeso*,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$
- (b) *Yoduro de Potasio*, KI-KOH
- (c) *Acido Sulfúrico concentrado*,  $H_2SO_4$
- (d) Solución *de almidón*
- (e) *Tiosulfato de sodio*,  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  - 0.025N
- (f) Agua de *Dilución*

#### **.4 Procedimiento:**

1. Se llenan dos o más botellas con la muestra a analizar, evitando la formación de burbujas de aire al llenarlas.
2. Se determina el oxígeno disuelto en una de las botellas y las otras se incuban a 20°C durante cinco días.
3. Después de los 5 días de incubación a 20±1°C se determina la cantidad de oxígeno disuelto (OD) en las muestras diluidas, blancos y controles.
4. Frecuentemente es necesario diluir las muestras de agua debido a la gran cantidad de materia orgánica presente en la muestra. Para estos casos se utiliza agua destilada desmineralizada, aireada previamente con el fin de que el oxígeno disuelto sea uniforme y cercano al punto de saturación.
5. Los porcentajes de dilución de las muestras frecuentemente son:

Desechos industriales concentrados	0.1 _ 1. %
Aguas negras crudas	1.0 – 5%
Efluentes oxidados	5.0 – 25%
Aguas fluviales contaminadas	25 – 100%

#### **.5 Cálculos:**

*Cuando el agua de dilución no es inoculada entonces:*

$$\text{DBO (mg/l)} = (D_1 - D_2)/P$$

*Cuando el agua de dilución es inoculada:*

$$\text{DBO (mg/l)} = [(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2)] f / P$$

Donde:

D <sub>1</sub>	= OD inicial en la muestra diluida (mg/l)
D <sub>2</sub>	= OD final en la muestra diluida ( mg/l)
P	= Fracción volumétrica decimal de la muestra usada (ml de muestra/100 ml de agua de dilución)
B <sub>1</sub>	= OD de control del inóculo antes de la incubación (mg/l)
B <sub>2</sub>	= OD de control del inóculo después de la incubación (mg/l)
f	= Relación del inóculo en la muestra al inóculo en el control

#### **Notas:**

- *Si dos o más porcentajes de dilución de la muestra satisfacen el criterio de OD residual de al menos 1 mg/l y si no hay evidencia de toxicidad en las concentraciones más altas de muestras o evidencias de anomalías, promediar los resultados que estén en el rango aceptable.*
- *En estos cálculos no se hacen correcciones para el consumo de oxígeno de blanco del agua de dilución durante la incubación. Esta corrección es innecesaria si el agua de dilución satisface el criterio estipulado para el blanco. Si el agua de dilución no satisface dicho criterio, las correcciones son muy difíciles y los resultados pueden llegar a ser cuestionables.*
- *Preparación del agua de dilución: A un litro de agua destilada agregar 1 ml de solución amortiguadora de fosfo, 1 ml de sulfato de magnesio, 1 ml de cloruro de calcio y 1 ml de cloruro férrico. Luego someter a aireación por burbujeo por 15 minutos.*
- *Otros rangos de dilución de muestras para el ensayo de la DBO, de acuerdo con la DBO esperada son:*

<b>DILUCIÓN (%)</b>	<b>RANGO DE DBO ( mg/l)</b>
0.01	20,000 – 70,000
0.02	10,000 – 35,000
0.05	4,000 – 14,000
0.1	2,000 – 7,000
0.2	1,000 – 3,500
0.5	400 – 1,400
1	200 - 700
2	100 – 350
5	40 – 140
10	20 – 70
20	13 – 35
50	4 – 14
100	0 – 7

## NITROGENO AMONICAL

### 4500-NH<sub>3</sub> E - Método Titulométrico

#### .1 Principio:

La muestra es buferada a pH = 9.5 con una solución buffer de borato para disminuir la hidrólisis de los cianatos y compuestos de nitrógeno orgánico. La muestra se destila dentro de ácido bórico cuando se usa métodos de nesslerizado o titulación. El amonio en el destilado es determinado con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e indicador mixto.

