

FUNDACION UNIVERSIDAD DE BOGOTA
JORGE TADEO LOZANO
ESCUELA DE POSTGRADO
CURSO ESPECIAL DE CONTAMINACION AEREA

**PRODUCCION DE BIOGAS A PARTIR
DE DESECHOS SOLIDOS**

HAIDEE VIRGINIA ABRIL
OSCAR GUILLERMO MARTINEZ
JUAN CAMILO MIRA
NEYLIA CLEMENCIA SIERRA

Bogotá, Junio de 1986

FUNDACION UNIVERSIDAD DE BOGOTA
JORGE TADEO LOZANO
ESCUELA DE POSTGRADO
CURSO ESPECIAL DE CONTAMINACION AZREA

PRODUCCION DE BIOGAS A PARTIR
DE DESECHOS SOLIDOS

Haideé Virginia Abril
Oscar Guillermo Martínez
Juan Camilo Mira
Neyla Clemencia Sierra

Bogotá, Junio de 1986

Fundación Universidad de Bogotá
Jorge Tadeo Lozano
BIBLIOTECA

INTRODUCCION

A través de los años el problema de las basuras siempre ha sido motivo de grandes estudios sin que hasta el momento se haya llegado a soluciones claras. A medida que la población aumenta el problema crece ya que la producción de basura es directamente proporcional con el número de habitantes de las regiones y la prestación del servicio de Aseo cada vez es más complicado generando problemas de salud, contaminación, efectos antiestéticos y un Irracional uso de los recursos, tanto naturales como económicos.

Es por eso que en este trabajo nuestro principal interés ante la problemática de las basuras es buscar una solución diferente a las tradicionales para eliminar el problema de contaminación producida en un basurero.

Por eso proponemos la utilización de un biodigestor que nos solucionaría el problema de la degradación de la materia orgánica que es el principal contaminante de un basurero.

Todos sabemos que la descomposición de la materia orgánica produce gas metano, entonces para no perder este gas y ponerlo a producir para usos industriales o domésticos, lo vamos a aprovechar utilizando los biodigestores.

Este proyecto se realizó para el municipio de Mosquera, teniendo en cuenta que a 9 kilómetros de la cabecera municipal se encuentra el botadero llamado el Boquerón donde se depositan las basuras de los municipios de Funza, Madrid y Mosquera.

Este basurero contamina principalmente el aire debido a las quemas producidas en él. En este trabajo se evalúa la contaminación producida en el botadero utilizando el modelo de dispersión de contaminantes del aire.

En este modelo la mayor o menor presencia de agentes contaminantes se da en términos de concentración del mismo. En el trabajo se evaluó la concentración de partículas, monóxido de carbono (CO), Oxido de Azufre (SO_x), Oxidos de Nitrógeno (NO_x) e hidrocarburos.

Para la aplicación de este modelo se requiere del conocimiento previo del régimen de vientos y de los parámetros que permitan establecer el tipo de estabilidad, para poder determinar los coeficientes de dispersión.

Finalmente se presentan unas conclusiones y recomendaciones.

1- JUSTIFICACION

1.1- DEFINICION DEL PROBLEMA.

El problema de las basuras en Colombia, ha sido analizado de múltiples formas sin que hasta la fecha se hayan concentrado soluciones viables.

La disposición final de las basuras en Colombia son los botaderos abiertos sin ningún tipo de control, estos traen como resultado un deterioro en el medio ambiente y problemas de salud. Generalmente estas basuras son quemadas al aire libre generando gran cantidad de humos y malos olores; el humo puede disminuir la visibilidad, y las condiciones que causan enfermedades pulmonares se agravan. La combustión lograda por este tipo de quemas no es una combustión completa, produciendo partículas y gases, quedando muchos organismos patógenos al enfriarse, los malos olores se presentan aún sin las quemas por efecto de los gases producidos en la descomposición de la materia orgánica.

Las basuras son consideradas como el foco de reproducción de algunas plagas y enfermedades, los insectos y roedores que resultan del manejo inadecuado de las basuras son vectores de enfermedades en los seres humanos. Estas enfermedades atacan especialmente a aquellas personas que se dedican a la recuperación de materiales sin ninguna pre-

caución, como es el uso de guantes y caretas.

Actualmente en Colombia también se realizan rellenos sanitarios que carecen de técnica y a los cuales se les invierte millones de pesos sin obtener ningún beneficio, ni solucionar el problema de contaminación ambiental.

INGESAM (Ingenieros de saneamiento ambiental) y la URS (University Research Service), elaboraron una propuesta de relleno sanitario para las basuras procedentes de los municipios de Funza, Madrid y Mosquera. Dicho proyecto estará ubicado a 5 Kms por la vía que de Bogotá conduce a la Mesa. Para efectos de éste proyecto se realizaron estudios de suelos, geológicos, climáticos, hidrológicos y de impacto ambiental.

Todo esto se puede evitar tomando soluciones adecuadas contra las basuras como son; el reciclaje utilizando la materia orgánica obtenida mediante este proceso para producir bio-gas a partir de digestores.

Un buen reciclaje a partir de desechos sólidos generaría beneficios económicos, empleo, fuentes de ingreso, ahorro de energía, descontaminación ambiental, salubridad, aprovechamiento de sub-productos; cosa que no se hace en Colombia en donde

anualmente las basuras no aprovechadas equivalen a unos 4.000 millones de pesos perdidos, es el caso del relleno de Gibraltar donde el estado paga medio millón de pesos por enterrar seis millones diariamente.

En la actualidad sólo una parte de desechos es recuperada, como se observa en el cuadro No. 1.1 para Bogotá, sin mencionar el alto contenido de materia orgánica que se pierde y que es una de las principales causantes de contaminación ambiental por la biodegradación o su descomposición.

El contenido de materia orgánica de los desechos oscila entre un 50 y un 65%, porcentaje bastante alto, pudiendo ser en su totalidad recuperable y utilizable mediante una tecnología apropiada racional e integral como es la fermentación anaeróbica para producir bio-gas y abono mediante digestores, el gas producido puede ser utilizado para cocinar, alumbrar, calentar motores; el abono es utilizado directamente en el suelo.

