

**EDOUARD JACOTIN ID UD17989SEN25816**

**FUNDAMENTALS OF KNOWLEDGE II:**

**Study of the effectiveness of the stabilization of solid waste from Mateare's manual landfill in Nicaragua**

**Master in Environmental Engineering and Faculty coordinator of the Master of Environmental Engineering, specialist and consultant in Solid Wastes, Managua, Nicaragua**

**ATLANTIC INTERNATIONAL UNIVERSITY HONOLULU, HAWAII**

**WINTER 2012**

## **ABSTRACT**

During the 90s several systems for solid waste disposal in numerous Nicaraguan municipalities have been implemented. A group of researchers from the Center for Research and Environmental Studies (CIEMA) of the National Engineering University (UNI) conducted an investigation, whose theme was: "Determination and adjustment of the effectiveness of sanitary landfill stabilization Solid Waste of Mateare municipality" located 20 km from the capital city.

During the course of this study we applied a direct instrument, *i.e.* dug well, and indirect ones consisting of simulators such as: "liximetro" (leaching tests), water balance methods and PERC HELP3.1. Some of the most important results of this research were:

1. According to the results in a trench landfill, infiltrated leachate volumes about 442.29 m<sup>3</sup> per year, with no restrictions on the unsaturated zone, finally reach the saturated zone and thus join the waters that constitute Nagarrote sub-basin aquifer.
2. The time of physical and biological stabilization was 3.33 years for the country's peaceful and dry tropical weather with an average temperature of 55C° underground, rather than the 20 years provided for this same process implemented landfill stabilization in the countries of north with an extremely cold climate.

## CONTENIDO

<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>I.- INTRODUCCION.....</b>	<b>5</b>
<b>II.-OBJETIVOS.....</b>	<b>6</b>
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	6
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
<b>III.- MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA.....</b>	<b>7</b>
3.1. DESCOMPOSICIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS CONSIDERANDO EL PROCESO DE DEGRADACIÓN ANAEROBIA SISTEMATIZADA BAJO EL PRINCIPIO DE 6 PROCESOS .....	7
3.3.1.- <i>Esquema del proceso</i> .....	7
3.3.2.- <i>Mecanismos cualitativos - cuantitativos de formación de Lixiviados</i> .....	8
3.3.3.- <i>Representación gráfica del movimiento del agua en un relleno sanitario</i> .....	8
4.1. UNIVERSO DEL ESTUDIO.....	10
4.1.1.- <i>Sitio:</i> .....	10
4.1.2.- <i>Contenido:</i> .....	12
4.1.3.- <i>Tiempo:</i> .....	12
4.2. VARIABLES .....	12
4.3. FUENTES Y FORMAS DE INFORMACIÓN: .....	13
4.4. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE TRABAJO DE INDAGACIÓN .....	13
<i>Aspectos técnicos constructivos y analítico-evaluativos:</i> .....	13
<b>V.- MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>14</b>
5.1. DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE MEDICIÓN, MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO ACTUAL PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE BIODEGRADACIÓN Y/O ESTABILIZACIÓN DEL RELLENO SANITARIO .....	14
5.2. MÉTODOS DE MEDICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DIRECTA. ....	14
5.2.1.- <i>Descripción del primer instrumento de medición y caracterización directa</i> . ....	14
5.3. MÉTODO DIRECTO DE MEDICIÓN Y CARACTERIZACIÓN (POZO) .....	16
5.3.1.- <i>Descripción del segundo instrumento</i> . ....	16
5.4. MÉTODO DE MEDICIÓN INDIRECTA (LIXÍMETRO). ....	19
5.4.1.- <i>Descripción técnica del instrumento utilizado</i> . ....	19
5.5. MÉTODO DE MEDICIÓN WBM PARA ESTIMACIÓN DE PERC, VÍA MODELO MATEMÁTICO CON HOJA ELECTRÓNICA. ....	20
5.5.1.- <i>Descripción</i> .....	20
5.6. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE MEDICIÓN VÍA SIMULACIÓN COMPUTARIZADA HELP 3.....	23
5.6.1.- <i>Descripción del modelo HELP3 como método de medición predictiva:</i> .....	24
5.7. PARÁMETROS CONTROLADOS EN EL RELLENO SANITARIO. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE MEDICIÓN Y SIMULACIONES. ....	26
<b>VI.- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>28</b>
6.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DEL MODELO HELP3.....	28
6.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS MEDIANTE EL MÉTODO LIXIMÉTRICO EN EL POZO DE EXCAVACIÓN .....	28
6.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES CON LIXIMETRO .....	29

*Estudio de efectividad en la estabilización de Residuos Sólidos, del relleno sanitario manual de Mateare, Nicaragua.*

---

<b>VII.- CONCLUSIONES.....</b>	<b>31</b>
<b>VIII.- RECOMENDACIONES Y/O PROPUESTAS DE FUTUROS CAMPOS O REPLICACION DE ESTA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>32</b>
<b>IX.- BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>34</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>35</b>
<b>ANEXO II. ....</b>	<b>36</b>
<b>ANEXO III.....</b>	<b>41</b>
<b>ANEXO IV.....</b>	<b>43</b>

## **I.- INTRODUCCION**

Tradicionalmente, en muchos países de América Latina, el tratamiento de los desechos sólidos se reduce a recolectarlos y disponerlos finalmente en un botadero (vertedero no controlado) a cielo abierto ubicado frecuentemente fuera de la ciudad. En Nicaragua, la situación no es diferente, con la que existe un déficit alto en los sistemas de recolección y disposición adecuada de los desechos, especialmente en los poblados que se encuentran alejados de Managua y las Cabeceras departamentales. Según INIFOM (año), *el servicio de recolección de los desechos sólidos se brinda en 73 cabeceras municipales de las 147 existentes en el país. Estas 73 cabeceras corresponden al 31.51% de los municipios y que a su vez equivale a una cobertura del 35% de la población total de Nicaragua.* Las distintas formas de responder a este problema, ya sea vía disposición final controlada y/o no controlada, y incineración no controlada; todas ellas generan subproductos nocivos para la salud y el medio ambiente. Además de los Lixiviados que pueden contaminar tanto los acuíferos como los cuerpos de agua superficiales, uno de los subproductos, lo constituye los diversos gases emitidos  $CO_2$ ,  $CH_4$  y son fuertes contribuyentes en el proceso de recalentamiento de la atmósfera y por ende participan en el cambio climático. Estas formas inadecuadas de tratamiento de los desechos sólidos han originado como resultado obvio, un deterioro del medio ambiente y las condiciones sanitarias, por lo que es de vital importancia, promover y construir sistemas adecuados de tratamiento y estabilización de los desechos sólidos. Sin embargo, a pesar de lo antes expuesto, se están haciendo esfuerzos para dar respuesta a esta problemática, tales como:

- Formulación de proyectos de construcción de rellenos sanitarios en los siguientes municipios: San Ramón, El Jícaro, Jalapa, la Concepción, Diriomo, Ciudad Darío, la Paz Centro, Boaco, Chinandega, Nindirí (dentro del marco del Proyecto CAM-PROFIM), El Viejo, Managua (Tecnología y financiamiento Proyecto JICA), Masaya (Iniciativa de la Alcaldía con Financiamiento de USAID-PADCO), Jinotepe (Iniciativa de la Alcaldía - FISE), El Tuma La Dalia (Iniciativa de la Alcaldía con Financiamiento de USAID-PADCO).
- Diseño, construcción y operación de sistemas simplificados de recolección y disposición final de desechos sólidos así el tratamiento de sus lixiviados en 5 municipios: Mateare, Acoyapa, Sto. Tomas, Sta. Teresa, Ocotal (Iniciativa de la Alcaldía con Tecnología INIFOM y consultoría privada, Financiamiento de PNUD-AECI-SUECIA) en forma de proyecto piloto.

No obstante, se carece de datos científicos sobre la realidad nacional que confirmen la efectividad de los referidos sistemas. Por lo tanto, la búsqueda científica de criterios técnicos correctivos de diseño, operación y mantenimiento de los mismos constituyen el objeto fundamental del presente estudio.

## **II.-OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Determinar y ajustar la efectividad del relleno sanitario manual en la estabilización de **Residuos Sólidos (RS)** del municipio de Mateare.

### **2.2. Objetivos Específicos**

1. Caracterizar las condiciones topográficas, geológicas e hidrometeorológicas de los lugares de construcción del relleno sanitario.
2. Determinar el comportamiento de los parámetros físico - químicos de los residuos sólidos durante las diferentes fases de biodegradación de los mismos.
3. Determinar los parámetros óptimos de operación y control de los sistemas de tratamiento.
4. Diseñar sistemas de disposición final de residuos sólidos así como de los subproductos del proceso de estabilización de los mismos (Lixiviados) acordes con las situaciones climatológicas, topográficas, geofísicas, económicas y demográficas basándose en los resultados determinados a partir de este estudio.

### III.- MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA

#### 3.1. Descomposición y estabilización de los residuos sólidos considerando el proceso de degradación anaerobia sistematizada bajo el principio de 6 procesos

##### 3.3.1.- Esquema del proceso

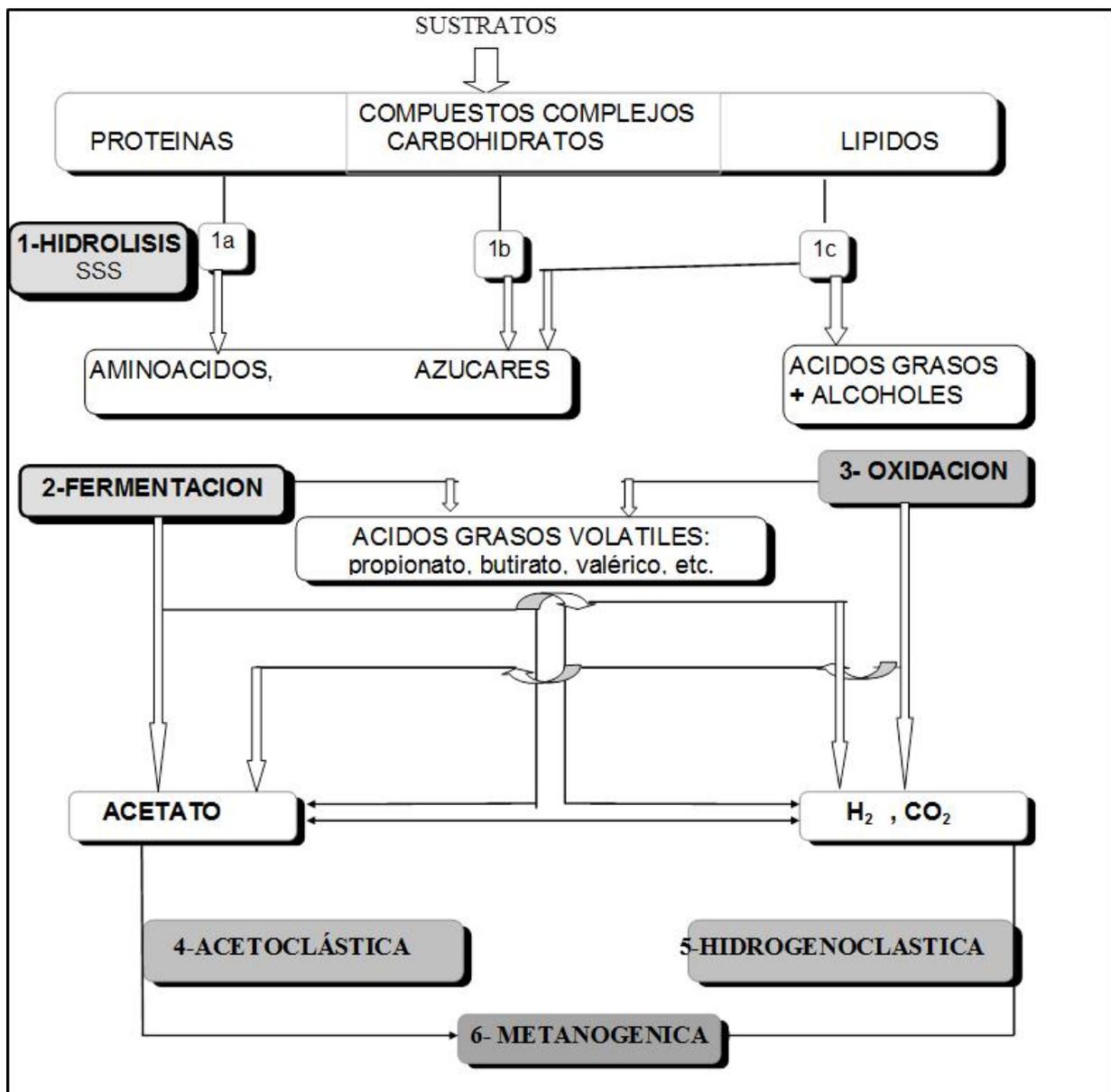


Figura 1. Proceso de formación de metano (adaptación de Sawyer and McCarty, 1998).

**3.3.2.- Mecanismos cualitativos - cuantitativos de formación de Lixiviados.**

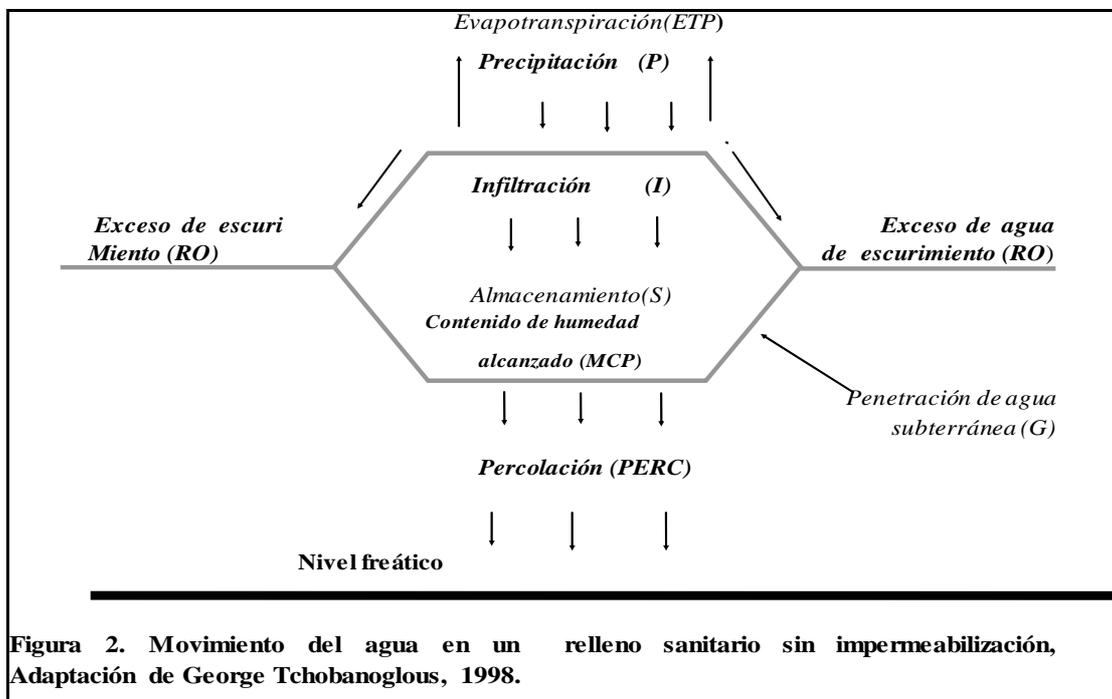
*Calidad:* La caracterización de lixiviados requiere que las estimaciones de los tipos y concentraciones sean hechas en función de la edad de los R.S. Una alternativa sencilla que consiste en colocar tablas mostrando tipos de contaminantes esperados y rangos de concentración en función de la edad de los R.S. puede ser de gran utilidad. Se realiza esta alternativa basándose en experiencias y datos históricos previos.