#### .2 Equipos y Materiales:

- Balón Kjendahl
- Destilador Kjendahl
- pHmetro
- Aros de balón
- Probetas de 25 y 50 ml
- Beaker de 500 ml
- Bureta de 50 ml
- Erlenmeyer de 300 ml
- Agitador magnético
- Magneto

#### .3 Reactivos:

- (a) **Solución Amortiguadora de Boratos:** Adicione 88 ml de solución de NaOH 0.1 N en 500 ml de tetraborato de sodio (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>) 0.025 M [9.5 g de Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O ó 0.5 g de Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> en 1 L] y aforar a 1 litro.
- (b) **Solución indicadora de ácido Bórico:** Disuelva 20 gr de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> en agua destilada libre de amonio y agregar 10 ml de solución indicadora mixta. Diluir 1 L Prepararse mensualmente.
- (c) **Solución indicadora mixta:** Disuelva 200 mg de indicador rojo de metilo en 100 ml de alcohol isopropilico o etílico al 95%. Luego disuelva 100 mg de azul de metileno en 50 ml de alcohol isopropilico o etílico al 95%. Combine ambas soluciones. Prepare mensualmente.
- (d) **Tiosulfato de sodio** como agente de clorador. Disuelva 3.5 g de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·5H<sub>2</sub>O en 1 litro de agua. Prepare semanalmente. Se usa 1 ml
- (e) **Acido sulfúrico** 0.1 N
- (f) **Acido sulfúrico** 0.02 N
- (g) **Hidróxido de sodio** 1.0N

#### **.4 Procedimiento:**

1. Tome 500 ml de muestra o una porción diluida en un beaker de 600 ml
2. Para la realización del blanco tomar 500ml de agua destilada y tratarla igual que la muestra.
3. En caso de cloro residual, remover agregando 1 ml de tiosulfato de sodio.
4. Neutralizar a pH=7 con ácido(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ó base (NaOH) 1.0 N, usando pHmetro.
5. Adicionar 25 ml de solución amortiguadora de borato y ajustar el pH a 9.5 con NaOH 1.0 N, utilizando el pHmetro.
6. Trasvase la muestra a un Balón Kjendahl de 750 ml y colocarlo en el destilados Kjendahl.
7. Recolectar el destilado en un Erlenmeyer de 300 ml de capacidad conteniendo 50 ML de solución indicadora de ácido bórico. Asegurándose que la punta libre del tubo de destilación quede sumergida por debajo de la superficie de la solución.
8. Recolectar 250 ml de destilado, luego desmontar, apagar el equipo y colocar un beaker con agua destilada en el tubo libre del destilador.
9. Titular con ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0.02 N hasta pasar de una coloración verde a azul - violeta.
10. Si en el destilado la solución indicadora de ácido bórico no vira de violeta a verde significa que no ha N-NH<sub>3</sub>.

**Nota:** *La destilación debe tener una velocidad de 6 – 10 ml/min.*

#### **.5 Cálculo:**

$$\text{N-NH}_3 \text{ (mg/l)} = (\text{A} - \text{B}) * 280 / \text{ml de muestra}$$

*Donde:*

- A = ml de ácido sulfúrico gastado en la muestra.  
B = ml de ácido sulfúrico gastado en el blanco.

## NITRÓGENO ORGÁNICO

### 4500 – Norg. Método Macro-Kjendahl

#### .1. Principio:

En presencia de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  y  $\text{HgSO}_4$  como catalizador, el nitrógeno amino (lo mismo que  $\text{NH}_3$  libre y  $\text{N-NH}_4$ ) de muchos compuestos orgánicos es convertido a sulfato de amonio  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ . Durante la digestión de la muestra se forma un complejo mercurio-amonio que es descompuesto por el tiosulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ), lo cual destila el amoníaco de un medio alcalino y se absorbe en ácido bórico. El amoníaco luego se determina por colorimetría o por titulación.