1.2 - OBJETIVOS.

- Plantear un sistema de manejo diferente a los tradicionales para solucionar el problema de la disposición final de los residuos sólidos.

- Determinación teórica de la evaluación de la contaminación del aire, producida en el botadero del Boquerón (Mosquera).
- Proponer un sistema de manejo para la materia orgánica contenida en los residuos sólidos para la obtención de gas metano y abono por medio de un bio-digestor.

El esquema general del proyecto se puede observar en la figura No. 1.1

CUADRO No. 1.1

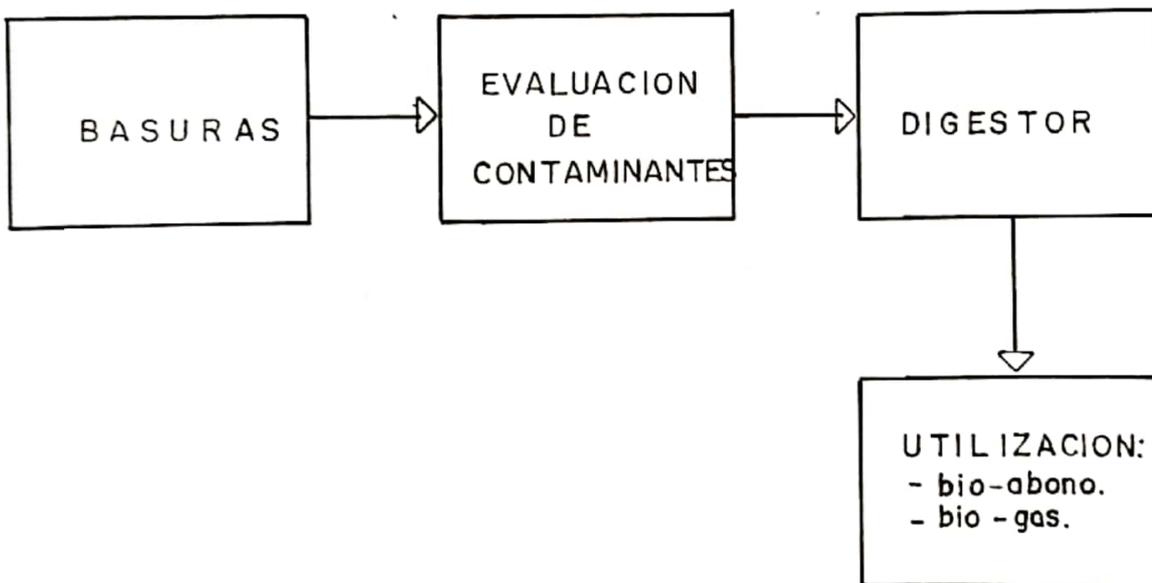
VALOR RECUPERADO EN PESOS
DE LOS DESECHOS SOLIDOS

Composición Física de desechos	Valor recuperado en Millones de Pesos	Valor No recuperado en Millones de pesos
Papel-cartón	602	1.386
Vidrio	140	428
Chatarra	420	760
Hueso	143	416
Trapo	50	500
TOTALES	1.355	3.485

FUENTE: Min-Salud - Empresas de Aseo

FIGURA 1.1.

ESQUEMA GENERAL DEL TRABAJO



2- ANTECEDENTES

2.1- EN EL MUNDO.

Los métodos más usados para el tratamiento de basuras son de carácter químico o bioquímico. Entre los químicos se encuentran: combustión, pirólisis, hidrogenación, oxidación húmeda e hidrólisis. Entre los bioquímicos tenemos: compostaje, digestión anaeróbica y degradación biológica. De todos estos métodos los más desarrollados industrialmente en su aplicación a residuos sólidos son el compostaje y la incineración.

El compostaje se utiliza en países en que por su clima y cultivos es necesario añadir materia orgánica a la tierra. Francia es uno de los que más lo utilizan, también existen plantas de compostaje en Holanda y en España.

Uno de los métodos que más se utiliza en las zonas rurales es el de la digestión anaeróbica por intermedio de digestores para producción de biogas.

El gas metano fue reportado como producto de la descomposición anaeróbica de materia orgánica por Shirley en 1.667; posteriormente Volta (1.778), Popoff (1.875) y sobre todo Pasteur (1.884) y su alumno Gallón, plantearon las propiedades de esta actividad biológica, e hicieron referencia a las posibilidades de combustión de metano. En

1.901, Sohngen explicó las características de las bacterias productoras de metano, y durante el primer cuarto de este siglo se hicieron estudios de la bioquímica de la fermentación anaeróbica, definiendo la acción de los micro-organismos en la reacción.

La primera aplicación de digestión anaeróbica fue para el tratamiento de lodos de desagües municipales.

Hubo una época en la que bastantes faroles de Londres funcionaban con el metano producido en el alcantarillado.

Parece ser que la primera planta, específicamente construida para producir metano a partir del estiércol se construyó en 1900 en Bombay.

En varios países se han llevado a cabo estudios experimentales a partir de 1930; entre ellos se encuentran la India, Francia, Alemania, Inglaterra y los Estados Unidos. En 1939 el Instituto Indio de Investigación Agrícola de Nueva Delhi hizo algunos experimentos y se montaron pequeñas plantas prototipo en los pueblos de los alrededores. Durante la segunda guerra mundial, en toda Europa y especialmente en Alemania, surgió el interés por el gas metano, como combustible sustitutivo de la gasolina que en esa época era escasa. Un tipo de unidad pequeña fabricada en Alemania estaba destinada a

proporcionar gas para usos domésticos, como por ejemplo para la cocina. En el período de la post-guerra, cierto número de granjeros europeos, emplearon el gas metano y en Francia, en 1952, había unas 1.000 instalaciones en funcionamiento.

A partir de la década del 60, con el regreso a fuentes de combustión baratas, la mayoría de estas plantas fueron abandonadas.