*Cantidad:* La producción de lixiviados comienza con la formación de contaminantes líquidos en la base (parte inferior) de un Relleno Sanitario. Esto implica elementos de balance hídrico por lo que durante cada periodo de precipitación ocurre el fenómeno de escurrimiento e infiltración en el Relleno Sanitario. Una parte del agua precipitada e infiltrada se elimina por evapotranspiración (E.T.), otra parte se almacena en el relleno sanitario. El balance se transforma en percolado y eventualmente en lixiviado. La producción de lixiviados se puede predecir.

Uno de los procedimientos más usuales consiste en combinar el método de **balance hídrico** con la **curva de producción de lixiviado** para predecir el flujo de lixiviado y la intensidad con respecto a la edad del lugar de deposición de los D.S.

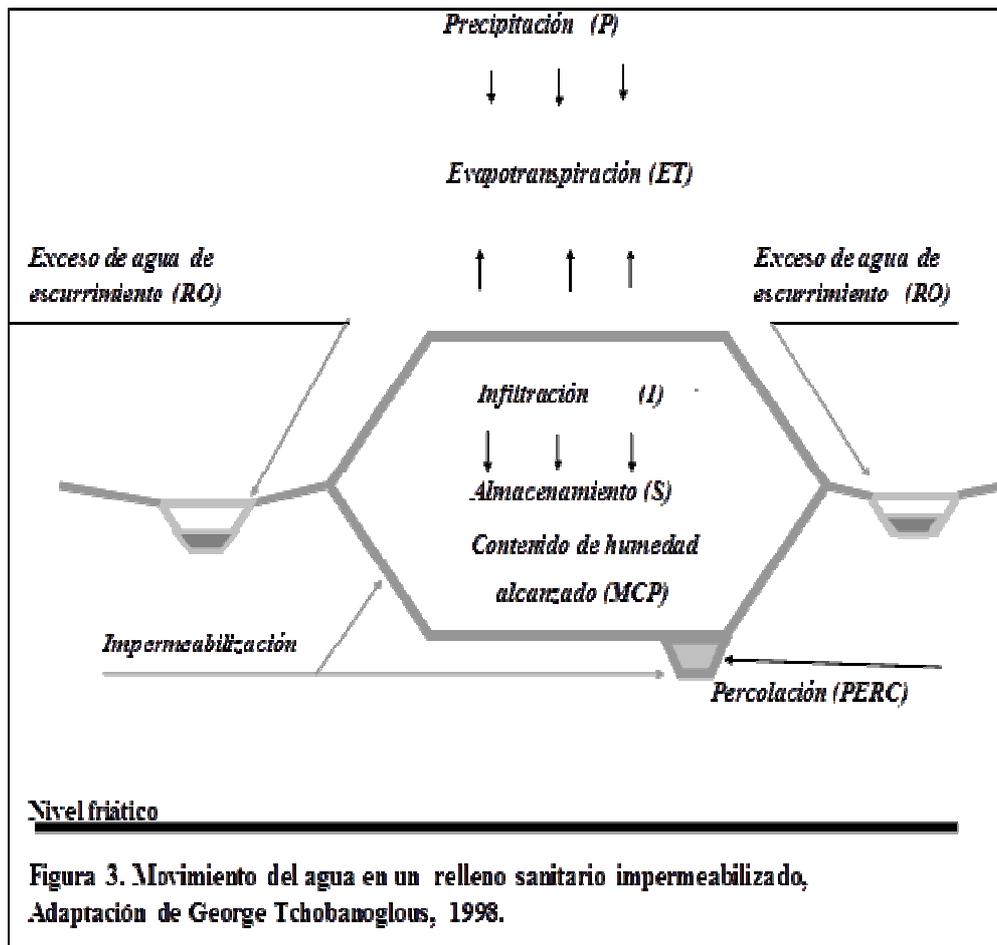
**3.3.3.- Representación gráfica del movimiento del agua en un relleno sanitario.**

*a) Estamos considerando un relleno sanitario sin impermeabilización de las paredes y del fondo, sin drenaje perimetral.*



**Figura 2. Movimiento del agua en un relleno sanitario sin impermeabilización, Adaptación de George Tchobanoglous, 1998.**

- b) *Considerando un relleno sanitario con las paredes y el fondo impermeabilizados y con sistema de drenaje perimetral.*



## **IV.- DISEÑO METODOLÓGICO**

### **4.1. Universo del estudio**

#### **4.1.1.- Sitio:**

Por razones que obedecen a este tipo de proyecto ya implementado en el país, por ende a experiencias disponibles en este campo; por razones de distancia con Managua, ya que este estudio exige un seguimiento y un control más agudo para análisis y determinación de efectividad adecuada, los esfuerzos se concentraron en el proyecto de Relleno Sanitario Manual localizado en Mateare, Km. 28 carretera nueva a León. Con fines de comparación se procederá a visitar y observar el proyecto con las mismas características, localizado en Santo Tomás y Acoyapa Chontales ubicado en la región central de Nicaragua.

#### **a) Situación geográfica:**

El Municipio de Mateare tiene una extensión territorial de 315 km<sup>2</sup> y sus límites geográficos son: al Este limita con el distrito No. 1 de Managua, al Oeste con Nagarote, Departamento de León, al Norte con el Lago Xolotlán, al Sur con Villa Carlos Fonseca Amador.

Los accidentes geográficos más importantes son:

La Cuenca Sur que es una zona montañosa, perteneciente a la Cordillera de los Marrabios. La parte norte la ocupa el Lago de Managua o Xolotlán, cuenta con dos lagunas Xiloá y Apoyepe y las elevaciones más importante son las sierras de Mateare, Cerro las Lomas, Cerro Tolpetate, Los Cerros Cuape y Volcán Apoyequé ó Chiltepe.

#### **b) División Territorial del Municipio:**

##### **SECTOR URBANO**

Casco Urbano de Mateare (Cabecera Municipal) dividido en 21 barrios agrupados en 3 sectores: Sector Occidental, sector Oriental y sector del Lago.

Los Brasiles: está dividido en seis barrios y haciendas aledañas.

##### **SECTOR RURAL**

Comprende las siguientes comarcas:

- Xiloá
- Alfonso González
- Miraflores
- San Andrés de la Palanca
- Las Yucas

***Estudio de efectividad en la estabilización de Residuos Sólidos, del relleno sanitario manual de Mateare, Nicaragua.***

---

- La Ceiba
- Las Latas
- Lomas de abajo y de arriba (finca y/o Empresas Agropecuarias)
- Las Parcelas

**c) Clima:**

El clima del área de estudio es clasificado como clima tropical de sabana. La temperatura promedio durante la estación no lluviosa es de 25.6 °C y la temperatura promedio durante la estación lluviosa es de 28.8 °C en abril. La temperatura máxima es de 29.3 °C alcanzada en el mes de Abril y la mínima de 25.7 °C correspondiente al mes de Septiembre.

La estación lluviosa (invierno) comienza en mayo y termina en octubre o noviembre, mientras que la estación seca (verano) comienza en noviembre y finaliza en abril. La *Figura 5 en ANEXO VI*, una de cálculo donde se realizó el balance hídrico para la determinación del tirante PERCOLADO (lixiviados) en la trinchera monitoreado, muestra la distribución de temperatura media y de la precipitación media, según el registro de la estación meteorológica del Aeropuerto A.C. Sandino denominada estación las Mercedes. La precipitación media anual varía entre 1100 mm y 1500 mm dependiendo de la elevación, el valor medio que se utilizó para este fin fue de 1043 mm. El valor más bajo se observa en la costa sur del lago de Managua y el más alto en el área montañosa.

La evaporación anual real 1800 mm casi en correspondencia con la elevación y la evapotranspiración potencial se considera alta.

**d) Población:**

El área de estudio comprende una población de 21,000, siendo aproximadamente unos 14,000 habitantes en zona urbana y unos 7,000 en zona rural.

**e) Viviendas Existentes:**

Según el censo de del Instituto Nacional de Estadística y de Censo INEC publicado en el año 1995, el registro reporto para esta ciudad las categorías de viviendas como sigue:

- Medio urbano con : 2,430 viviendas
- Medio rural: 290 viviendas
- Por un total: 2,720 viviendas
- Población por vivienda: 7.72 Hab./viviendas

**f) Actividad económica:**

Las Actividades económicas más importantes son:

- \*Actividad Agropecuaria
- \*Actividad de la Pesca
- \*Extracción Mineral

\*Sector Industrial

\*Actividad Porcina

\*Actividad Avícola

\*Instituciones en el Territorio

**g) Caminos:**

El Municipio de Mateare, se comunica con Managua, la capital de Nicaragua, a través de una carretera asfaltada, esta misma carretera une los Brasiles, Xiloá y Alfonso González. También se comunica a través de caminos macadamizados de todo tiempo, con las otras poblaciones del Municipio de Mateare.

Nota: Con fines de comparación se procedió a visitar y observar el proyecto de la misma naturaleza localizado en Santo Tomás y Acoyapa, Chontales; ubicado en la región central de Nicaragua.

**4.1.2.- Contenido:**

Se piensan realizar investigaciones sobre aplicación de diseño, construcción, operación y mantenimiento del sistema de relleno sanitario manual para poder determinar la efectividad del mismo y luego proponer métodos de diseño local adecuados. Todo esto implica la utilización de métodos de diseños y cálculos topográficos, hidrológicos, hidráulicos, análisis físico-químico-microbiológicos, medición y análisis de lixiviados y finalmente análisis de gases.

**4.1.3.- Tiempo:**

El tiempo estipulado para la realización de este estudio fue de aproximadamente 9 meses. Comprendió parte de las temporadas lluviosa y seca necesaria para la determinación de la efectividad, mediante los distintos métodos de mediciones.

**4.2. Variables**

- Sitio de disposición final y pobladores.
- Tendencia e influencias de evapotranspiración, insolación, humedad relativa, temperatura, precipitación, y viento.
- Densidad de los desechos sólidos producidos.
- Materia orgánica e inorgánica.
- Cantidad de material de cobertura disponible.
- Magnitud de la pendiente del sitio de disposición final.
- La velocidad de infiltración y percolación del subsuelo.
- La velocidad de asentamiento de las capas de desechos sólidos.

### **4.3. Fuentes y formas de información:**

Se cuenta con alguna bibliografía en el centro de Investigación CIEMA. Existen actualmente resultados de investigación realizados por un grupo Nicaragüense-Japonés del proyecto JICA sobre el vertedero no controlado de Acahualinca Managua, enfocado a la transformación del mismo en controlado. En concreto, dicho estudio se centro sobre muestreo y mediciones de lixiviados y gases por un lado. Por otra parte, la construcción de chimeneas para control de gases.

### **4.4. Métodos y técnicas de trabajo de indagación**

*Aspectos técnicos constructivos y analítico-evaluativos:*

- Participación directa en sistema constructivo.
- Muestreo, pruebas y análisis de suelos durante la construcción.
- Anotaciones y rectificaciones en el campo.
- Aspectos tecnológicos de proceso de biodegradación, de control de los subproductos tales como lixiviados y gases.
- Simulación física por instrumentalización, aplicación de modelos matemáticos y computarizados, diseños y cálculos de verificación.
- Muestreo periódico de desechos sólidos depositados.
- Control de disposición.
- Muestreo de lixiviado.
- Análisis.

## **V-. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1. Descripción de los Métodos de medición, muestreo y caracterización del sistema de tratamiento actual para la determinación de la efectividad de biodegradación y/o estabilización del relleno sanitario**

Los métodos que se han empleado para la determinación del grado de biodegradación y/o de estabilización de los residuos sólidos dispuestos en el Relleno Sanitario de Mateare corresponden con los comúnmente utilizados en investigaciones anteriores y que ya han sido ampliamente descritos en el marco teórico de referencia de la presente investigación. Cronológicamente se ha procedido de la forma siguiente:

1. Descripción técnica de cada uno de los métodos que incluye:
  - Simulaciones físicas directas e indirectas
  - Modelaciones matemáticas y computarizadas
2. Presentación gráfica de cada uno de los métodos.
3. Flujograma de los procedimientos de medición y/o cálculos de cada uno de los métodos.
4. Procedimientos de cálculos y de procesamiento estadísticos de los datos obtenidos, representados mediante tablas, cuadros y gráficos de cada uno de los métodos.

### **5.2. Métodos de medición y caracterización directa.**

#### **5.2.1.- Descripción del primer instrumento de medición y caracterización directa.**

El instrumento de medición tiene razón de ser en este caso de estudio, en tanto que la municipalidad de Mateare no cuenta con un camión compactador que hubiese permitido obtener información sobre la densidad compactada de los residuos sólidos de esta ciudad. Tampoco hubiese sido posible la extracción de lixiviados u por ende obtener informaciones sobre los distintos químicos de dichos residuos. Gracias a este instrumento fue posible acceder a las informaciones relativas a las características, tanto físicas como químicas necesarias para el mencionado estudio.

Tal como se puede observar en la Figura 6, el instrumento consiste en una caja metálica cuya capacidad es de un metro cúbico. Posee un bajo-dren en la parte inferior para la acumulación y recolección de los Lixiviados productos de la compactación. Por lo tanto cuenta con un mecanismo de compactación de los residuos sólidos colocado en la parte superior del cajón. Uno de las funciones principales de este instrumento, además de facilitar la determinación de la densidad compactada basándose en el volumen de los mismos, es la extracción de lixiviado a partir de la basura fresca para la caracterización química de la misma.