#### .2. Equipos y Materiales

- Balón Kjendahl
- Destilador Kjendahl
- Digestor Kjendahl
- pHmetro
- Aros de balón
- Probetas de 50 ml
- Bureta de 50 ml
- Erlenmeyer de 300 ml
- Agitador magnético
- Magneto

#### .3. Reactivos:

- (a) *Ácido Sulfúrico* ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 6 N
- (b) *Ácido Sulfúrico* 0.02N
- (c) *Solución Indicadora de ácido Bórico* (ver sec.4500.3.b- $\text{NH}_3$ )
- (d) *Tiosulfato de sodio* (ver sec.4500.3.d- $\text{NH}_3$ )
- (e) *Solución indicadora mixta* (ver sec.4500.3.c- $\text{NH}_3$ )
- (f) *Reactivo de Digestión*: Disolver 134 g de  $\text{K}_2\text{SO}_4$  en 600 ml de agua destilada y 200 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, añadir con agitación 25 ml de solución de sulfato de mercurio y diluir hasta 1 L. Mantener a 20°C para evitar cristalización.,
- (g) *Solución de Sulfato de mercurio* ( $\text{HgSO}_4$ ). Disuolver 8 g de  $\text{HgO}$  en 100 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  6N.
- (h) *Hidróxido de sodio – Tiosulfato de sodio*. Disolver 500 g de  $\text{NaOH}$  y 25 g de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  en agua destilada y diluir a 1 L.
- (i) *Hidróxido de sodio* ( $\text{NaOH}$ ) 6N

#### .4. Procedimiento:

1. Coloque un volumen conocido de muestra en un matraz Kjeldahl de 750 ml. El volumen se selecciona de acuerdo a la Tabla N°1. Si es necesario, diluir la muestra a 250 ml y neutralizar a  $\text{pH}=7$ .

2. Haga una prueba de blanco o testigo de todos los pasos del procedimiento y aplicar las correcciones necesarias en los resultados.
3. Adicione 50 ml de reactivo de digestión y unas cuantas perlas de vidrio y mezclar.
4. Coloque los balones con las muestras y reactivos en el digestor, bajo una campana de extracción de gases por un tiempo de 30 a 40 minutos, para remover el SO<sub>3</sub>.
5. Continúe la ebullición rápidamente hasta que la solución se aclare, (incolora o amarillo pálido). Entonces digiera por 3-5 minutos adicionales.
6. Deje que el balón y su contenido se enfríen.
7. Diluya a 300 ml con agua libre de amoníaco, adicionar 0.5 ml o 2 gotas de solución indicadora de fenolftaleína y mezclar.
8. Incline el matraz y adicionar cuidadosamente suficiente reactivo hidróxido-tiosulfato, aproximadamente 50 ml, para formar una capa alcalina en el fondo del matraz.
9. Conecte el balón al aparato de destilación, previamente lavado a vapor.
10. Proceda a destilar y recolectar 250 ml de destilado bajo la superficie de 50 ml de solución de ácido bórico, extendiendo la punta del condensador por debajo del nivel de la solución de ácido bórico, sin permitir que la temperatura del condensador aumente a más de 29°C.
11. Titule con ácido sulfúrico 0.02 N.

**Tabla N°1**

N- Orgánico de la muestra (mg/l)	Tamaño de la muestra (ml)
0 – 1	500
1 – 10	250
10 – 20	100
20 – 50	50
50 – 100	25

**Nota:**

- I. En caso de presencia de grandes cantidades de materia orgánica libre de nitrógeno, agregar 10 ml adicionales de reactivo para digestión por cada gramo de materia sólido en la muestra.
- II. Cuando se ha determinado nitrógeno amoniacal por destilación, el residuo del matraz puede ser ocupado para determinar el nitrógeno orgánico.

**.5. Cálculos:**

$$\text{N-Kjeldahl (mg/l)} = (A - B) * 280 / \text{ml de muestra}$$

Donde:

- A = ml de ácido sulfúrico consumido por la muestra..  
 B = ml de ácido sulfúrico consumidos por el blanco.