A diferencia de los países desarrollados, la obtención de gas metano, a partir de residuos del campo es cada vez más creciente en los países en desarrollo; siendo India, China y Corea los que han logrado mayor desarrollo.

En Africa del Sur, en 1.957 se instalaron varios digestores para estiércol y residuos de cosechas, sin embargo el trabajo más conocido es el de John Fry; quien en 1959 montó una planta de biogas para 2 toneladas de estiércol día, generando 225 metros cúbicos de gas al día.

En general, en esta década la tendencia para el metano es cada vez mayor. Desde 1973, a raíz de las subidas del petróleo crudo, la utilización del biogas a tomado más fuerza, sobre todo en países en vía de desarrollo.

Actualmente existe en Estados Unidos un interés en obtener gas metano a escala industrial, mediante la digestión de desagües, desechos animales, desechos agrícolas y plantaciones de biomasa, con el fin de obtener fuentes alternativas complementarias a las convencionales.

En Latinoamérica la aplicación de esta tecnología es reciente, habiéndose desarrollado más en Centro América, sobre todo en México y Guatemala.

En México, el Instituto de Investigaciones Eléctricas está desarrollando un programa de investigación sobre biogas con digestores de laboratorio y digestores prototipo de tamaño familiar de 10 metros cúbicos y comunal de 40 metros cúbicos, con estiércol de ganado y residuos agrícolas.

En Guatemala, la experiencia de generación del biogas data de 1952, con el desarrollo de las plantas biológicas del Ingeniero Mario Penagos para tratar diversos residuos agro-industriales, el Centro de Estudios mesoamericanos de tecnología apropiada (CEMAT) viene difundiendo documentos sobre tecnología de biogas.

En el Ecuador por intermedio de Estados Unidos se diseñó y construyó una planta de biogas con calentamiento solar.

Existen organizaciones internacionales que estan promoviendo el uso de fuentes alternativas de energía en América Latina, como el programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) que promueven la aplicación de la tecnología de obtención de biogas en el medio rural Latinoamericano.

2.2- EN COLOMBIA.

En Colombia existen prototipos para generar metano, a partir de excrementos humanos y animales, desarrollado en las gaviotas.

La empresa ARMAR-BIOTEC ha construido un buen número de plantas de biogas en diferentes sitios y climas, utilizando como materia prima, residuos vegetales, excrementos de animales, gallinaza. Actualmente esta empresa está construyendo cinco plantas adicionales en las ciudades de Cúcuta, Madrid y Cachipay en Cundinamarca; Candelaria y Cartago en el Valle del Cauca.

El INDERENA, esta interesado en difundir y fomentar la tecnología del biogas y para ello ha organizado conferencias para ilustrar a su personal sobre las ventajas y posibilidades del sistema de biogas.

Uno de los métodos más utilizados en Colombia para la disposición final de basuras son los botaderos abiertos sin ningún tipo de control y en otros casos se hacen rellenos sanitarios sin ninguna técnica. Actualmente INGESAM es la empresa que se ha preocupado por los botaderos abiertos; proponiendo Rellenos Sanitarios como disposición final de las basuras.

3- GENERALIDADES DE LA REGION

El proyecto está dirigido al municipio de Mosquera, ubicado en el Departamento de Cundinamarca.

Su cabecera está localizada a los 4° 42' de la Latitud Norte y 74° 14' de Longitud al Oeste de Greenwich. Tiene una altura sobre el nivel del mar de 2.546 metros, una temperatura media de 14° Centígrados y dista de Bogotá 23 Kilómetros.

El municipio de Mosquera limita por el Norte, con Madrid y Funza, por el Oriente con Bogotá, por el Sur con Soacha y por el Occidente con Bojacá.

3.1- AREA MUNICIPAL.

Mosquera cuenta con un área total de 116,95 Kilómetros cuadrados, distribuidos de la siguiente manera:

Area Urbana: 3,32 Km², que corresponde a los sectores del Centro, Rubí y Diamante.

Area Rural: 113,63 Kilómetros Cuadrados.

3.2- POBLACION.

Según el Censo de Población de 1985 la población total de Mosquera es de 13.070 habitantes, corres

pondiente al área urbana una población de 8.947 habitantes, y para el área rural 4.123 habitantes.

3.3- TOPOGRAFIA E HIDROGRAFIA.

La mayor parte del territorio es plano y corresponde a la Sabana de Bogotá. Hacia el Occidente se encuentran algunas manifestaciones montañosas, entre las que se destacan los Cerros de la Herrera, La Catedras, Los Andes, Mondoñedo y Piedra de Fierro.

Todas sus tierras pertenecen al piso térmico frío y estan regadas por los ríos Balsillas y Bogotá. En su jurisdicción se encuentra la Laguna del Herrera.

3.4- SERVICIOS PUBLICOS.

3.4.1- ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO.

El Municipio de Mosquera tiene una cobertura del 90% en acueducto y un 85% en alcantarillado. La captación de sus aguas proviene de pozos profundos de Madrid, en épocas de escasez el 10% se obtiene del Río Bogotá.

El servicio de Acueducto es irregular en época de verano. La red para Alcantarillado es insuficiente; por lo cual se producen inundaciones en época de invierno.

3.4.2- ENERGIA.

Este servicio es bueno en Mosquera; cubriendo en un 86% las necesidades de la región, los racionamientos son los mismos que se producen en Bogotá.

3.4.3- TELEFONOS.

El municipio cuenta en la actualidad con 305 líneas en servicio y 681 solicitudes pendientes, la planta tiene una capacidad para 500 líneas, de esta forma satisface en un 31% los requerimientos de la población.

3.4.4- VIAS.

El 40% de las vías están pavimentadas y de esto tan solo el 10% se encuentra en buen estado.

3.5- DISPOSICION DE LAS BASURAS EN EL MUNICIPIO DE MOSQUERA.

(VER MAPA).