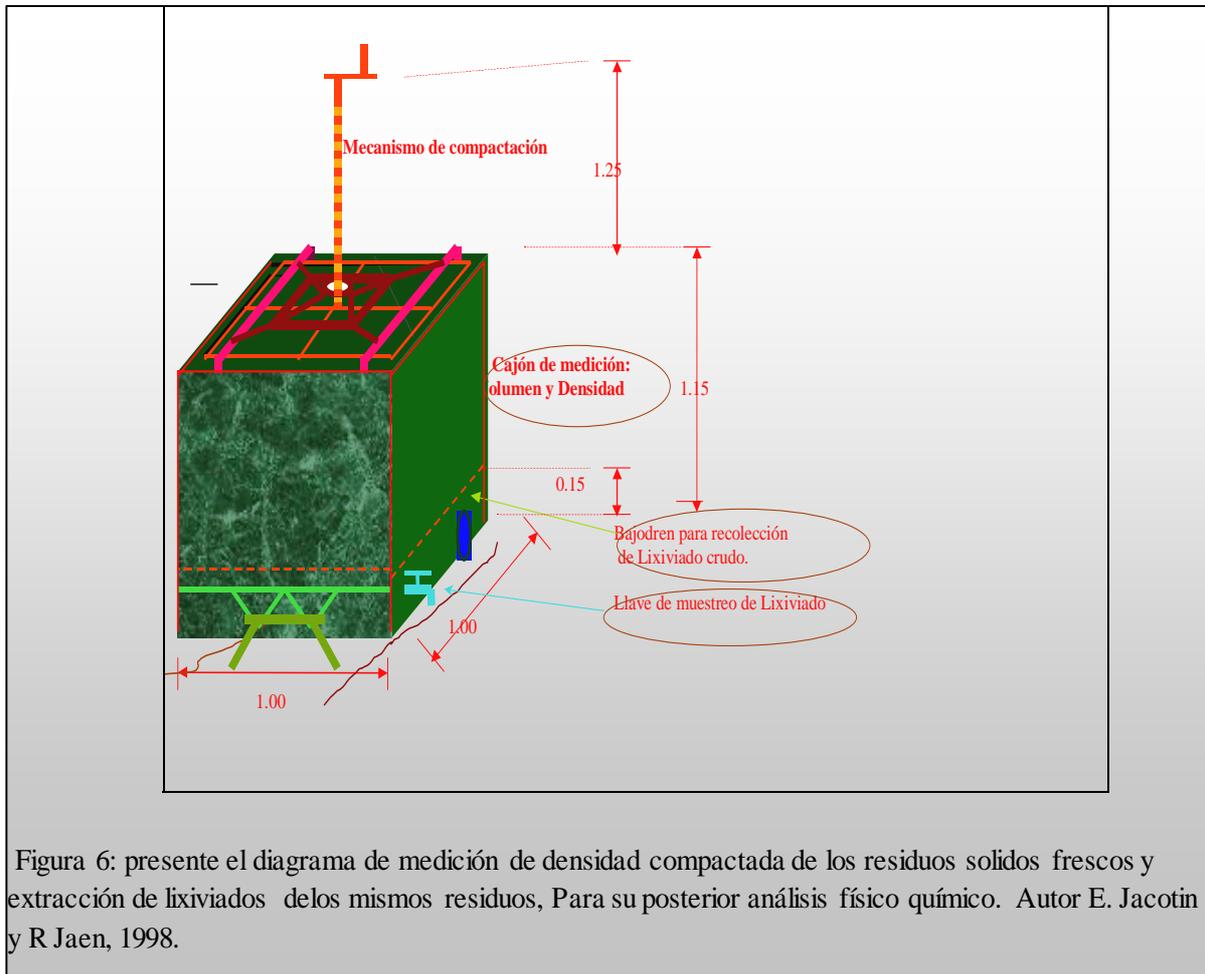
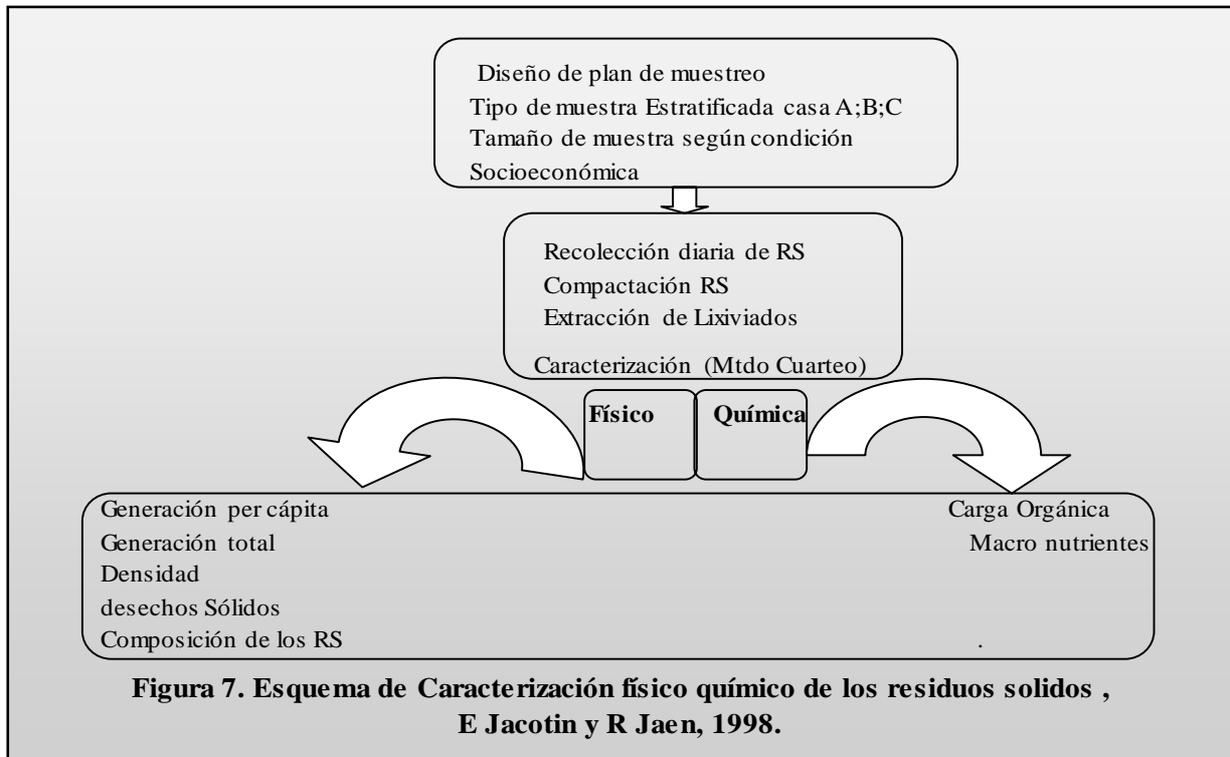


Figura 6: presente el diagrama de medición de densidad compactada de los residuos solidos frescos y extracción de lixiviados de los mismos residuos, Para su posterior análisis físico químico. Autor E. Jacotin y R Jaen, 1998.



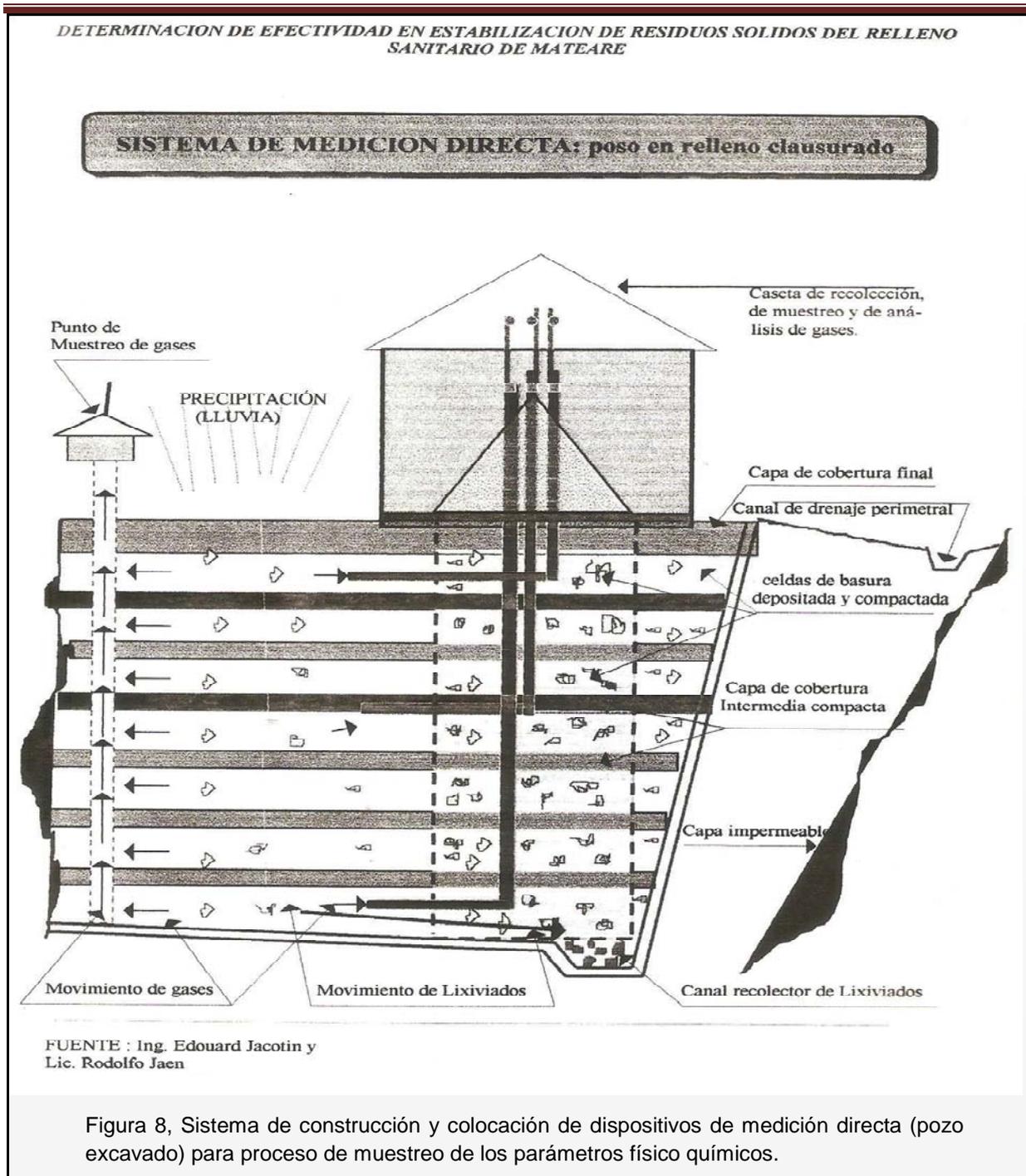
### 5.3. Método directo de medición y caracterización (pozo)

#### 5.3.1.- Descripción del segundo instrumento.

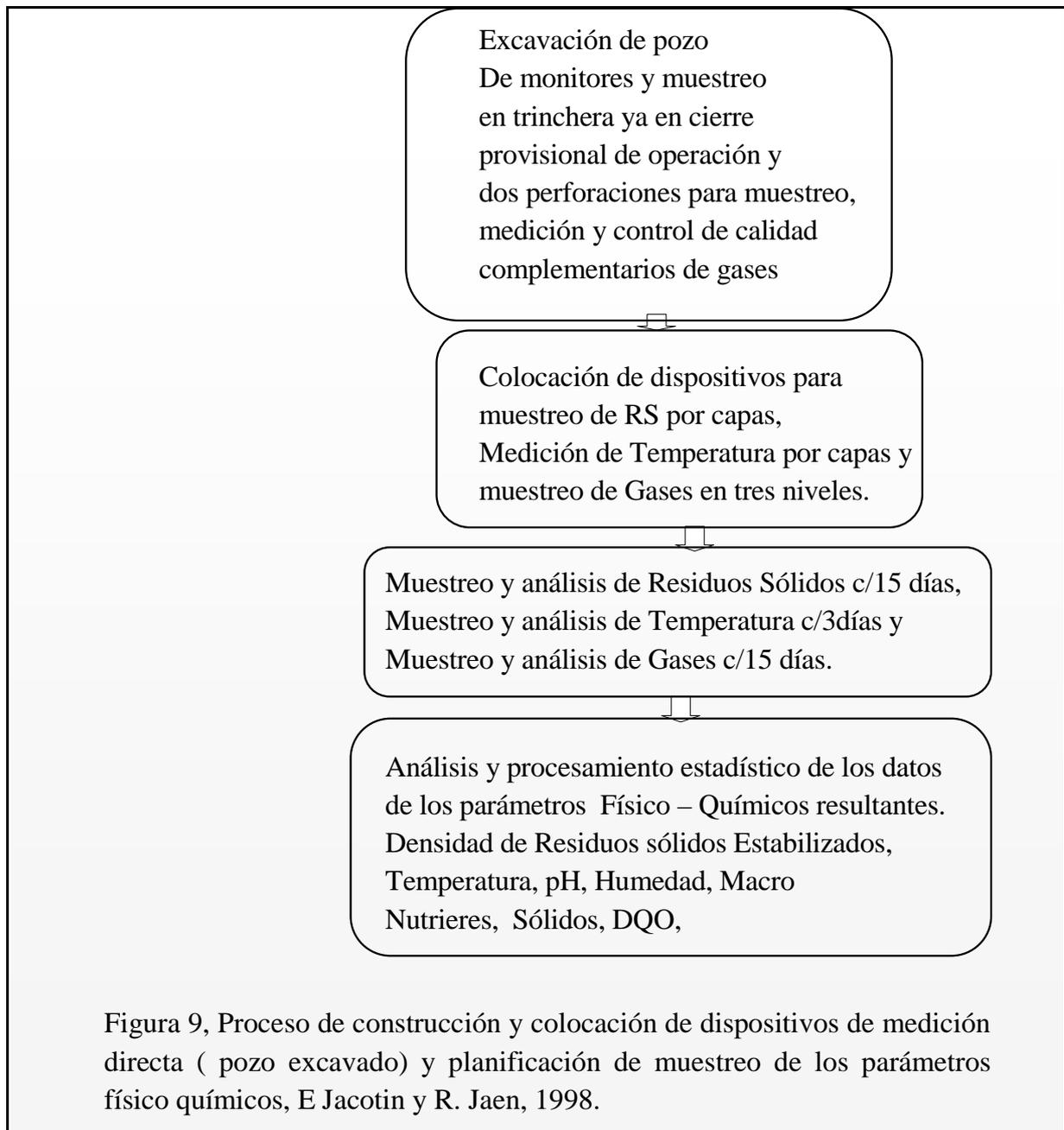
Consiste en un Pozo de monitoreo y muestro de la basura en proceso de estabilización en trinchera en estado de cierre de operación provisional. El pozo fue excavado en una trinchera cuya edad de operación es de un año y seis meses. En este punto se midió directamente la temperatura y descenso - acomodación de las celdas por biodegradación cada tres días y se muestrearon residuos sólidos y material de cobertura por celdas o capas por edad cada quince días. Se procedió a triturar las muestras, diluirlas, homogeneizarlas mediante sistema de mezcla por vibración magnética. Para obtener el lixiviado se utilizó un colador de malla fina.

La Figura 8, pozo de monitoreo, es un esquema ilustrativo dónde se describen las dimensiones de todos los elementos constructivos así como los instrumentos de mediciones concebidos y diseñados. Para mayor ilustración *ver foto #1 y 2 en ANEXO IV.*

*Estudio de efectividad en la estabilización de Residuos Sólidos, del relleno sanitario manual de Mateare, Nicaragua.*



La figura 9 consiste en un diagrama de flujos que describe esquemáticamente el sistemas constructivo del pozo de monitoreo directo, así como la planificación de medición de los parámetros de control del proceso de biodegradación en el tiempo.

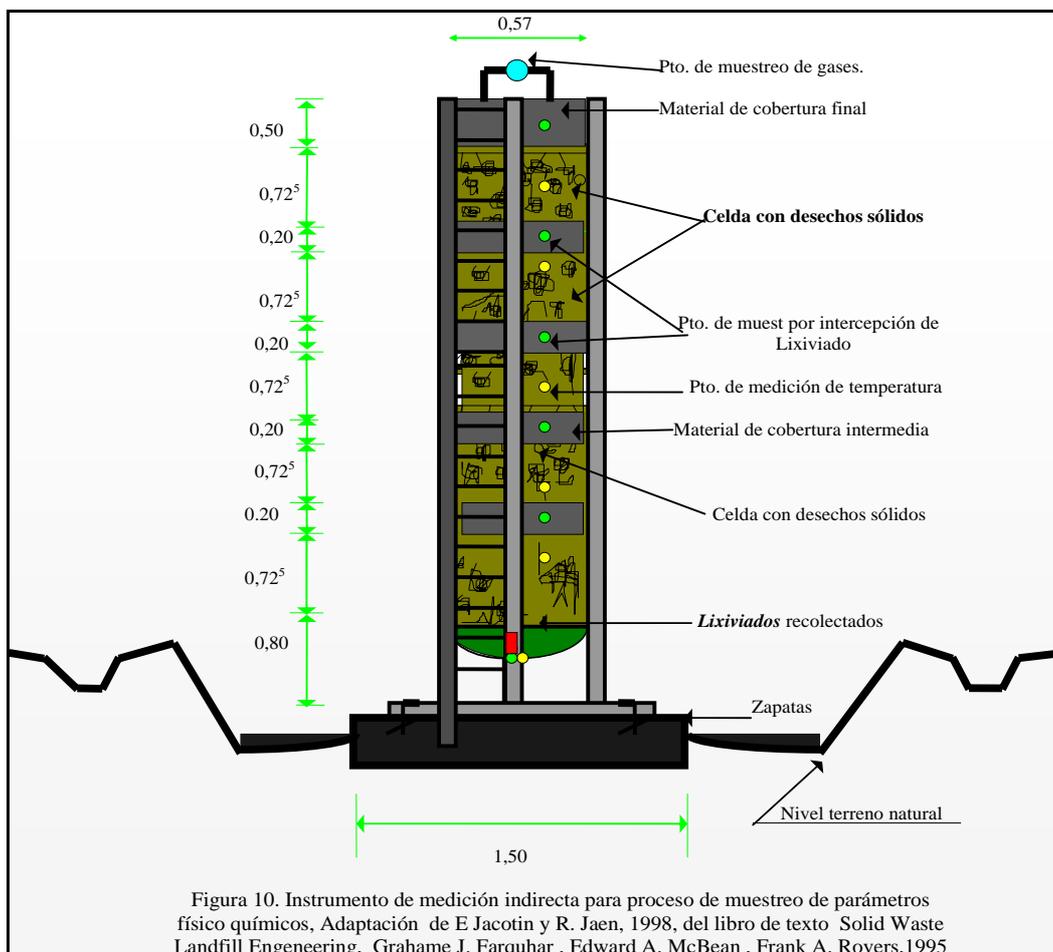


#### 5.4. Método de medición indirecta (lixímetro).

Basándose en lo señalado en el marco teórico, además de los métodos de mediciones directas, se ha diseñado, construido y puesto en operación un **lixímetro** con el propósito de medir y predecir de manera indirecta el comportamiento físico - químico y microbiológico de la basura dispuesta en las diferentes celdas que se han planificado construir en el lugar objeto de estudio.