Nitrógeno orgánico = N-Kjeldahl - N-NH<sub>3</sub>

## NITRATOS

### 308 B.2 Método de la Brucina. Colorimétrico

#### .1. Principio:

La reacción entre los nitratos y la brucina produce un color amarillo que puede usarse para una estimación colorimétrica de los nitratos. La intensidad del color se mide a 410 nm. La velocidad de reacción es afectada significativamente por la cantidad de calor generado durante el ensayo. Este calor se controla por la secuencia de la adición de los reactivos y la incubación de la mezcla de reacción durante un intervalo de tiempo preciso a una temperatura conocida.

El método es adecuado para aguas cuyas salinidades varían entre la del agua dulce y la del agua del mar. Se recomienda sólo para ámbitos de concentración de 0.1 a 0.2 mg/l de  $\text{N-NO}_3^-$ , ya que sobre ese límite ocurren resultados anómalos y bajo ese límite la sensibilidad del método es muy pobre. El ámbito ideal para este método es de 0.1 a 1.0 mg/l de  $\text{N-NO}_3^-$ .

Desdichadamente, el color desarrollado no obedece a la ley de Beer y entonces se obtiene una línea curvada más bien que una línea recta.

#### .2. Equipos y Materiales:

- Espectrofotómetro con una Longitud de onda de 410 nm y una trayectoria de luz de 2.5 cm.
- Erlenmeyer de 125 ml
- Beakers de 500 ml
- Pipetas
- Pera
- Baño de agua fría
- Digestor
- Papel Kleenex

#### .3. Reactivos:

- (a) **Solución de Arsenito de Sodio:** Disolver 5.0 gr de  $\text{NaAsO}_2$  y diluir a 1 L con agua destilada.
- (b) **Solución de Cloruro de Sodio:** Disolver 300 gr de  $\text{NaCl}$  en agua destilada y diluir a 1 L.
- (c) **Solución de Ácido Sulfúrico:** Añada cuidadosamente 500 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado a 125 ml de agua destilada. Enfríe a temperatura ambiente antes de usarse. Mantener en frasco bien tapado para evitar la absorción de humedad atmosférica.
- (d) **Solución de Brucina – Ácido Sulfanílico:** Disuelva 1.0 gr de sulfato de Brucina y 0.1 gr de ácido sulfanílico en aproximadamente 70 ml de agua destilada caliente. Adicionar 3.0 ml de  $\text{HCl}$  concentrado enfriar y diluir a 100 ml. Esta solución es estable durante varios meses. El color rosa que se desarrolla no afecta la utilidad de la solución.

**.4. Procedimiento:**

1. Tome 10 ml de muestra
2. Adicione 2 gotas de Arsenito de Sodio
3. Coloque la muestra en baño de agua fría
4. Adicione 2.0 ml de NaCl en baño fría.
5. Adicione 10 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
6. Adicione 0.5 ml de Brucina-ácido sulfanílico.
7. Coloque la muestra en baño María durante 20 minutos.
8. Deje enfriar a temperatura ambiente.
9. Mida la absorbancia a 410 nm.

**.5. Cálculos:**

$$\text{mg/l de N-NO}_3^- = \text{ug de N-NO}_3^- / \text{ml de muestra}$$

$$\text{mg/l de NO}_3^- = 4.43 * \text{mg/l de N-NO}_3^-$$

## NITRITOS

### 4500-NO<sub>2</sub> B. Método Colorimétrico de Diazotización

#### 1. Principio:

El nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) es determinado mediante la formación de un colorante Azoico, rojizo púrpura, producido a pH 2.0 – 2.5 por el acoplamiento del ácido sulfanilico diazotizado con el clorhidrato de N (1-naftil)-etiléndiamina o clorhidrato NED.

El color desarrollado obedece a la ley de Beer hasta 180 mg/l de N, con un paso de luz de 1 cm y 543 nm. Concentraciones altas de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> se pueden determinar diluyendo la muestra a 50 ml. El rango de aplicación del método para medidas espectrofotométricas es de 10-100µg/L de NO<sub>2</sub>-N.