La operación de recolección de las basuras en Mosquera se realiza sin zonificación, ni planeación, no hay rutas establecidas. Su recolección se realiza desde los ándenes de las casas, donde los camiones encargados pasan 4 días a la semana incluyendo el sábado.

El municipio no cuenta con una empresa dedicada a la recolección. El control y administración de este servicio lo realizan los personeros municipales. Para la recolección de la basura disponen de 2 volquetas que hacen el recorrido por los sectores del Centro, Rubí y Diamante.

Las basuras recolectadas en el día son 8.7 toneladas; las cuales son llevadas al botadero de Boquerón, este está situado a 9 kms., sobre la carretera que de Bogotá conduce a la Mesa. Boquerón es un botadero abierto; sin ningún tipo de control, puesto que allí tiran cualquier tipo de basura, además también llega la basura recolectada de los municipios de Madrid y Funza, esto quiere decir que al botadero llega diariamente 22 toneladas de desechos, de los cuales se queman de 2 a 3 toneladas diarias, lo que conlleva a una contaminación del aire, ya que estas quemas se realizan sin ninguna técnica produciendo problemas de hollín, humo y malos olores.

El resto de desechos que son depositados en Boquerón en su mayoría son recuperados por familias de escasos recursos que devengan su sustento de allí, siempre y cuando le paguen un impuesto a Mosquera por trabajar en esta zona.

El material recuperado, es vendido a grandes industrias de Bogotá como Peldar, Cartón Colombia, y en Mosquera a Dalco Ltda., para la fabricación de tela asfáltica.

A Peldar le es vendida la tonelada de vidrio a \$5.000.00, a Cartón Colombia le es vendida la tonelada de papel a \$15.000.00. El kilo de plástico es vendido a \$10.00.

Estas familias muy pronto quedarán sin empleo si se lleva a cabo la propuesta de INGESAM, mientras que el proceso de reciclaje presenta la ventaja de que al hacer el balance final del tratamiento, existe una partida positiva por la venta de valores recuperados, generando cada día más fuentes de trabajo, y empleando la materia orgánica para producir biogas y abono.

3.6- COMPOSICION FISICA Y QUIMICA DEL BOTADERO DE BOQUERON.

- 21 -

La composición física y química de las basuras se disponen en Boquerón se pueden observar en los cuadros 3.1 y 3.2.

CUADRO No. 3.1
 COMPOSICION FISICA DE LOS RESIDUOS SOLIDOS
 DEL BOTADERO DE BOQUERON

ELEMENTO	‰ EN PESO
Materia Orgánica	66.0
Papel y Cartón	15.0
Téxtiles	4.0
Plásticos	6.0
Metales	2.0
Vidrios y Similares	4.0
Hueso	0.5
Tierra, Ceniza, Escoria	0.5
Otros	2.0
TOTAL	100.0

CUADRO 3.2

COMPOSICION QUIMICA DE LOS RESIDUOS
SOLIDOS DEL BOQUERON (MOSQUERA)

ELEMENTO	% EN PESO
Humedad	72.25
Cenizas	26.66
Relación C/N	25.69
Potasio	1.63
Poder calorifico Cal/gr.	3.420

4- EVALUACION TEORICA DE LA CONTAMINACION DEL AIRE PRODUCIDA POR EL BASURERO DE MOSQUERA

4.1- CONDICIONES METEOROLOGICAS DE LA REGION.

Para efectos de determinar las condiciones meteorológicas de la región de estudio y los parámetros meteorológicos, necesarios para definir la clase de estabilidad atmosférica, y además de ello, dirección y velocidad del viento, brillo solar, nubosidad, temperatura, precipitación, evapotranspiración, etc. Se utilizaron datos de las estaciones más cercanas al sitio de estudio, y fueron las estaciones El Muña, Sibaté y San Jorge.

De la estación del Muña ubicada en las coordenadas geográficas $4^{\circ} 35' 59''$ W con una elevación de 2.565 metros sobre el nivel del mar. La información que se utilizó fue la del período 70-80 y los parámetros utilizados fueron dirección y velocidad del viento y brillo solar.

La Estación Granja San Jorge, ubicada en las coordenadas geográficas $4^{\circ} 30'$ Norte y $74^{\circ} 12'$ Este, con una elevación de 2.800 metros sobre el nivel del mar. Esta estación dispone de información de temperatura, velocidad del viento, nubosidad, precipitación y humedad relativa. Los datos utilizados corresponden al período de 1973-1981.

4.2- DIRECCION Y VELOCIDAD DEL VIENTO.

Para el análisis del régimen de vientos, se utilizaron los datos de las estaciones anemométricas del MUÑA y SIBATE, que permiten una aproximación al conocimiento de los vientos de la región de la Herrera, por su localización (extremo Sur del borde Suroccidental del altiplano).

Como se aprecia en la Rosa de los Vientos (figura 4.1), predominan en la región los vientos del Este, provenientes de las circulaciones Regionales originadas en el Valle del Magdalena, que probablemente ya han descargado su humedad en la Vertiente Occidental de la cordillera, siguen en importancia los vientos que vienen del Oriente (vientos Oeste- se toman las direcciones hacia donde sopla el viento), probablemente de las corrientes de los Alisios que vienen de la Planicie y alcanzan a superar la barrera de las montañas que bloquean la sabana de Bogotá.

4.3- TEMPERATURA - HUMEDAD RELATIVA.

Los parámetros de temperatura y humedad relativa se relacionan en los cuadros 4.1. y 4.2. respectivamente.

Los datos de temperatura corresponden a las 7, 13

y 19 horas. Así como el mínimo y el promedio para el período comprendido entre 1973 - 1977, en la Estación Granja San Jorge, en grados centígrados y con el termómetro seco.

La humedad relativa comprende el período 1973-1981, también datos provenientes de la Estación San Jorge, el promedio es de 80,34%, con un mínimo de 73% y un máximo de 87%.

4.4- BRILLO SOLAR Y NUBOSIDAD.

La información sobre brillo solar, es la existente en la Estación El Muña, para el período 1970 - 1977, discriminados mes a mes, se relacionan en el cuadro 4.3.