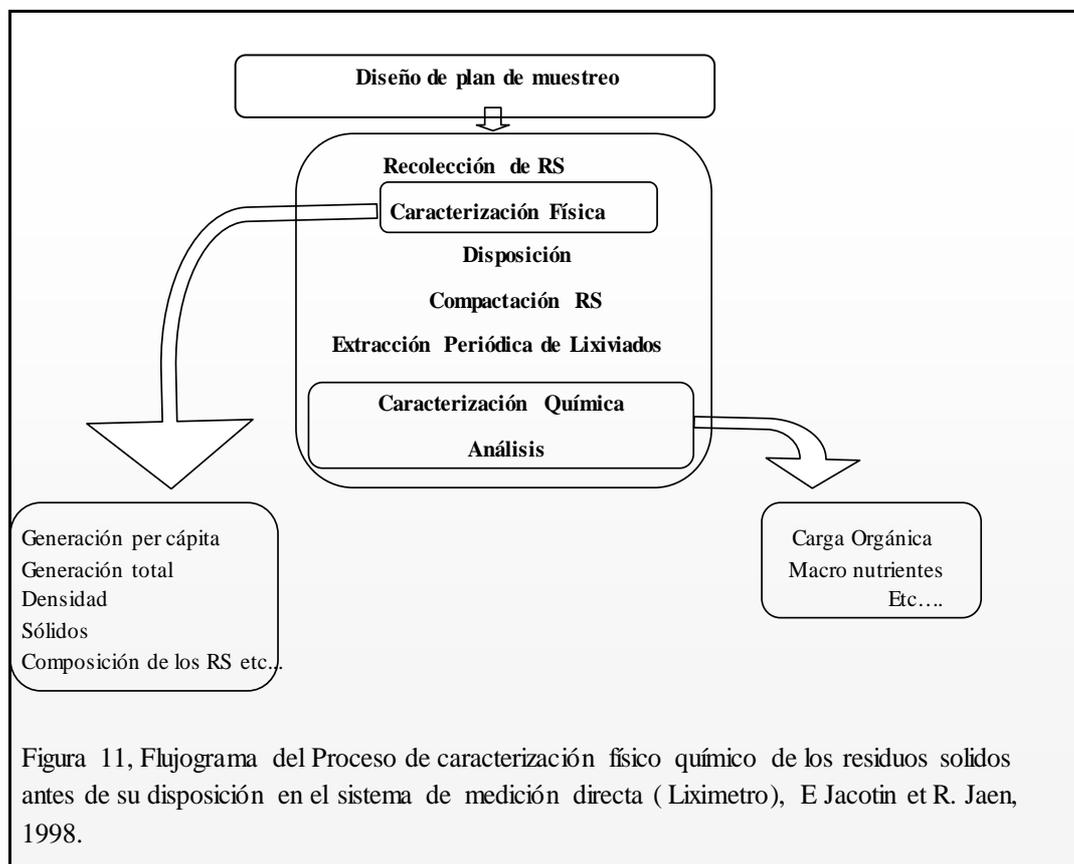
##### 5.4.1.- Descripción técnica del instrumento utilizado.

El lixímetro cuyos datos geométricos se encuentran reflejados en la Figura 10 , trabaja simulando una profundidad de 4 metros de residuos sólidos y materiales de cobertura debidamente compactados, cumpliendo el rango con el que históricamente han operado los lixímetros que es de 1 hasta 10 metros de altura. Consta de diversos puntos de medición de temperatura y de intersección de lixiviados, lo que tiene lugar en momentos de sobre saturación de humedad provocada por alta precipitación. Una de las ventajas a considerar es la facilidad que ofrece para simular las condiciones en el relleno sanitario. Para mayor ilustración, *ver foto #3 en ANEXO IV*



*Estudio de efectividad en la estabilización de Residuos Sólidos, del relleno sanitario manual de Mateare, Nicaragua.*

La Figura 11 muestra el diagrama de flujos para la caracterización de los residuos sólidos antes de disponerlos en el lixímetro, como línea base para tener un antes y de esta manera elemento de comparación después del proceso de biodegradación de dichos residuos.



## 5.5. Método de medición WBM para estimación de PERC, vía modelo matemático con hoja electrónica.

### 5.5.1.- Descripción

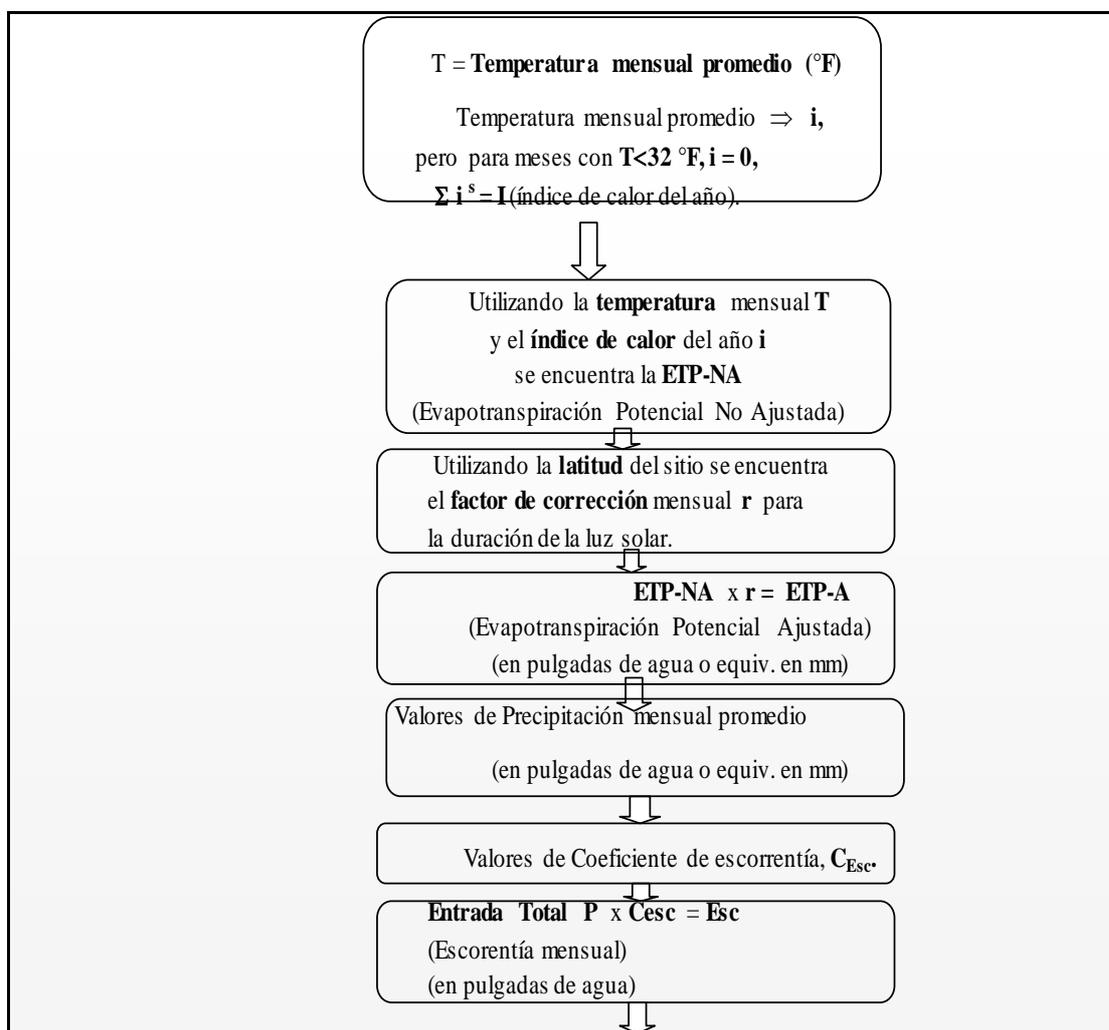
El WBM (*Water Balance Method*), ha sido desarrollado para obtener estimados mensuales y su uso en periodos muy cortos no está recomendado. Teniendo en cuenta el periodo de diseño que se adopta para los rellenos sanitarios entre 20 y 25 años, este método puede ser de gran utilidad para estimar, en contexto de la realización de un balance, la cantidad promedio anual PERCOLADO en  $m^3$  que puede acumularse en el fondo de los rellenos sanitarios sujeto a proceso de recolección, drenaje y tratamiento. Uno de las funciones especiales de este modelo es resolver el problema de la cuantificación de la evapotranspiración que es la clave para el balance de agua. Este método considerado como empírico es solo de aproximación, por lo tanto en este documento a nivel de resultados no se abordaran de manera explícita, sino que se utilizara como sistema comparativo al modelo HELP3.1, local está considerado de mayor precisión.

*Estudio de efectividad en la estabilización de Residuos Sólidos, del relleno sanitario manual de Mateare, Nicaragua.*

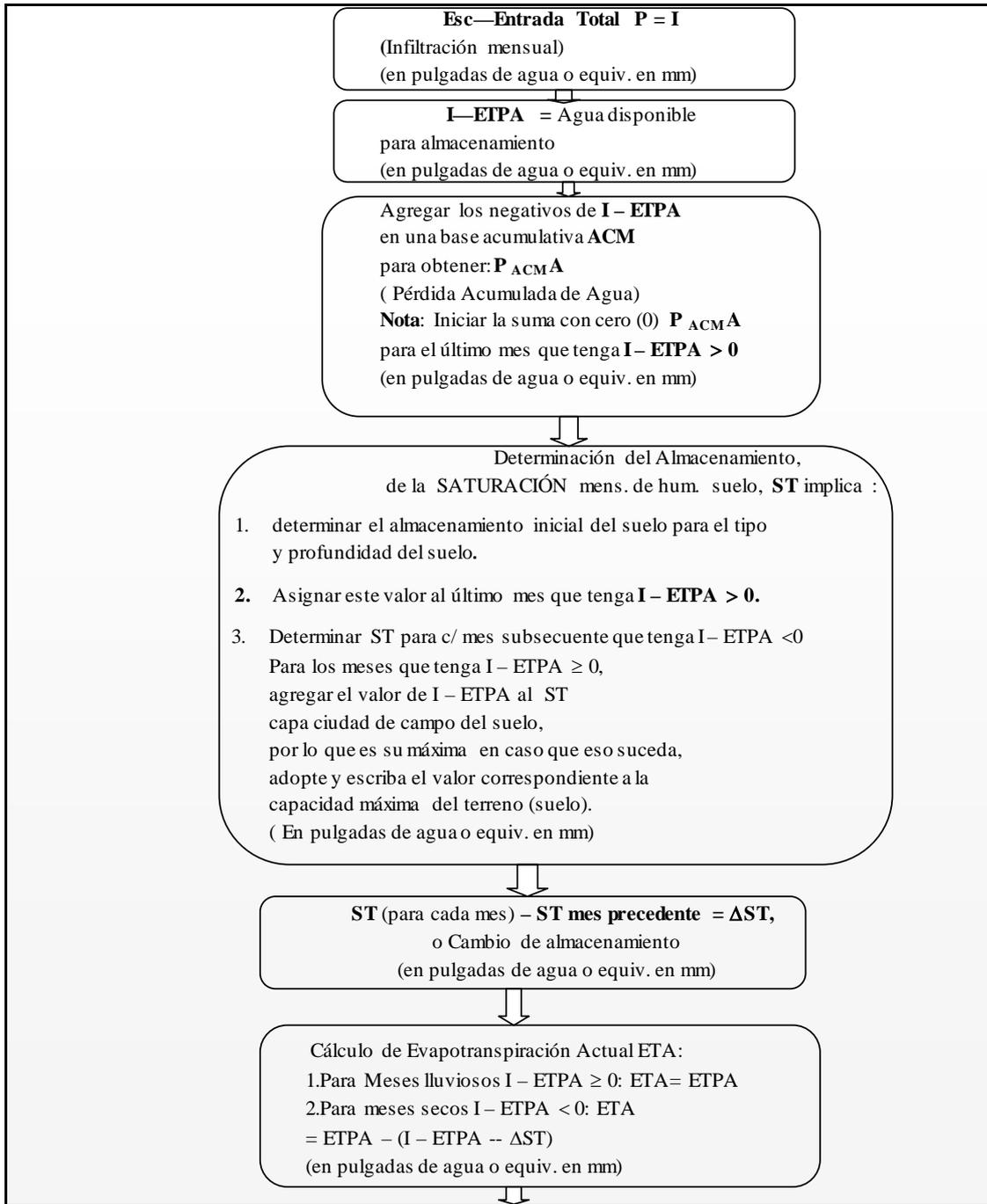
Entre otras, las bondades de este modelo se centran en torno a tres pasos en función de la evapotranspiración:

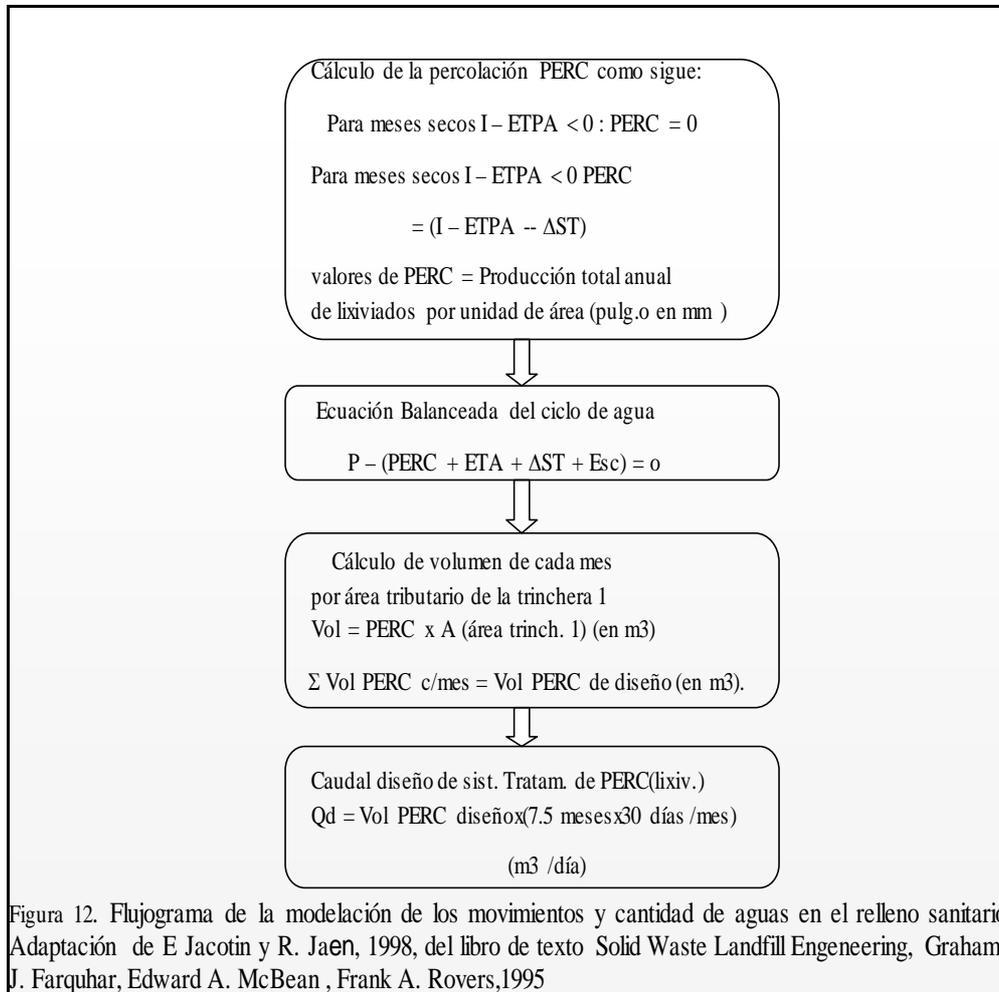
1. Obtención del índice de calor anual sumando cada uno de los doce índices mensuales obtenidos.
2. Obtención de la Evapotranspiración Potencial diaria a partir del índice de calor mediante el uso de las tablas<sup>1</sup> que serán colocado en Anexo III,
3. Ajuste de la evapotranspiración potencial mediante factores de corrección del índice de calor.