#### 2. Equipos y Materiales:

- Espectrofotómetro con una Longitud de onda de 410 nm y una trayecto de luz de 1.0 cm o mayor.
- Erlenmeyer de 125 ml
- Pipeta
- Pera
- Papel Kleenex

#### 3. Reactivos:

- (a) **Reactivo de Sulfanilamida:** Disolver 5.0 gr de sulfanilamida en una mezcla de 50 ml HCl concentrado y 300 ml de agua destilada, diluir a 500 ml con agua destilada. La solución es estable por muchos meses.
- (b) **Solución de clorhidrato N-(1-naftil)-etilendiamina:** Disuelva 500 mg de N-(1-naftil)-etilendiamina en 500 ml de agua destilada. Guarde en botella oscura. Renueve la solución mensualmente o cuando desarrolle una fuerte coloración café.

#### 4. Procedimiento:

1. Tome 50 ml de muestra ( o una porción diluida)
2. Tome 50 ml de agua destilada (blanco)
3. Lleve a pH=7.0 con NaOH 0.1N o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.02N
4. Adicione 1 ml de clorhidrato NED
5. Adicione 1 ml de sulfanilamida
6. Deje que se desarrolle el color por 20 min.
7. Mida la absorbancia a 543 nm.

#### 5. Cálculos.

Con el valor de absorbancia medido se intercepta en la curva y se encuentra la concentración de Nitrito en µg de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>.

$$\text{Mg/l N-NO}_2 = \mu\text{g de N-NO}_2/\text{ml de muestra}$$

## FOSFORO TOTAL

### 4500-P.C Método Colorimétrico del ácido vanadomolibdofosfórico.

#### .1. Principio:

En una solución diluida de ortofosfato, el molibdato de amonio reacciona, bajo condiciones ácidas para formar un ácido heteropoli, el ácido molibdo fosfórico. En presencia de vanadio se forma el ácido fosfovanado-molibdico, de color amarillo. La intensidad del color amarillo es proporcional a la concentración de fosfato en la solución.

La concentración mínima detectable es de 200µg/L de fósforo, usando un espectrofotómetro con celda de 1.0 cm. Los rangos de concentración para diferentes longitudes son:

Rangos aproximados (g/l de P)	Longitud de onda (nm)
1.0 – 5.0	400
2.0 – 10.0	420
4.0 – 18.0	470

#### .2. Equipos y Materiales

- Espectrofotómetro
- Probetas de 50 ml
- Pipetas de 5 y 10 ml
- Erlenmeyer de 200 ml
- Matraz de 100 y 50 ml
- Pera
- Pizeta
- Papel Kleenex

#### .3. Reactivos:

(a) **Ácido Sulfúrico**, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, concentrado

(b) **Ácido Nítrico**, HNO<sub>3</sub>, concentrado

(c) **Reactivo vanadio – molibdato:**

**Solución A.** Disuelva 25 g de molibdato de amonio, (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>·4H<sub>2</sub>O, en 300ml de agua destilada.

**Solución B.** Disuelva 1.25 g de metavanadato de amonio, NH<sub>4</sub> VO<sub>3</sub>, por calentamiento hasta ebullición en 300 ml de agua destilada. Enfríe y adiciona 330 ml de HCl concentrado. Enfríe la solución B a la temperatura ambiente, verter la solución A en la B, mezclar y diluir a 1 litro.

(d) **Solución de Hidroxido de sodio** (NaOH) 1N. Disuelva 40 g de NaOH y diluir a 1 litro.