Se observa un promedio de 1.741 horas al año, equivalente al 43,4% del máximo posible.

Los datos de nubosidad utilizados para el área, corresponden a la Estación San Jorge para el período 1973 - 1977 y se relacionan en el cuadro 4.4.

Se tienen los datos a las 7 horas, 13 horas y 19 horas con un promedio de $5/8$ (Cielos Parcialmente cubiertos).

4.5- PRECIPITACION Y EVAPOTRANSPIRACION.

Para analizar la precipitación de la Región, se utilizaron las estaciones pluviométricas más cercanas que son: La Ramada en Funza con 38 años de información, Tibaitatá en Mosquera con 20 años de información y la Estación de Madrid.

En el cuadro 4.5 se relacionan las precipitaciones promedio mensuales - anuales. Se observa que la mayor precipitación se presenta en Funza, siguiendo Tibaitatá y siendo la menor en Madrid.

A pesar de la falta de datos puntuales de precipitación en la región de estudio, esta diferencia entre estaciones relativamente cercanas, unida con el cambio evidente de la vegetación observada entre el límite de la planicie y los cerros del borde Sur - occidental, permiten plantear que existe un gradiente negativo en la cantidad de precipitación entre los municipios de Madrid y Mosquera y los Cerros de la región de la Herrera.

La distribución anual de las lluvias es de tipo claramente bimodal, como lo son la mayoría de los regímenes pluviométricos andinos.

En cuanto a la evapotranspiración potencial, ver cuadro 4.6., se observa en los promedios anuales de las estaciones de la Ramada y Tibaitatá, que la precipitación en casi todos los meses es menor que la evapotranspiración. Este déficit hídrico que se presenta en las regiones planas, puede ser más acentuado en las laderas de la sabana y zona de estudio.

4.6- CLIMA.

El clima de la región de estudio, es el resultado de las condiciones que brinda su situación geográfica regional y la orografía local.

El déficit de humedad de esta franja se manifiesta inicialmente por la composición y fisionomía de su vegetación, como por los evidentes procesos erosivos que en ella tienen lugar.

Regionalmente la zona donde se encuentra localizado el basurero, los cerros vecinos y el resto de la zona del borde Sur de la Sabana de Bogotá, están localizados al abrigo de las corrientes de aire húmedo provenientes del Valle del Magdalena, contrastando de esta forma su presumible sequedad con la otra vertiente de la cordillera, que presenta un carácter

húmedo y que originalmente se encontraba ocupado por bosques de robles nativos.

4.7- EVALUACION DE LOS DIFERENTES CONTAMINANTES.

Se realizó la evaluación de contaminación producida por el basurero de Mosquera para los siguientes contaminantes:

- Partículas.
- Monóxido de Carbono (CO).
- Hidrocarburos (HC).
- NO_x
- SO₂

Se halló la concentración de los contaminantes a distancias de 50, 100, 200, 300, 400, 500, 750, 1.000, 1.250, 1.500, 1.750 y 2.000 metros del basurero en las ocho direcciones predominantes dada por la información de la Rosa de los Vientos, lo mismo que la velocidad para cada una de las direcciones estudiadas.

Para efectos de averiguar la dispersión se procedió a utilizar el modelo de contaminantes del aire, para quemas abiertas el cual se relaciona a continuación:

$$X = \frac{q F K}{\text{Seno } \theta \cdot u \cdot \sqrt{2\pi} \cdot \sqrt{\sigma_z}} e^{-1/2(H/\sigma_z)^2}$$

X= Concentración determinada dada en microgramos/ metros cúbicos (mg/m³).

q= Cantidad de contaminantes emitida por el basurero (Ver cuadro No. 4.7 dado en microgramos/seg.).

F= Fracción del porcentaje de tiempo que sopla el viento en esa dirección.

K= Factor de planta. Porcentaje de tiempo que dura la planta (Quema) prendida durante el año. (Dada en Fracción).

u= Velocidad del viento en metros/segundo (M/seg.).

σ_z = Coeficiente de dispersión atmosférica. Dado de acuerdo con las condiciones de estabilidad.

H= Altura del penacho de humo. Dado en metros.

Sen θ = Angulo que forma la dirección del viento con respecto al frente de quema tomado como referencia.

Para efectos de encontrar la cantidad "q" de contaminación emitida por el basurero para cada uno de los contaminantes, se asume una forma rectangular de la zona o área quemada en el basurero con sus respectivas dimensiones. Como apreciamos en la figura No. 4.2 y de acuerdo con los datos en el cuadro No. 4.7.

Según datos suministrados y apreciaciones, se tiene que la cantidad quemada por día es cerca de 2,5 toneladas, cerca del 10% de la cantidad total de desechos sólidos depositados por día.

4.8- CALCULOS PARA EMISION (q) DE PARTICULAS.

2,5 Toneladas/día x 8 Kg = 20 Kg/día de Partículas.

$$\frac{20 \text{ Kg} \times 1.000 \text{ gr} \times 10^6 \text{ ug}}{86.400 \text{ seg.} \times 35 \text{ mt.}} = 6.613 \text{ ug/seg. mt.}$$

F= Fracción del porcentaje de tiempo que sopla el viento en esa dirección y es tomado de la Rosa de los Vientos para cada dirección.

K= Se asume un factor de planta de igual a 0.95, por considerar que la mayor parte del año se producen quemas, estas son continuas a través del año.

H= Se asume una altura del penacho de 8 metros.

Teniendo la información de velocidad del viento, radiación solar y nubosidad, la condición de estabilidad dada corresponde a D y el coeficiente de dispersión atmosférica recomendado por Briggs a condiciones de campo abierto para condiciones D, esta dado por la fórmula $\sigma^2 \approx 0.06 \times (1 + 0,00015x)^{-1/2}$ y esta relacionado en el cuadro 4.8.

4.9- NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE.