La **Figura 12** muestra el diagrama de flujos de los parámetros y los modelos utilizados para realizar el balance hídrico de las áreas de que han sido destinado destinados para la disposición final de los residuos solidos



<sup>1</sup>. Tablas de índice C de Solid Waste Landfill Engineering and Design. Grahame J. Farquhar , Edward A. McBean , Frank A. Rovers, 1995





### 5.6. Aplicación del método de medición vía simulación computarizada HELP 3

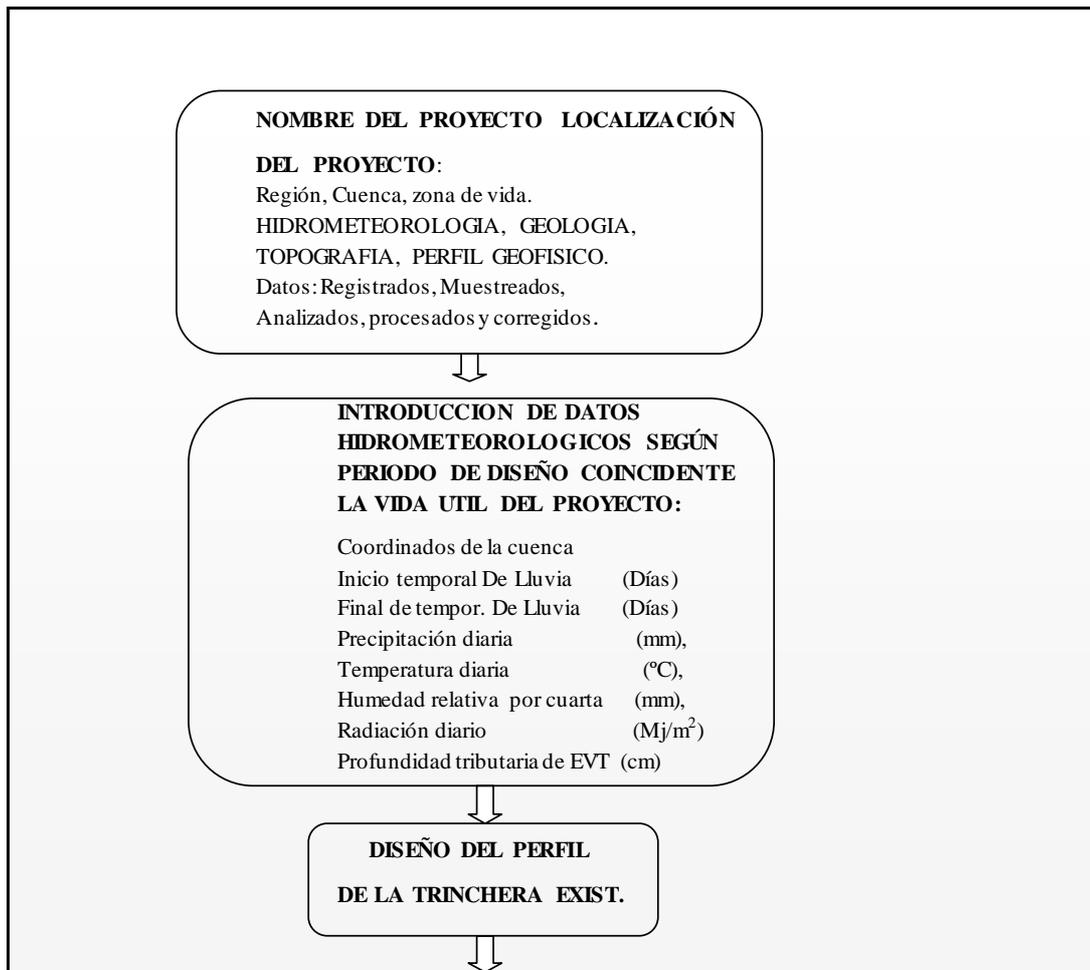
Las condiciones de investigación del Relleno Sanitario vía modelación HELP3, con finalidad de proyección de diseño de un sistema adecuado de disposición final de los residuos sólidos, no son las mismas que las consideradas en la realidad operacional del Relleno Sanitario de Mateare. Por lo mismo, para una correcta aplicación de este método de medición y antes de proceder en proyectar cualquier diseño alternativo, se procederá simulando la primera trinchera del relleno sanitario de Mateare tomando en cuenta los parámetros hidrometeorológicas, topográficas y geológicas propias al sitio de disposición final objeto de estudio.

**5.6.1.- Descripción del modelo HELP3 como método de medición predictiva:**

El HELP3, originalmente conocido como *Hidroológico Evaluation of Landfill Performance*, es un programa computarizado bi - dimensional mediante el cual se realiza modelación hidrológica de movimiento del agua, en el interior y a fuera del relleno sanitario.

El propósito principal del modelo es ayudar a intervenir en la comparación de diseños alternativos tomando como base de juicio los resultados del balance hídrico logrado. El modelo es aplicable en apertura, en clausura parcial y definitiva de sitios de disposición final de residuos sólidos; es una herramienta para ambos diseños y permita redactar el documento para tal fin.

**La Figura 13** muestra el diagrama de flujos de los parámetros en el modelo computarizado HELP3.1 utilizados para realizar el balance hídrico de las áreas de que han sido destinado destinados para la disposición final de los residuos solidos y de esta forma predecir el comportamiento de los volúmenes de agua durante la vida útil del relleno sanitario.



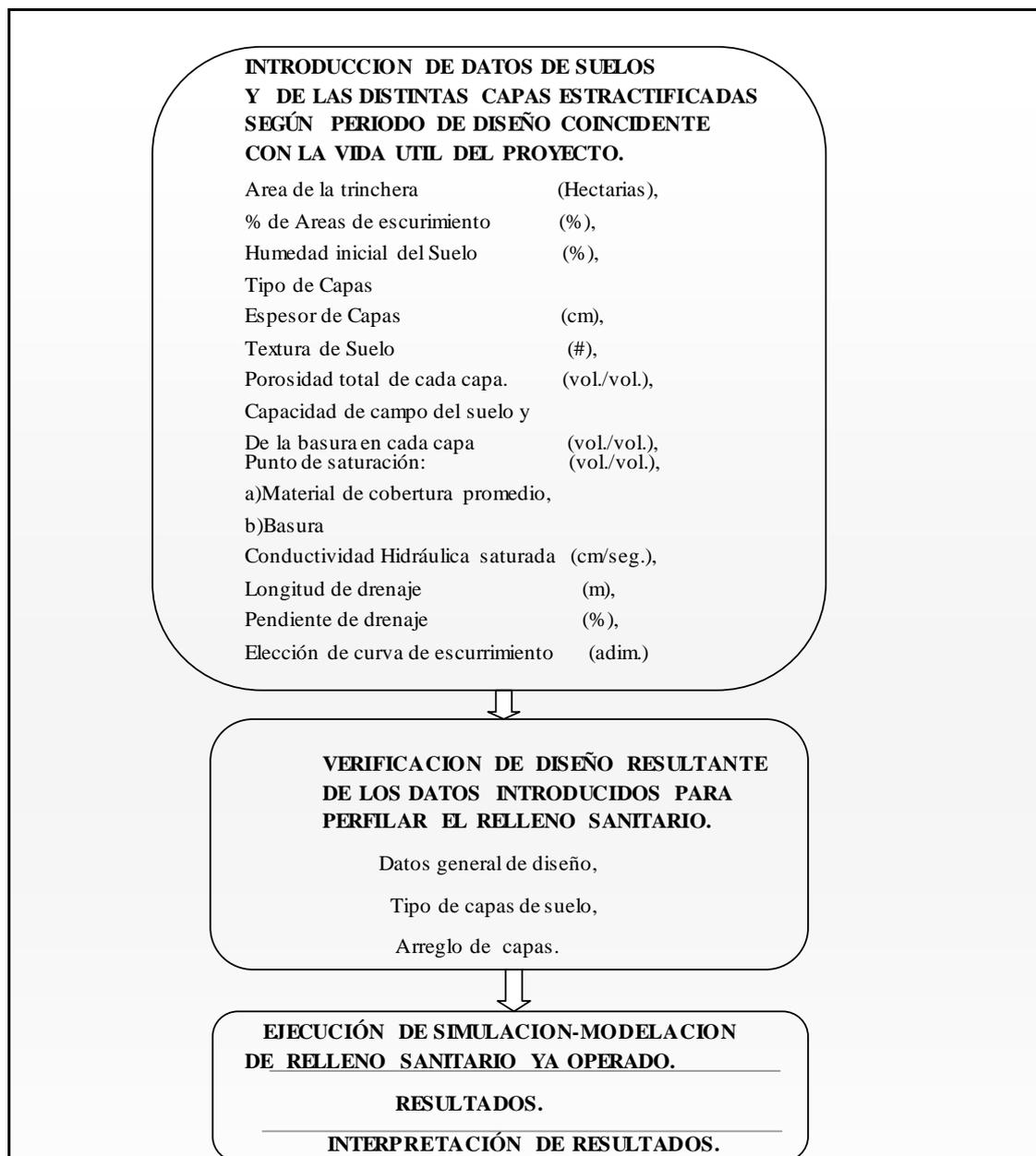


Figura 13. Flujograma para introducción de informaciones hidrogeológico, con ello lograr precisar el balance de agua (lixiviados) que circula en el relleno sanitario durante su vida útil.<sup>1</sup> Adaptación de E Jacotin et R. Jaen, 1998, del software HELP3.1,1990

<sup>1</sup> El Modelo Hydrologic Evaluation Landfill Performance (HELP versión 3.1) predice, diseñado por el cuerpo de Ingeniería de Estados Unidos Bajo versión MS DOS, actualizado por la Universidad de Waterloo Canadá bajo ambiente Window. Simula y analiza cuantitativa y cualitativamente los lixiviados.

### **5.7. Parámetros controlados en el relleno sanitario. Métodos de Análisis de medición y simulaciones.**

Los parámetros controlados en el relleno sanitario de Mateare, junto con los métodos de medición y las simulaciones hechas, se enumeran a continuación:

1. Densidad de los residuos sólidos ( $\text{kg/m}^3$ )
2. Composición de los residuos sólidos (Kg o % de c/componente)
3. Composición del suelo (% de c/Extracto)
4. Porcentaje de humedad de los residuos sólidos (%)
5. Temperatura de los residuos sólidos ( $^{\circ}\text{C}$ )
6. pH de los residuos sólidos y del suelo o bien potencial iones de hidrógeno (adimensional)
7. Porcentaje de humedad inicial del suelo (%)
8. Textura del suelo
9. Porosidad total de cada capa. (vol./vol.)
10. Capacidad de campo del suelo y de los residuos sólidos. (vol./vol.)
11. Punto de saturación del suelo y de los residuos sólidos (vol./vol.)
12. Conductividad hidráulica saturada del suelo y de los residuos sólidos (cm/seg.)
13. Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días (DBO5) (mg/L)
14. Demanda bioquímica de oxígeno (DQO) de los residuos sólidos (mg/L)
15. Sólidos Totales (ST) (mg /L)
16. Sólidos Volátiles (SV) (mg/L)
17. Contenido en nitrógeno amoniacal de los residuos sólidos (mg/L)
18. Contenido en nitratos de los residuos sólidos (mg/L)
19. Contenido en nitrógeno total de los residuos sólidos (mg/L)
20. Contenido en nitrógeno orgánico de los residuos sólidos (mg/L)
21. Contenido en fósforo de los residuos sólidos (mg/L)
22. Alcalinidad del suelo y de los residuos sólidos ( $\mu\text{s/m}$ )
23. Emisiones de gases de los residuos sólidos (Giga Gramos o Giga Toneladas (Ggr o Gton)
24. Caudales de lixiviados de los residuos sólidos ( $\text{m}^3/\text{día}$ )
25. Caudales de agua de escurrimientos ( $\text{m}^3/\text{día}$ )

*Estudio de efectividad en la estabilización de Residuos Sólidos, del relleno sanitario manual de Mateare, Nicaragua.*

---

En el siguiente capítulo, se presentaran los resultados en base al proceso de monitoreo y medición de varios de los parámetros de control que se mencionaron en la sesión 5.7. Sin embargo, por la misma naturaleza de este documento se abordaran las interpretaciones en relación a los parámetros que, durante este proceso de investigación, han contribuido eficazmente a los procesos de estabilización de los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario de Mateare. Se trata de hecho de efectividad en estabilización Física, química y microbiológica.

Del mismo modo, si bien es cierto que se han utilizado varios instrumentos de medición y control de parámetros ambientales, se abordaran las interpretaciones de resultados de los parámetros obtenidos a partir de la aplicación de aquellos instrumentos con más precisión.