- (e) *Ácido Clorhídrico* (HCl) 1N. Tome 83 ml de HCl concentrado y diluya a 1 litro.  
(f) *Indicador de fenolftaleína*

#### **.4. Procedimiento:**

- 1) Medir con pipeta 35 ml de muestra o una porción diluida y verterla en un erlenmeyer de 125 ml.
- 2) Prepare un blanco en el cual la muestra se sustituye por 35 ml de agua destilada.
- 3) Se digiere adicionando 1 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado y 5 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado.
- 4) La muestra se retira cuando se tiene aproximadamente 1 ml.
- 5) Deje enfriarse a temperatura ambiente.
- 6) Agregue 20 ml de agua destilada.
- 7) Adicione 1-2 gotas de indicador fenolftaleína.
- 8) Adicione NaOH 1N hasta que aparezca una coloración rosada.
- 9) Añadir HCl 1N hasta decolorar.
- 10) Trasvase a un matraz de 100 ml y aforar.
- 11) Tome 35 ml de muestra y adicóndarla a un balón de 50 ml
- 12) Añada 10 ml de reactivo Vanadomolibdato y aforar a 50 ml
- 13) Espere 10 minutos para el desarrollo de color.
- 14) Mida la absorbancia de la muestra a una longitud de onda de 400 nm.

#### **.5. Cálculos:**

Con el valor de absorbancia medio se intercepta en la curva y se encuentra la concentración de fósforo en mg/l.

## DETERMINACION SIMULTANEA DE LA ALCALINIDAD Y LA CONCENTRACION DE ACIDOS GRASOS VOLATILES (AGV)

### Método I. (Jim Field)

- Valorar 100 ml de muestra filtrada con HCl 0.10 N hasta pH 6.5 y después hasta pH 3.00. apuntando el volumen gastado entre 6.5 y 3.00 (Volumen A)
- Poner el recipiente a ebullición durante 3 minutos en un montaje con reflujo del vapor. Esperar 2 minutos.
- Valorar con NaOH 0.1 N hasta pH 6.5. Apuntar el volumen de NaOH consumido (Volumen B)

Cálculos:  $ALCALINIDAD\ TOTAL = AT = (A * N_{HCl}) / (V_{muestra}) =$

Con los valores usados  $AT = A$  (meq/l)

Para expresar la alcalinidad en Carbonato Calcio, multiplicar el valor por el coeficiente:

$$AT = 50 * A \text{ (MG CaCO}_3\text{/L)}$$

- La concentración de AGV, considerando que el volumen de muestra a considerar es el volumen inicial, se calcularía de la siguiente forma:

- $Acidos\ Grasos\ Volatiles = (B * N_{NaOH}) / (V_{muestra})$
- Con los valores usados  $AGV = B$  (meq/L)

Para expresar los AGV en forma de Acido Acético, multiplicar el valor por el coeficiente:  
 $60 * B$  (MG HAc/L)

Para calcular la Alcalinidad debida al Bicarbonato, se usa la siguiente expresión:

$$AB = (AT - AGV) \text{ (Meq/L)}$$

Para expresar la alcalinidad en carbonato cálcico, multiplicar el valor por el coeficiente:

$$AB = 50 (AT - AGV) \text{ (MG CaCO}_3\text{)}$$

## **DETERMINACION LOS SOLIDOS**

**Sólidos Totales:** Se define como sólidos la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103°C. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendido). Para su determinación, la muestra se evapora en una cápsula previamente pesada, preferiblemente de platino o porcelana, sobre un baño de María, y luego se seca a 103 – 105 ° C. El incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos totales o residuos total.

**Sólidos Disueltos:** (O residuo Filtrable) son determinados directamente o por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos. Si la determinación es directa, se filtra la muestra a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol Gooch, el filtrado se evapora en una cápsula de peso conocido sobre un baño maría y el residuo de la evaporación seca a 180°C. El incremento de peso sobre el de la cápsula vacía representa los sólidos disueltos o residuo filtrable.

**Sólido Suspendido:** (residuo no filtrable) son determinados por filtración a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol Gooch previamente pesado. El crisol con su contenido se seca a 103-105°C; el incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos suspendidos o residuos no filtrable.

**Sólidos volátiles y fijos:** El procedimiento estándar es el de someter las cápsula, con el residuo retenido después de completar el ensayo para sólidos totales a calcinamiento en una mufla, a una temperatura de 600°C, durante 20 a 30 minutos. La pérdida de peso se registra como mg/l de sólidos volátiles y los residuos como mg/l de sólidos fijos.