El artículo 32 del decreto 02 de 1982, indica que para determinar la norma sobre calidad del aire que deban aplicarse a las condiciones locales, se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$\text{NORMA LOCAL} = \text{N.C.C.R.} \times \frac{\text{Pb local}}{760} \times \frac{298^{\circ}\text{K}}{273 + \text{T}^{\circ}\text{C}}$$

N.C.C.R. = Norma de Calidad del Aire en Condiciones de referencia.

Pb. Local = Presión barométrica local en mm de Hg.

T^oC = Temperatura promedio ambiente local en grados centígrados.

PARA PARTICULAS EN SUSPENSION.

El artículo 31 del Decreto 02 de 1982 indica que para partículas en suspensión el promedio geométrico de los resultados de todas las muestras diarias recolectadas en forma continua durante 24 horas en un intervalo de 12 meses, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico (100 ug/m^3). Norma de Calidad del Aire para partículas.

- Promedio Anual.

$$\text{NORMA LOCAL} = \text{N.C.C.R.} \times \frac{\text{Pb local}}{760} \times \frac{298^\circ\text{K}}{273 + \text{T}^\circ\text{C}}$$

$$\text{N.C.C.R.} = 100 \text{ ug/m}^3 \times 0.77 = 77 \text{ ug/m}^3$$

$$\text{Pb local} = 560 \text{ mm Hg.}$$

$$\text{T}^\circ\text{C} = 12^\circ\text{C.}$$

La norma sería setenta y siete microgramos por metro cúbico (77 ug/m^3).

PARA MONOXIDO DE CARBONO

El Artículo 31 del Decreto 02 de 1981, indica que la máxima concentración de una muestra recolecta-

da en forma continua durante 8 horas es de quince miligramos x metro cúbico (15 mg/m^3).

PROMEDIO.

$$\begin{aligned} \text{Norma LOCAL} &= \text{N.C.C.R.} \times 0.77 \\ &= 15 \text{ mg/m}^3 \times 0.77 \end{aligned}$$

La norma sería Once punto cincuenta y cinco miligramos por metro cúbico. (11.55 mg/m^3).

PARA OXIDO DE NITROGENO (Medidos como dióxido de Nitrogeno NO_2).

El artículo 31 del Decreto 02 de 1981 indica que puede ser 100 ug/m^3 como producto aritmético de los resultados de las muestras diarias recolectadas en forma continua durante 24 horas en un intervalo de 12 meses.

PROMEDIO ANUAL.

$$\begin{aligned} \text{NORMA LOCAL} &= \text{N.C.C.R.} \times 0.77 \\ &= 100 \text{ ug/m}^3 \times 0.77 = 77 \text{ ug/m}^3 \end{aligned}$$

La norma sería Setenta y siete microgramos por metro cúbico.

PARA DIOXIDO DE AZUFRE.

La norma es igual que para partículas y óxidos de Nitrógeno, es decir, 77 mg/m^3 , Promedio Anual.

4.10- CONCENTRACION PROMEDIO ANUAL.

La concentración, promedio anual de partículas CO, HC, NO_x y SO₂, provenientes de las emisiones producidas por la quema abierta de basura se calcularon para cada una de las ocho direcciones del viento, a distancias entre 50 y 2.000 metros en intervalos de 100 metros hasta 105 500 y de allí en adelante cada 1,50 metros.

Para la concentración se utilizó el modelo de dispersión ya mencionado anteriormente en este capítulo, lo mismo que el factor de planta que se asumió fue 0.95, observando que a pesar que las quemas se realizan continuamente durante todo el año, es muy probable que algunos pocos días del año no se realicen.

Los porcentajes de frecuencia del viento en cada dirección son los correspondientes a la Rosa de los Vientos.

La concentración promedio anual para los contaminantes evaluados se relacionan en los cuadros Nos. 4.9 a 4.13, y en las figuras 4-3 a 4-10 los perfiles de concentración de cada dirección para partículas, por ser este el que presenta mayor índice de contaminación en quemas abiertas.

Se observa que la máxima concentración de los contaminantes evaluados se presenta alrededor de los 200 metros.

Comparando las concentraciones evaluadas con la Norma ya corregida dada por el Decreto 02 de 1982 para partículas, SO_2 y NO_x para el Promedio anual, se tiene: que la máxima concentración es la de partículas y se presenta en la dirección Este, sobrepasando la norma unas 6 veces, siguiéndole los óxidos de Nitrógeno (NO_x) para una misma dirección Este, sobrepasando la norma 2,5 veces.

En cuanto al Dióxido de Azufre (SO_2) no alcanzó a sobrepasar la norma para ninguna dirección ni a ninguna distancia.

En la dirección W también, el valor presentado para partículas es mayor que la norma casi 3

veces.

El Dióxido de Nitrógeno (NO_2) ya se presenta dentro de la norma.

En todas las demás direcciones las concentraciones encontradas para partículas, NO_2 y SO_2 se presentan por debajo de la norma.

Las concentraciones que sobrepasan la norma en las direcciones E y W se deben principalmente a que estas direcciones son las que con mayor frecuencia prevalece el viento (33% y 16% respectivamente) y que se observa claramente en la Rosa de los Vientos.