## **VI.- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1. Análisis de resultados obtenidos a partir del modelo HELP3**

1. Las **deficiencias de diseño y construcción** tanto de las capas de la base de la trinchera como de las de cobertura final provocan una drástica pérdida y/o modificación de la capacidad de campo de las capas formadas por los residuos sólidos y extractos naturales de tierra sucesivamente. El 1,34% con equivalencia volumétrica  $12,02 \text{ m}^3$  y correspondiente al cambio de almacenamiento es una porción de agua muy baja que condiciona no sólo la humedad inicial del relleno sanitario, sino también el proceso de biodegradación ya que de una humedad óptima depende un proceso adecuado de crecimiento bacteriano, por lo tanto de creciente actividad de biodegradación –estabilización contribuyendo a una subida de temperatura favorable a la familia metanogénica. En este caso el condicionamiento es negativo por lo que la humedad necesaria para que haya un proceso de biodegradación óptimo oscila entre 60 y 70 %; y según datos de caracterización química obtenidos desde muestras del método de medición directa (pozo excavado) el promedio predominante de porcentaje de humedad, sobre todo en temporada seca (5 meses/año), es del 26%.
2. Considerando, *i.*) la situación del sistema actual de operación del relleno sanitario que incluye el perfil ya conformado de la primera trinchera, *ii.*) la constitución de la capa inferior de dicha trinchera (la calidad de suelo resultante del análisis tipo estratificación previa a los cálculos y diseños del área requerida del sistema de disposición final tal como se muestra en el Anexo I); *iii.*) y los datos de la Tabla 10, se puede concluir que:
  - a. **49,19 %** ( $V= 442,29 \text{ m}^3$ ) del 100 % ( $V= 899 \text{ m}^3$ ) **de precipitación anual pasa a través de la capa 15 para luego ser infiltrado** (en un viaje descendente gravitacional) sin restricción alguna hacia la zona no saturada.
  - b. Esta agua alcanza finalmente la zona saturada (el nivel freático del acuífero) y se suma a las aguas que constituyen el acuífero de la sub-cuenca Nagarrote. De esta manera se incluye como agua de recarga del mencionado acuífero.
3. Una vez más se trata aquí de un claro reflejo de deficiencia en concepto de diseño y construcción de las capas de drenaje y de retención de los lixiviados generados.

### **6.2. Análisis de resultados mediante el método liximétrico en el pozo de excavación**

1. Se ha encontrado un valor promedio de la DQO bajo, 1444 mg/L, lo cual viene a reforzar lo planteada al inicio de la investigación relativo a la velocidad de biodegradación. Se considera bajo este valor de DQO en relación con los valores iniciales de la DQO de los residuales sólidos de esta ciudad, siendo:
  - a. DQO promedio del lixiviado de la basura fresca: 67048 mg/L y

***Estudio de efectividad en la estabilización de Residuos Sólidos, del relleno sanitario manual de Mateare, Nicaragua.***

---

- b. DQO promedio del lixiviado de la basura después de tres meses: 34340 mg/L, y finalmente,
  - c. DQO del Lixiviado después de XX meses: 12204 mg/L
2. Los valores de DQO más representativa son los que provienen del lixiviado extraído del Lixímetro. En efecto se ha comprobado que los valores de los parámetros químicos de lixiviados, sobre todo de la DQO, proveniente de pozo de visita de un relleno sanitario, en nuestro caso del cono de recolección de lixiviados del simulador de relleno sanitario (Lixímetro), representan aproximadamente un 50% de los valores encontrados en los lixiviados de basuras frescas de menor o igual a 11 días.
3. La base de datos que permitieron las interpretaciones anteriores, también dejan abierta la posibilidad de concebir dos niveles de eficiencia de biodegradación y/o estabilización de los Residuos Sólidos así como una estimación de la tasa de biodegradación:
- a) Considerando los valores de DQO de las 7 capas (pozo excavado) durante el periodo incluido entre 25 de Marzo hasta el 27 de Julio de 1997, la eficiencia de remoción promedia registrada es de 83%. Este porcentaje sirve de referencia para estimar el tiempo de estabilización promedio de 549 días o su equivalencia en años, siendo 1.5 años (ver *Tabla 1 en ANEXO I*). Este valor significa que en aproximadamente 1.50 años la porción orgánica fácil y difícilmente biodegradable será completamente biodegradada.
  - b) Combinando los valores de DQO, tanto los iniciales (lixiviados de residuos sólidos frescos) como los intermedios (registrados en el pozo de monitoreo), se observó claramente una eficiencia de velocidad de biodegradación equivalente a 95.79 % en 15 meses de operación del relleno sanitario con una eficiencia anual de 76.63 %.
  - c) Cabe señalar de que en condiciones ambientales más favorables, mejor construcción del relleno sanitario, adecuado sistema de impermeabilización, mejor proceso de operación y nivel de pluviosidad mas alta; esta velocidad de biodegradación podría mejorarse.

### **6.3. Análisis de resultados de las simulaciones con lixímetro**

De los resultados procesados provenientes de los lixiviados obtenidos mediante simulación con el lixímetro. Las Tablas # 1a y 1b, Figura # 14, 15, en ANEXO II muestran los resultados obtenidos y son los siguientes:

- a. La carga contaminante se reduce de un valor inicial de DQO de 67048 mg/L hasta un valor promedio de 1365 mg /L.
- b. Los sólidos totales pasan de 115117 mg/L a 4753 mg/L.
- c. Los valores de DBO<sub>5</sub> y de SSV, obtenidos a partir de los análisis de las diferentes muestras de lixiviados y la calidad de los macronutrientes (nitrógeno y fósforo) (Ver *tabla # 1b, Figuras #16; Figura #17, 18, ANEXO II*), indican:

*Estudio de efectividad en la estabilización de Residuos Sólidos, del relleno sanitario manual de Mateare, Nicaragua.*

---

i. una variación descendente acorde a la magnitud de las precipitaciones durante los distintos meses lluviosos del año. A partir de estos datos de variación de carga contaminante será posible determinar algunos criterios de diseño de sistema de tratamiento de los lixiviados (aporte per cápita de carga contaminante, caudal de diseño, etc.) por un lado.

ii. Por otra parte, estos resultados demuestran la incremento de la tasa de biodegradabilidad de la porción orgánica dispuesta en el relleno sanitario, indicando claramente la efectividad en la estabilización de los residuos sólidos en el relleno sanitario de Mateare.

1. El valor de DQO promedia de **12204** mg /L (**Ver tabla # 1ª ANEXO II**), encontrada como carga orgánica del Lixiviado, es un indicador de un relleno sanitario joven (según el documento Residuales sólidos municipales, OMS, OPS, CEPIS, 2000, editado por REPIDISCA, REPINDEX ISSN 0252 – 7982) se considera que un relleno sanitario es joven si el valor de DQO está entre 3000 – 30000 mg/L).
2. Una observación similar es válida referente al comportamiento de la DBO<sub>5</sub>. Esta interpretación se encuentra ampliamente corroborada por los distintos comportamientos de los demás parámetros tales como: los Sólidos, los Macro Nutrientes (compuestos fosforados y nitrogenados tales como ortofosfato PO<sub>4</sub>, amonio NH<sub>3</sub>, nitrito NO<sub>2</sub> y nitrato NO<sub>3</sub>), etc. (**Ver tabla # 1a, 1b, figuras #14, 15**).
3. El tiempo de biodegradación-estabilización promedio de la porción orgánica de los residuos sólidos de fácil y difícil biodegradación, dispuestos en el relleno sanitario de Mateare, es de aproximadamente 1.50 años , siendo un valor muy bajo debido a la temperatura ideal simulada en el Liximetro, pero se estima a 3.33 años , puesto de que durante todo el periodo de monitoreo el liximetro nunca alcanzo la temperatura promedio 55 °C registrado en el relleno sanitario a través del pozo de monitoreo, siendo la temperatura promedio registrado en el liximetro de 35 °C, ideal para la biodegradación mesofilica que suele ser doblemente mas rápido que la biodegradación en condición termofilica que se dio en el liximetro.

## VII.- CONCLUSIONES

1. El relleno sanitario de la ciudad de Mateare resulta ser un sistema anaerobio con adecuada **efectividad para estabilizar** los distintos substratos dispuestos.
2. No se comprobó lo mismo con relación a su capacidad de retención, drenaje y acumulación de lixiviados (por modelación se determinó que aproximadamente 442 m<sup>3</sup> de lixiviado del total de volumen de agua precipitada anualmente pasan a través de la última capa no impermeabilizada de la primera trinchera). Este hecho no permite la debida remoción de la carga contaminante que contiene este subproducto que consiste en una mezcla compleja de carga orgánica y sustancias químicas peligrosas. Al no realizar dicha remoción se corre el riesgo de contaminar los ecosistemas más sensibles y más próximos tales como:
  - a. Los cuerpos de aguas superficiales (lago de Managua en este caso) por salidas subsuperficiales de los lixiviados y su introducción directa en ellas. Consecuentemente estaría en juego la salud humana, puesto que por cadena alimenticia el hombre (la población que consume los productos de estos cuerpos de agua, sobre todo pescados) se encontraría indirectamente afectada.
  - b. Los acuíferos (aguas subterráneas). Los estudios de estratificación realizados para el diseño de este sistema de tratamiento revelan estratos que en su conjunto son muy permeables. Se pudo confirmar este hecho mediante el modelo HELP3 utilizando dichos estratos.
3. Esta efectividad podría mejorarse siempre y cuando se encuentran reunidas las condiciones siguientes:
  - a. La no alteración del régimen de precipitaciones pluviales (el año de evaluación coincidió con el fenómeno del niño) ofreciendo de esta manera mayor cantidad de agua disponible, favoreciendo proceso de biodegradación.
  - b. Diseño y construcción adecuadas de los perfiles del relleno sanitario incluyendo, sobre todo las respectivas capas de fondo, laterales, intermedias y superficiales de las trincheras, pudiendo así regular la distribución de la película de agua precipitada.
  - c. Operación eficiente del relleno sanitario.
4. Faltando estas condiciones se ha comprobado a lo largo del estudio la predominancia de un proceso complicado en relación a la obtención de condiciones termodinámica pH alterados dentro de la trinchera debido a la presencia de materias calcarais características de las extractos, piedra pome conocido como jal en México, utilizados durante la operación como material de cobertura intermedia tanto del relleno sanitario, como del lixímetro. Por lo tanto pudo haberse dado una situación dificultosa en lo que concierne al a misma cinética del proceso de crecimiento bacteriana, considerando el hecho de que la familia microbiana metanogénica responsable del 70% de la biodegradación anaerobia es la más sensible a pH inadecuado al sistema. La misma heterogeneidad de los substratos que conforman el relleno así como las condiciones de humedad, de pH y de temperatura pudieron también haber contribuido a restar efectividad al relleno sanitario entendido como sistema de estabilización de los residuos sólidos.

5. El caudal de lixiviados obtenido por la simulación vía lixímetro, considerando que el lixiviado percolaría en 7.5 meses de temporada lluviosa, es de 0.0029 m<sup>3</sup>/día, (ver tabla No3). Considerando la mitad de la vida útil del relleno sanitaria, dicha caudal sería 23.32 m<sup>3</sup>/día. En cambio, con la modelación HELP3.1 con la misma consideración en relación a la vida útil del relleno se registró un valor de caudal de lixiviados menor, 16.82 m<sup>3</sup>/día (ver tabla No4). Generalmente este último modelo tiene mayor precisión puesto que exige la introducción de datos meteorológicos diarios y para un periodo mas largo.
6. Lo mismo sucede con la velocidad de biodegradación de los residuos sólidos dispuestos en el lixímetro reflejada fundamentalmente en la remoción de la carga orgánica expresada por la DQO. El valor promedio de DQO pasa de 67048 mg/L a 1365 mg/L equivalente a una eficiencia de 84.4 %. En cambio, en el relleno sanitario el proceso de biodegradación es más lento si se considera los resultados de DQO removida la cual pasa de 2436 mg/L a 981 mg/L equivalente a una eficiencia de 59.73 %. La razón de esta diferencia en términos de velocidad de biodegradación ya ha sido ampliamente fundamentado en varias interpretaciones anteriores relacionadas con la evaluación de la eficiencia de uno u otro método de medición.

## **VIII.- RECOMENDACIONES Y/O PROPUESTAS DE FUTUROS CAMPOS O REPLICACION DE ESTA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Después de haber experimentado varias vías y sistemas de mediciones con el fin de determinar la efectividad de estabilización de los residuos sólidos del Relleno Sanitario de la ciudad de Mateare, queda abierto el camino para:

- A. Seguir investigando temas afines a esta misma área de conocimiento en áreas de la zona Atlántica del país.
- B. Aplicar esta metodología de investigación para determinar el comportamiento de los rellenos sanitarios para estabilizar desechos sólidos generados en ciudades de mayor población, e.g. Managua.
- C. Formular algunas recomendaciones en términos de:
  1. Propuesta de un nuevo enfoque sobre tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el pacífico del país.
  2. Justificación de nuevas alternativas de tratamiento.
  3. Diseño y cálculo de sistemas modificados de disposición final en donde se incluye la determinación de áreas optimas a partir de un nuevo valor de densidad de la basura estable comprobado por los dos sistemas de mediciones: pozo de monitoreo y el lixímetro.
  4. Determinación de la cantidad potencial anual de gases (modelación matemática) que podrán producir los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario a fin de anticipar su efectividad potencial de biodegradación y prevenir los efectos que puedan provocar al ser emitidos a la atmósfera, así como la implementación de las medidas de mitigación de los mismos,

5. Diseño y cálculo de la red de drenaje pluvial de cada trinchera o redes primarias, de colectores de las redes primarias denominadas redes secundarias y de los colectores o de conducción hasta la planta de tratamiento.
6. Diseño y cálculo de sistemas modificados de perfiles de las trincheras, y de la comprobación del diseño de perfiles utilizando el modelo HELP 3.
7. Evaluación de diseño y construcción de sistema de tratamiento de lixiviados existentes para luego proponer un pre - diseño basados en criterios y sobre todo caudales fundamentados en los resultados de la modelación HELP3.

## **IX.- BIBLIOGRAFIA<sup>2</sup>**

1. Grahame J. Farquhar , Edward A. McBean , Frank A. Rovers, 1995.  
Solid Waste Landfill Engeneering and Design.  
Edit. PTR---PH .
2. George Tchobanoglous , Hilary Theisen , Samuel A. Vigil, 1998.  
Gestión Integral de Residuos Sólidos.  
Edit. Mc Graw-Hill.
3. OMS, OPS, CEPIS, 2000.  
Residuales sólidos municipales.  
REPIDISCA, REPINDEX ISSN 0252 – 7982)
4. Chemistry for environmental engineering  
Clair N. Sawyer, Pery L. McCarty,1998.  
Edit. Mc Graw-Hill.

---

<sup>2</sup> Las fechas de Las bibliografías, coinciden con las fechas de la realización de dicha investigación. Ciertamente hay ediciones mas recientes de ellos pero estos fueron los que se consultaron. Además las consultas posteriores efectuadas en la mayoría de dichas bibliografías no presentan modificaciones en los modelos utilizados en este trabajo.