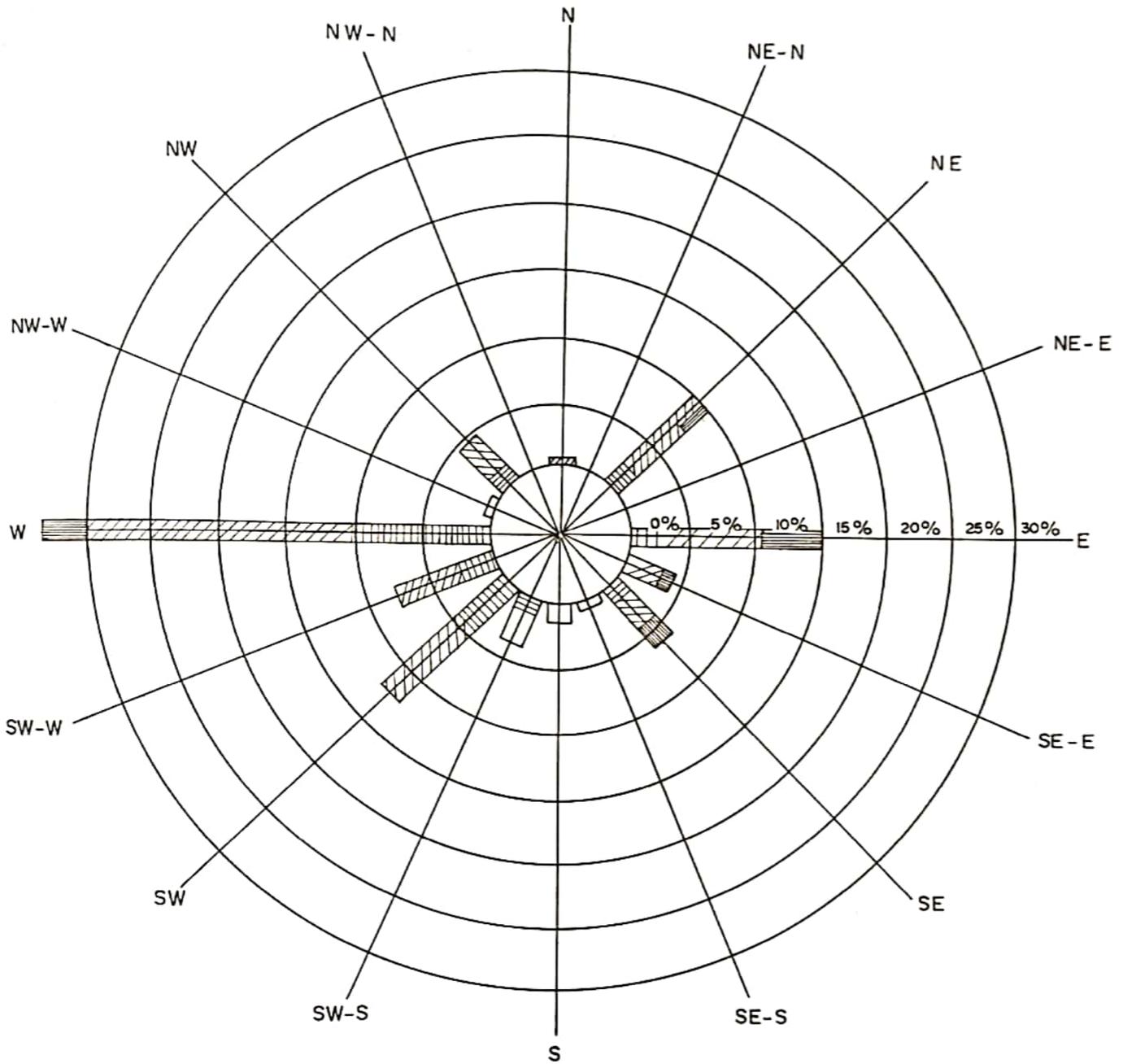
Sin embargo también hay que tener en cuenta que para las direcciones W y E, el frente de referencia cambió de 35 metros a 5 metros y por ende la cantidad "q" de contaminante aumentó, aumentando lógicamente la concentración.

Esto se realiza para efectos de cálculos para el modelo de dispersión aplicado, puesto que la evaluación de contaminantes en un basurero es un poco complicada, debido a que la quema

no se realiza uniformemente siempre ni en la misma área, por ello es que la cantidad emitida de contaminante esta dada por metro de quema.

Se debe también tener en cuenta que se realizó evaluación de Hidrocarburos (HC) y Monóxido de Carbono, pero que no se compararon directamente con la norma de calidad del aire por no existir propiamente normas para HC en el Decreto 02 de 1982 para el promedio anual y para CO existe un promedio para 8 horas.

Sin embargo teniendo en cuenta las acotaciones anteriores se presume que los resultados obtenidos para HC y CO en las direcciones prevalecientes del viento (E.W.) son bastante altos y estan presentando sin duda alguna contaminación.



CONVENCIONES
 Velocidades (m/seg)

0-19	2-4.9	5-5.9	= 7
------	-------	-------	-----

ROSA DE VIENTOS
 FIGURA 4.1

CUADRO No. 4.1

TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL- ESTACION
GRANJA SAN JORGE
PERIODO 1970 - 1977

TERMOMETRO SECO

AÑO	7h	13h	19h	Min.	PROMEDIO
73	10,3	13,99	10,97	9	11,75
74	9,88	13,06	11,76	8,6	11,57
75	9,24	12,67	10,57	8,9	10,81
76	9,68	13,13	10,42	8,2	10,93
77	9,99	13,87	10,96	7,8	11,61
PROMEDIO	9,82	13,34	10,92	8,50	11,33

FUENTE: HIMAT.

CUADRO No. 4.2
 HUMEDAD RELATIVA
 ESTACION GRANJA SAN JORGE
 PERIODO 1977 - 1981
 PORCENTAJE

AÑO	HUMEDAD RELATIVA
1973	78.55
1974	80.09
1975	81.30
1976	81.25
1977	80.00
1978	80.20
1979	-
1980	80.67
1981	81.38
PROMEDIO	80.34
MAXIMO	87.00
MINIMO	73.00

FUENTE: HIMAT

CUADRO No. 4.3

BRILLO SOLAR - ESTACION MUÑA

PERIODO 1970 - 1977

HORAS TOTAL

AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1971	138,6	133,8	111,0	133	106	136,4	171,1	147,2	132,1	130,4	137,3	150,0	1626,9
1972	148,8	180,6	83,6	147,1	147,8	147,7	171,2	157,8	157,8	176,2	141,2	174,6	1848,4
1973	195,7	192,3	129,4	129,7	151,3	108,7	171,1	155,9	116,3	137,6	136,3	176,8	1801,10
1974	147,5	139,7	164,6	124,6	140,0	129,7	184,7	164,3	121,6	132,4	115,0	10,5	1574,6
1975	216,8	108,9	126,3	148,6	136,0	163,2	132,7	143,3	150,4	117,8	127,0	76,1	1647,1
1976	185,4	150,4	116,5	106,1	132,4	137,5	178,2	176,6	165,3	129,3	176,4	174,8	1828,9
1977	227,9	172,8	159,6	120,1	118,8	150,5	193,8	170,9	133,6	70,9	141,8	201,9	1862,3
PROMEDIO	180,1	154,7	127,69	129,89	133,19	139,10	171,83	161,33	139,59	127,80	139,29	137,81	1741,4

FUENTE: HIMAT.