## ANEXO I.

**Tabla 1. Análisis de comportamiento de la DQO en el relleno sanitario de mateare, relacionada con su eficiencia de biodegradación de residuos sólidos. (Jacotin et Jaen, 1998)**

Fechas	11 de Marzo 1997	25 de Marzo 1997	08 de Abril 1997	22 de Mayo 1997	29 de Abril 1997	13 de Mayo 1997	27 de Mayo 1997	24 de Junio 1997	15 de Julio 1997					
<b>No Capas</b>	<b>0</b>	<b>14</b>	<b>27</b>	<b>41</b>	<b>48</b>	<b>63</b>	<b>77</b>	<b>105</b>	<b>126</b>		<b>126</b>			
	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)	<b>EFICIENCIA (%)</b>	<b>DQO promedio experimentados (mg/L)</b>	<b>DQO Lixiv. RS frescos (mg/L)</b>	Tiempo estim. de estabiliz. de los RS (días)	Tiempo estim. de estabiliz. de los RS (años)
1	0	2530	1705	2399	1117	2054	1474	827	800	<b>68</b>	<b>1613</b>	<b>6102</b>	477	1,31
2	0	2494	1980	1986	1083	2722	1341	1882	375	<b>85</b>	<b>1733</b>	<b>6102</b>	444	1,22
3	0	1925	1291	906	1000	2140	517	783	230	<b>88</b>	<b>1099</b>	<b>6102</b>	700	1,92
4	0	2576	2016	2340	1312	2800	882	686	233	<b>91</b>	<b>1606</b>	<b>6102</b>	479	1,31
5	0	2784	1870	877	1132	2308	684	464	290	<b>90</b>	<b>1301</b>	<b>6102</b>	591	1,62
6	0	2150	960	1573	1408	1890	923	989	735	<b>66</b>	<b>1329</b>	<b>6102</b>	579	1,59
7	0	2592	1591	1513	1024	2263	1044	414	233	<b>91</b>	<b>1334</b>	<b>6102</b>	576	1,58
<b>PROMEDIO</b>		<b>2436</b>	<b>1630</b>	<b>1656</b>	<b>1154</b>	<b>2311</b>	<b>981</b>	<b>864</b>	<b>414</b>	<b>83</b>	<b>1431</b>		<b>549</b>	<b>1,50</b>

## ANEXO II.

Tabla # 2a. Procesamiento de resultados de parámetros de lixiviados muestreados en lixímetro, (Jacotin, et Jaen, 1998)

FECHA	CONTEXTO	ASPECTO	pH	T°C	Interv.	Tpo	DQO	DBO5 Ajust.	DQO	VOL. TOT.	VOL. TOT.	PERC.	PERC.	Precip. equi./8días	ST	STV	SFT
					Lixi.	Acum.											
Dic-96	Lix. Res.Sol.frescos	Gris pronunciado	4,80	30	0,00	0	67048	5509	0,08	5640	0,0564	5076	0,051	198,92	115117	42689	77054
09/06/1997	Lixiviados(Cono)	café claro (sólid.)	8,73		95,00	95	34486	1683	0,05	1284	0,01284	1156	0,012	45,29	59210	17969	39633
13/06/1997	Lixiviados 3(nivel 2 pt.)	Café claro(Solid)	7,80		4,00	99	30528	1490	0,05	2,30	2,3E-05	2	0,000	0,08	52414	15907	35084
17/06/1997	Lixiviados 3 (comb.)	Café claro	8,97	27	4,00	103	10318	504	0,05	84	0,00084	76	0,001	2,96	17716	3414	14302
19/06/1997	Lixiviados 1 (Cono)	Café claro(Solid)	9,43		2,00	105	8591	359	0,04	1870	0,0187	1683	0,017	65,95	33450	11060	22390
20/06/1997	Lixiviados(Cono)	café claro (sólid.)	9,30	35	1,00	106	5727	879	0,15	1400	0,014	1260	0,013	49,38	23620	7400	16220
24/06/1997	Lixiviados(Cono)	café claro	9,30	36	4,00	110	5163	90	0,02	1570	0,0157	1413	0,014	55,37	22586	5296	17290
26/06/1997	Lixiviados(Cono)		9,70	36	4,00	114	7502	169	0,02	610	0,0061	549	0,005	21,51	27120	7620	19500
01/07/1997	Lixiviados(Cono)	café claro	9,33	36	4,00	118	12878	560	0,04	2090	0,0209	1881	0,019	73,71	22110	6710	15400
10/07/1997	Lixiviados(Cono)	café claro	9,68	37	8,00	126	9436	962	0,10	2160	0,0216	1944	0,019	76,18	27960	8390	19570
17/07/1997	Lixiviados(Cono)	café claro	9,74	37	8,00	134	12450	1075	0,09	1375	0,0138	1238	0,012	48,50	36270	13450	22820
24/07/1997	Lixiviados(Cono)	café claro	9,64	36	8,00	142	11086	754	0,07	1705	0,0171	1535	0,015	60,13	26570	7900	18670
31/07/1997	Lixiviados(Cono)	café claro	9,5		8,00	150	7420	608	0,08	2068	0,0207	1861	0,019	72,94	21570	6070	15500
07/08/1997	Lixiviados(Cono)	café claro	9,5	36	8,00	158	5713	226	0,04	2060	0,0206	1854	0,019	72,66	21270	6410	14860
14/08/1997	Lixiviados(Cono)	café claro	9,47		8,00	166	3084	253	0,08	2525	0,0253	2273	0,023	89,06	15880	3060	12820
21/08/1997	Lixiviados(Cono)	café claro	9,43	37	8,00	174	3671	543	0,15	1790	0,0179	1611	0,016	63,13	31590	8750	22840
28/08/1997	Lixiviados(Cono)	café claro	9,26	36	8,00	182	2600	214	0,08	1465	0,0147	1319	0,01	51,67	15000	3520	11480
04/09/97	Lixiviados(Cono)	café claro	9,05	37	8,00	190	2400	450	0,19	3230	0,0323	2907	0,03	113,92	10010	2430	7580
11/09/97	Lixiviados(Cono)	café claro	8,78	36	8,00	198	2625	128	0,05	4835	0,0484	4352	0,04	170,53	9160	2030	7130
25/09/97	Lixiviados(Cono)	café claro			8,00	206	1365	67	0,05						4763	1055	3707
PROMEDIO			9,02	36	10,30	34	12204	826,16	0,07	1987,54	0,02	1788,79	0,02	70,10	29669	9057	20693

Tabla # 2b:Procesamiento de resultados de parámetros de lixiviados del liximetro (Jacotin et Jaen, 1998)

Sol.Sed.	SST	SSV	SSV/SFT	SSF	SDT	SDV	SDF	NH3	N Kend	(N. Org.)	Tpo Acum.	DBO5 Ajust.	Nitratos	Nitritos	FOSFÓRO.	Fe Tot.	Turb.	Alcal. (mg de CaCO <sub>3</sub> /l)	AGV (mg de HaC./l)	AGV (meq/L)	Conduct. ms/m
(ml/h/l)	(mg/l)	(mg/l)	(%)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(días)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(NTU)				
46,05	21416	11393	0,15	10023	52968	26200	10800	113,00	349,59	333,70	0	5509	716,67	1002,3	133,88	317,77	6722	13192			40,64
23,68	8038	2883	0,07	5155	27244	5498	17502	39,20	566,30	527,10	0	2585	287,3	96,27	48,22	255,06	112	6786		1,091	26,90
20,97	9751	5187	0,15	4564	29917	8975	19446	18	197,46	188,48	4	1208	552,22	320,41	52,95	144,69	3061	7451			28,75
7,09	2718	1175	0,08	1543	12898	3869	8384	7,74	85,13	81,26	8	408	265,32	215,96	21,28	81,41	693	1426			20,50
17,00	2036	936	0,04	1100	10780	540	10240	16,80	190,40	173,60	10	359	260,64	120,64	48,50	51,516	534	7162	10,73	0,52	30,30
21,00	6660	2490	0,15	4170	15000	4400	10600	39,20	196,00	156,80	11	879	211,17	222,14	62,00	98,82	2191	4499	10,91	0,53	20,60
2,40	650	300	0,02	350	22300	7400	14900	0,00	184,80	184,80	15	90	94,90	188,82	34,50	62,00	210	4838	218,18	10,54	26,60
	600	440	0,02	160	27300	10100	17200	0,00	123,20	123,20	19	169	310,27	199,05	44,15	57,23	308	5930	283,64	9,50	28,80
9,00	850	670	0,04	180	20200	7200	13000	0,00	120,40	120,40	23	560	268,13	110,40	16,37	70,03	365	4930	207,27	6,90	22,50
34,00	3040	1995	0,10	1045	24900	8650	16250	0,00	142,80	142,80	31	962	229,90	93,84	28,02	96,46	1390	5890	282,15	9,45	26,30
	3110	1970	0,09	1140	33160	7900	25260	0,00	246,40	246,40	39	1075	250,80	61,90	68,00	93,16	1379	5818	54,15	1,82	32,40
	2060	1270	0,07	790	23200	6200	17000	0,00	190,40	190,40	47	754	173,80	200,71	11,20	52,12	820	4673	195,26	6,54	28,90
	2060	1270	0,08	790	23200	6200	17000	0,00	131,60	131,60	55	608	176,37	139,52	11,20	52,12	972	3655	86,88	2,91	24,50
	2440	588	0,04	1852	18830	5822	13008	11,20	81,2	70	63	226	216,00	132,27	25,82	55,778	412	3400	135,85	4,55	24,4
	1243	1053	0,08	190	15637	3040	12597	0,00	57,12	57,12	71	5	162,544	141,67	7,30	27,857	174	2500	32,73	1,09	22,7
	5262	3377	0,15	1885	26338	5383	20956	0,00	48,16	48,16	79	543	179,865	26,41	11,935	25,00	798	1500	76,36	2,54	26,6
	2667	943	0,08	1723	12333	2577	9757	0,00	40,80	40,80	87	214	131,90	28,57	4,24	18,43	482	1364	98,18	3,27	18,78
	3050	1422	0,19	1628	6960	1008	5952	0,00	42,56	42,56	95	450	140,06	20,00	8,67	47,20	1250	1930	109,10	3,63	11,71
	1160	348	0,05	812	8000	2400	5600	0,00	39,06	39,06	103	128	14,822	9,43	8,12	13,07	244	1080	54,54	1,81	11,59
	603	181	0,05	422	4149	1245	2697	0,00	15,96	15,96	111	67	20,517	1,71	5,67	6,80	127	560			6,01
20,13	3971	1994,61	0,09	1976	20766	6230	13407	12,25	152,47	145,71	44	839,97	233,16	166,60	32,60	81,33	1112	4429,17	123,73	4,17	23,97

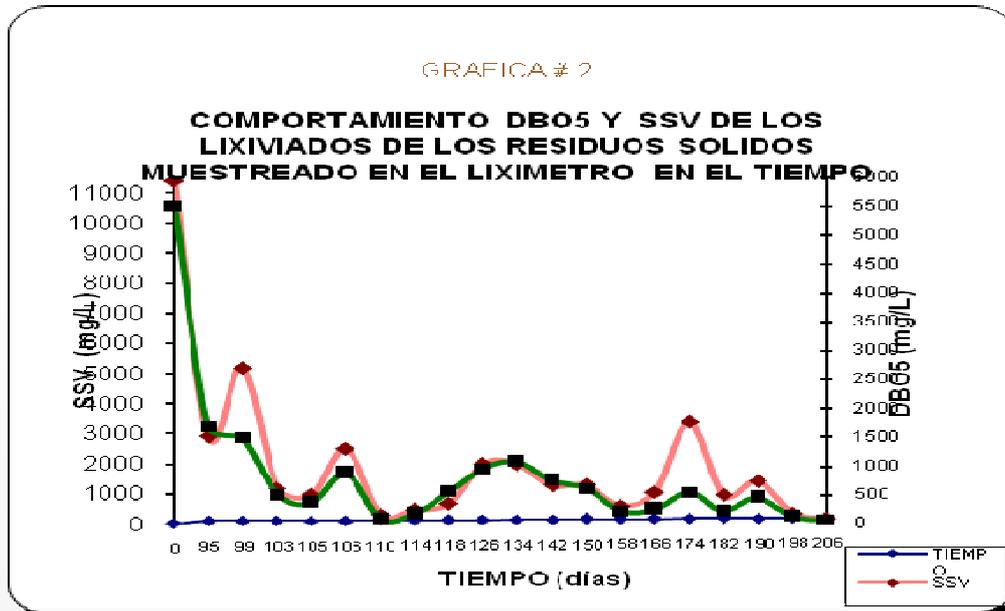


Figura 14. Efectividad en en estabilizacion de los residuos solidos dispuestos en el liximetro, expresada por el Comportamiento de la Demanda Bioquimica de Oxigeno a los 5 dias (DBO<sub>5</sub>) correlacionada con los Solidos Suspending Volatiles (SSV), Jacotin et Jaen, 1998.

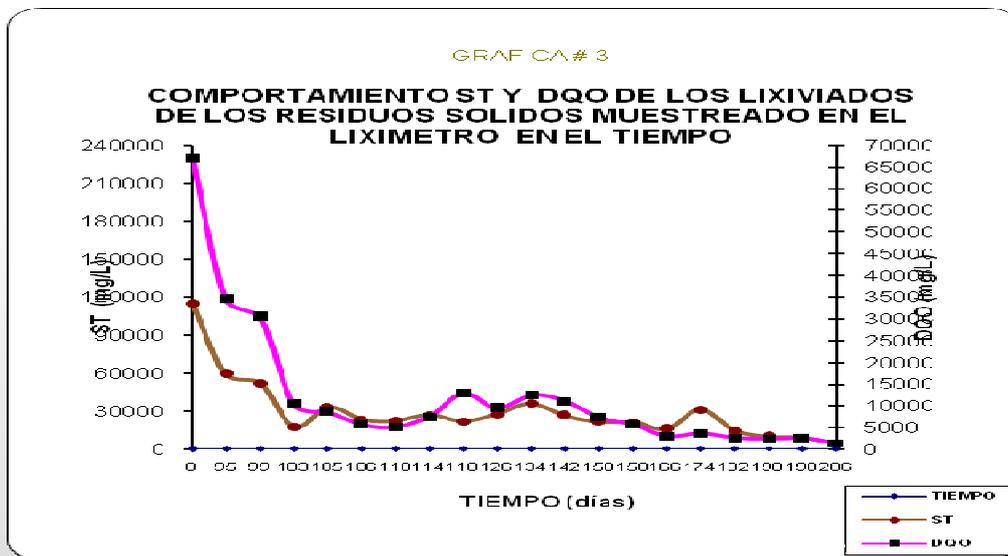


Figura 15. Efectividad en estabilizacion de los residuos solidos dispuestos en el liximetro, expresada por el Comportamiento de la Demanda quimica de Oxigeno (DQO) correlacionada con los Solidos Totales (ST), Jacotin et Jaen, 1998.

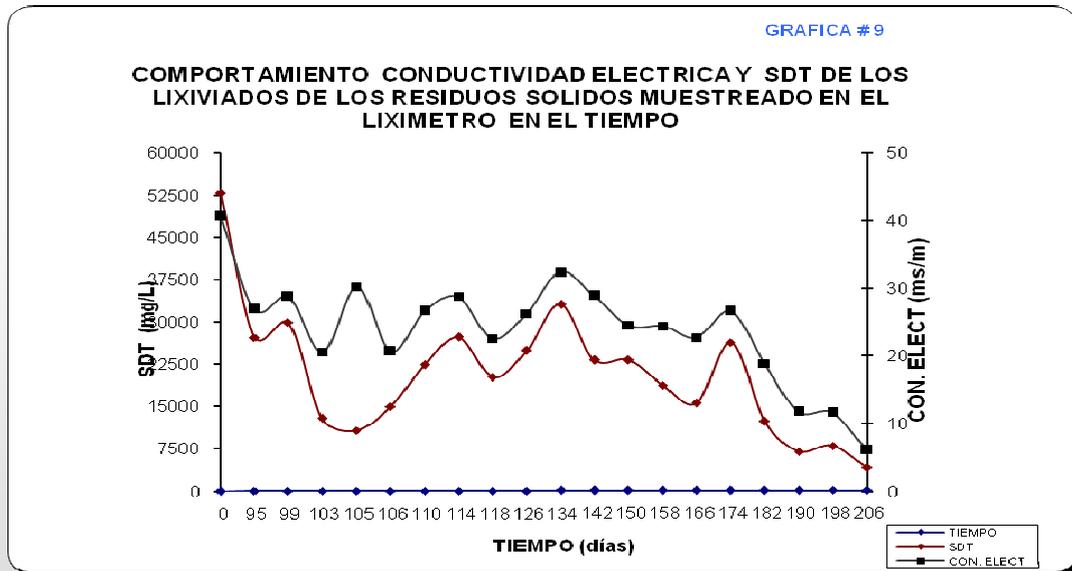


Figura 16. Efectividad en estabilización de los residuos sólidos dispuestos en el lixímetro, expresada por el Comportamiento de la Conductividad eléctrica correlacionada con los Sólidos disueltos Totales (SDT), Jacotin et Jaen, 1998.

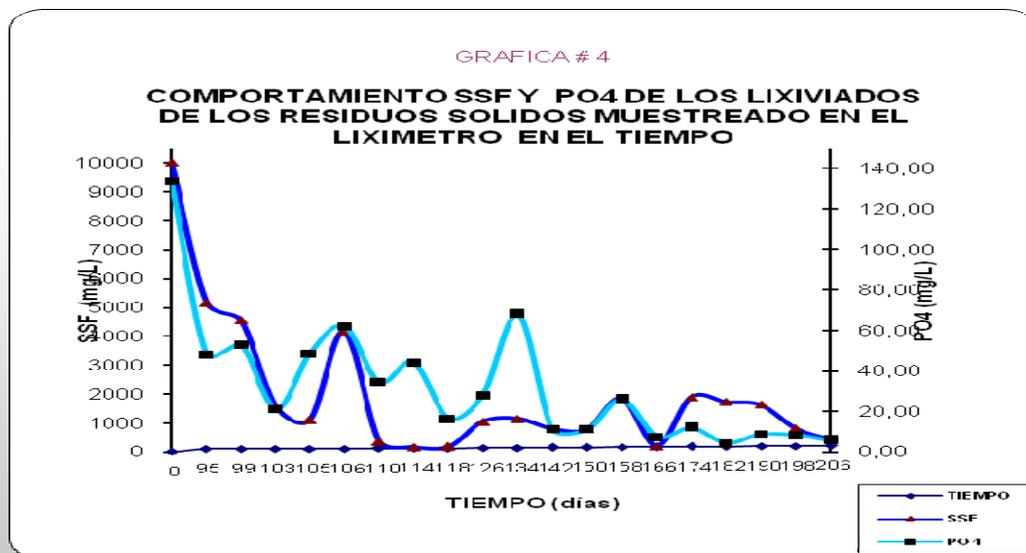


Figura 17. Efectividad en biodegradación de los residuos sólidos dispuestos en el lixímetro, expresada por el Comportamiento de los Sólidos Suspensos Fijos (SSF) correlacionada con Otofósforo ( $PO_4$ ), Jacotin et Jaen, 1998.

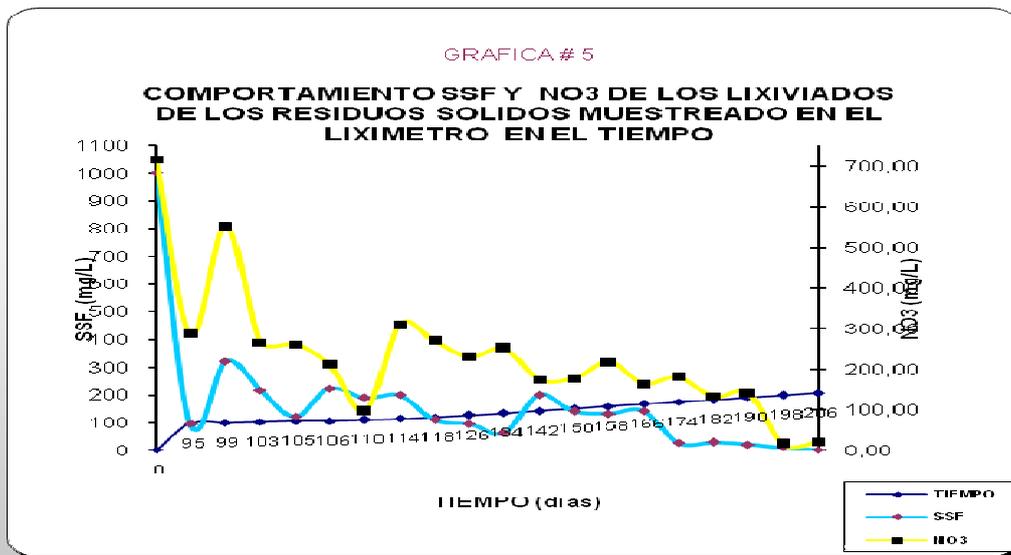


Figura 18. Efectividad en estabilizacion de los residuos solidos dispuestos en el liximetra, expresada por el Comportamiento de la los Nitratos (NO3) correlacionada con los solidos Suspendidos Fijos (SSF), Jacotin et Jaen, 1998.

### ANEXO III.

**Tabla No3: Caudal de lixiviados simulados en el lixímetro, Jacotin et Jaen, 1998.**

Periodo lluvioso		225	(Dias)
Tirante	h	1987.54	mm/225 Dias
	h	0.0088	m/día
Diametro del lixímetro	d	0.65	m
Area del lixímetro	A	0.3318315	m <sup>2</sup>
Caudal de lixiviados extraído del lixímetro en su periodo de simulación	V	0.002931237	m <sup>3</sup> /día

**Tabla No4: Caudal de lixiviados calculados desde lo simulado en el lixímetro, Jacotin et Jaen, 1998.**

Periodo lluvioso		225	(dias)
Tirante	h	0.0088	m/ día
Ancho medio de una trinchera para 1 ano de disposición de residuos sólidos.	a	12	m
Largo medio de una trinchera para 1 ano de disposición de residuos sólidos.	L	22	m
Área de una trinchera para 1 ano de disposición de residuos sólidos.	A	264	m <sup>2</sup>
Caudales de lixiviados /día, para periodo de 1 años de 20	Q	2.33	m <sup>3</sup> /día
Caudal lixiviados /día, para periodo de 10 años de 20	Q	23.32	m <sup>3</sup> /día

Tabla # 5. Balance hídrico, para determinar la película o el tirante H de agua, en (mm) como elemento principal para encontrar el volumen de agua que se espera en el fondo del relleno en concepto de lixiviados.

DETERMINACION DE CANTIDAD APROXIMADA DE LIXIVIADO QUE PUEDE PRODUCIRSE EN EL RELLENO SANITARIO DE MATEARE ASI COMO EL TIEMPO DE LLEGADA DE LOS PRIMEROS LIXIVIADOS															
BASE DE DATOS PARA BALANCE HIDRICO METODOLOGIA PERC															
L COORDENADAS : LATITUD NORTE	12	29.70	27.30	30.90	31.20	32.70	32.10	33.00	32.10	30.60	30.80	29.10	27.40	30.68	
BASE PARA INTERPOLACION GEOMETRICA	13	29.40	27.30	30.90	31.20	33.00	32.10	33.00	32.40	30.60	30.80	28.80	27.40	30.68	
PARA COLOCAR VALORES DE HRAS Y DECIMES DE LITZ	1	-0.30	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	-0.30	0.00		
SOLAR CORRESPONDIENTE A LA LAT. 12 grado	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25		
PRECIPITACION (cmm)		2.24	0.66	1.5	20.44	214.38	216.2	110.46	215.08	412.08	301.86	141.82	6.84	1643.66	
BALANCE HIDRICO (PERC)															
COMPONENTES DE BALANCE HIDRICO	SIGLAS (Unidades)	MENSUAL											ANUAL Media	RESULTADOS	
		Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.			Diciem.
Temperatura	T (° C)	27.00	28	28.9	29.3	27.3	27.2	27.4	27.2	25.7	26.0	26.2	26.5		
Temperatura	T (° F)	80.6	82.4	84.02	84.74	81.14	80.96	81.32	80.96	78.25	78.8	79.16	79.7		
Indice de calor		12.85	13.57	14.22	14.52	13.05	13.01	13.13	13.01	11.93	12.13	12.29	12.49	156.20	
Evapot. Potencial no Ajustada	UPET (Pulg.)	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18		
Factor de duración de luz solar	F	29.63	27.30	30.90	31.20	32.78	32.10	33.00	32.18	30.60	30.80	29.03	27.40		
Evaporación potencial Ajustada	PET (Pulg.)	5.33	4.91	5.56	5.62	5.90	5.78	5.94	5.79	5.51	5.54	5.22	4.93	66.04	
Precipitación	P (cm.)	0.22	0.07	0.15	2.04	21.44	21.62	11.05	21.51	41.21	30.19	14.18	0.68	164.36	
Precipitación	P (Pulg.)	0.09	0.03	0.06	0.80	8.44	8.51	4.35	8.47	16.22	11.88	5.58	0.27	64.71	
Coefficiente de escurrimiento	C r/o	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
Escurrimiento	R/O (Pulg.)	0.01	0.00	0.01	0.08	0.84	0.85	0.43	0.85	1.62	1.19	0.56	0.03	6.47	
Escurrimiento	R/O (mm)	0.22	0.07	0.15	2.04	21.44	21.62	11.05	21.51	41.21	30.19	14.18	0.68		
Infiltración	I (Pulg.)	0.08	0.02	0.05	0.72	7.60	7.66	3.91	7.62	14.60	10.70	5.03	0.24		
Infiltración	I (mm)	2.0	0.6	1.4	18.4	192.9	194.6	99.4	193.6	370.9	271.7	127.6	6.16		
Agua disponible par almacenamiento	I - PET (Pulg.)	-5.3	-4.9	-5.5	-4.9	1.7	1.9	-2.0	1.8	9.1	5.2	-0.2	-4.7		
Pérdida de agua acumulada	ACCWL (Pulg.)	-5.3	-10.1	-15.7	-20.5			-2.0				-0.2	-4.9		
Flujos acumulados en el suelo	ST (Pulg.)	1.0	1.1	1.0	1.0	1.7	1.9	2.8	1.8	9.1	4.0	4.2	1.2		
Combio de almacenam. de hum. de suelo	AST (Pulg.)	1.0	0.1	-0.2	0.0	0.7	0.2	0.7	-0.8	2.2	-4.9	-2.8	-3.0		
Combio de almacenam. de hum. de suelo	AST (mm)	25.7	3.3	-4.6	-0.3	19.0	4.7	19.0	-20.3	55.1	-124.3	-70.9	-75.9		
Evapotranspiración actual	AET (Pulg.)	-0.9	-0.1	0.2	0.7	5.9	5.8	3.2	5.8	5.5	5.5	7.8	3.2	42.86	Determinación de Evapotranspiración actual
Evapotranspiración actual	AET (mm)	-23.6	-2.7	5.9	19.8	149.8	146.8	80.4	147.1	139.9	140.8	198.5	82.1	22.25	Percolación
Percolación	PERC (Pulg.)	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	2.6	6.9	10.0	0.0	0.0	585.02	Percolación
Percolación	PERC (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	24.1	43.1	0.0	66.8	175.8	255.2	0.0	0.0	64.71	Percolación
Precipitación verificada	P verif. (Pulg.)	0.1	0.0	0.1	0.8	8.4	8.5	4.3	8.5	16.2	11.9	5.6	0.3	64.71	Entrada comprobada
Precipitación verificada	P verif. (mm.)	2.2	0.7	1.5	20.4	214.4	216.2	110.5	215.1	412.1	301.9	141.8	6.8	1643.56	Entrada comprobada
		1.0	0.3	0.7	9.2	96.5	97.3	49.7	96.8	185.4	135.8	63.8	3.1	739.60	Entrada comprobada
Ecuación de continuidad S=(PERC+AET+AST+R/O) - P		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ecuación de continuidad balanceada P= 0.00

Adaptación de documento : solid waste landfill engineering and design, Edward A. McBean, Rfank A. Rovers and Grahame J. Farquhar, 1995, Jacotin et Jaen, 1998.

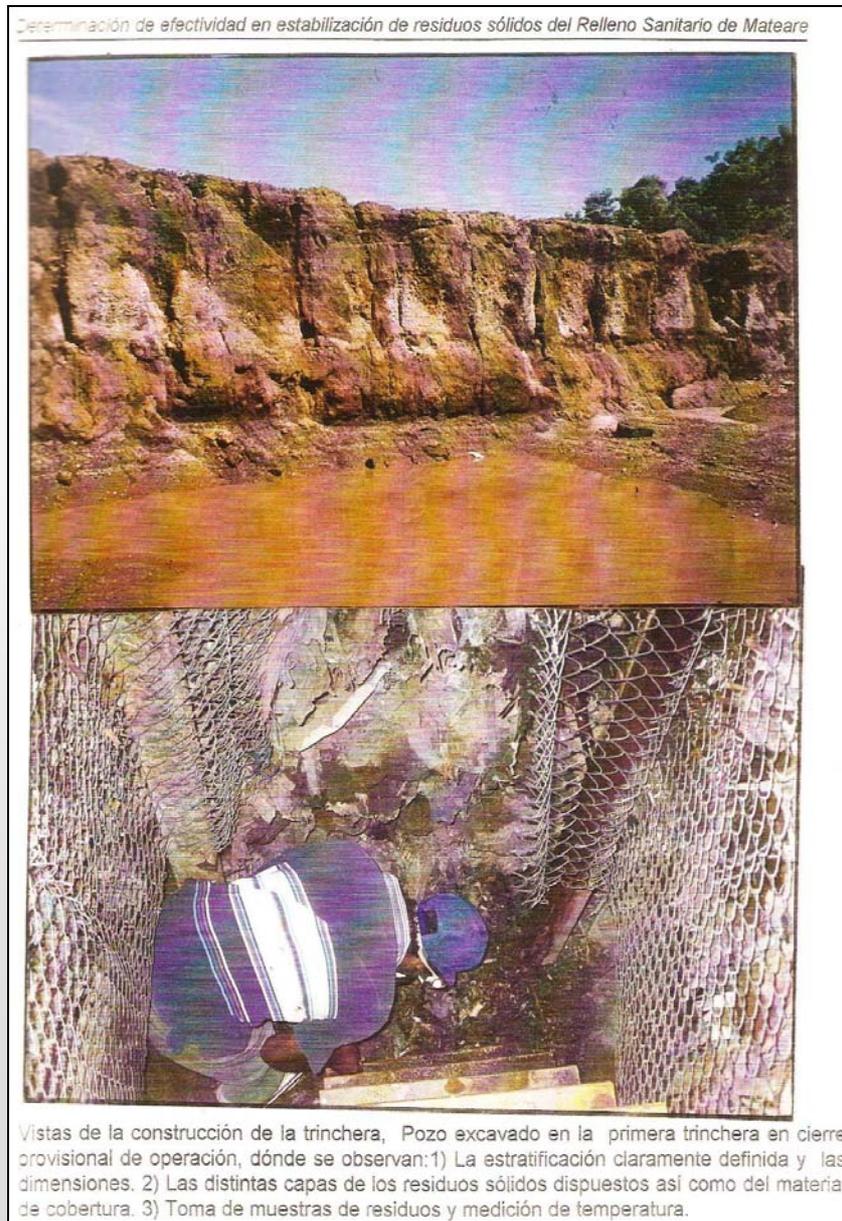
**ANEXO IV.**



**Foto 1: Pozo de monitoreo, Jacotin et Jaen, 1998**

*Estudio de efectividad en la estabilización de Residuos Sólidos, del relleno sanitario manual de Mateare, Nicaragua.*

---



**Foto 2: Pozo de monitoreo, Jacotin et Jaen, 1998**



*Estudio de efectividad en la estabilización de Residuos Sólidos, del relleno sanitario manual de Mateare, Nicaragua.*

Determinación de efectividad en estabilización de residuos sólidos del Relleno Sanitario de Mateare

Fotografías correspondientes al método de medición indirecto, liximétrico donde se observan:

- 1) el Liximetro (simulador) con su base estructural.
- 2) dispositivos de captación y muestreo de Lixiviados.



Foto 3: Liximetro, Jacotin et Jaen, 1998 1