CUADRO No. 4.4
 NUBOSIDAD - ESTACION SAN JORGE
 OCTAVOS
 PERIODO 1973 - 1977

AÑO	7h	13 h	19 h	PROMEDIO
1973	4,37	5,08	4,67	4,71
1974	5,58	6,24	5,73	5,85
1975	5,85	5,89	5,51	5,75
1976	5,79	5,52	5,22	5,51
1977	4,83	5,25	4,83	4,97
PROMEDIO	5,08	5,60	5,19	5,36

FUENTE: HIMAT.

CUADRO No. 4.5

PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL (mm)

ESTACIONES LA RAMADA-TIBAITATA - MADRID

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL ANUAL	PROMEDIO MES
La Ramada - Funza	26	35	52	92	83	60	39	39	49	105	86	52	718	59,8
Tibaitatá-Mosquera	23	34	45	84	73	64	39	37	55	95	84	36	666	55,5
Madrid	17	22	49	58	61	42	25	22	37	64	55	14	466	38,8

FUENTE: Calendario Meteorológico HIMAT - División de Meteorología.

CUADRO No. 4.6

PROMEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACION Y EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

ESTACION	AÑOS EVALUADOS	MEDICION	MES												TOTAL
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
LA RAMADA (FUNZA)	38	Precipita- ción mm.	26	35	52	92	83	60	39	39	49	105	86	52	718
		ETP mm.	89	88	99	85	93	77	88	89	83	83	88	91	1054
TIBAITATA (MOSQUERA)	20	Precipita- ción mm.	23	34	45	84	73	64	39	37	55	95	84	33	666
		ETP mm.	89	87	98	85	92	76	87	88	82	83	87	91	1045

FUENTE: Calendario Meteorológico- HIMAT, División de Meteorología, Información de la Subdirección Técnica-Departamento de Hidrología-CAR.

CUADRO No. 4.7
 CARGAS DE CONTAMINACION DEL AIRE PROVENIENTES
 DE LA DISPOSICION DE DESECHOS SOLIDOS (Kg/TON)

PROCESO DE DISPOSICION	PARTICULA	SO ₂	NO _x	NC	CO
Quema a cielo abierto de Basura Municipal. (Kg por Tonelada quemada)	8	0.5	3	15	42
Cantidad "q" de contaminante en ug/seg. mt. para frente de 35 mts.	6613	413	2480	12400	34722
Cantidad "q" de contaminante en ug/seg. mt. para frente de referencia 5 mts.	46296	2893	17361	86805	243055

NOTA: La Cantidad de Toneladas quemadas en el basurero de Mosquera es de 2,5 Toneladas.

CUADRO No. 4.8
 COEFICIENTE DE DISPERSION ATMOSFERICA
 RECOMENDADOS POR BRIGGS A
 CONDICIONES DE CAMPO ABIERTO

CLASE DE ESTABILIDAD "D"	$0.06 \times (1 + 0.0015 X)^{-1/2}$
PARA x (MTS).	
50	2.89
100	5.59
200	10.52
300	14.94
400	18.97
500	22.67
750	30.86
1.000	37.94
1.250	44.23
1.500	49.92
1.750	55.14
2.000	60.00

CUADRO No. 4.9

CONCENTRACION PROMEDIO ANUAL DE PARTICULAS

EN LAS DIRECCIONES INDICADAS

DISTANCIA	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0,15	2,30	27,78	0,90	0,18	1,61	11,21	0,99
100	1,80	27,46	330,89	10,51	2,18	19,21	133,61	11,85
200	2,74	41,75	502,99	16,41	3,31	29,18	203,10	18,01
300	2,66	40,53	488,32	15,93	3,21	28,34	197,17	17,47
400	2,50	37,98	457,60	14,93	3,01	26,55	184,76	16,39
500	2,35	35,68	430,60	14,02	2,83	24,94	173,59	15,40
750	2,07	31,47	379,18	12,37	2,49	22,00	153,11	13,57
1.000	1,89	28,71	345,89	11,28	2,28	20,06	139,66	12,38
1.250	1,76	26,74	322,24	10,51	2,12	18,69	130,11	11,53
1.500	1,66	25,26	304,39	9,93	2,00	17,66	122,90	10,90
1.750	1,58	24,09	290,29	9,47	1,91	16,84	117,21	10,39
2.000	1,52	23,13	278,74	9,09	1,83	16,17	112,55	9,98

CONCENTRACION PROMEDIO ANUAL DE CO EN LAS DIRECCIONES

INDICADAS

DISTANCIA (Mts)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
50	0,78	12,07	145,84	4,72	0,94	8,45	58,85	51,9
100	9,45	144,18	1737,17	5,51	11,44	100,86	701,45	62,21
200	14,38	219,21	2646,70	86,16	17,37	153,21	1066,27	94,56
300	13,96	212,80	2563,69	83,64	16,85	148,80	1066,25	91,72
400	13,12	199,41	2402,40	78,39	15,80	139,40	969,99	86,05
500	12,33	187,34	2260,65	73,61	14,85	130,94	911,35	80,85
750	10,86	165,23	1990,70	64,94	13,07	115,51	803,83	71,25
1.000	9,92	150,74	1815,92	59,22	11,97	105,32	733,21	65,00
1.250	9,24	140,40	1691,76	55,18	11,13	98,13	683,08	60,53
1.500	8,71	132,62	1598,05	52,13	10,50	92,72	640,50	53,23
1.750	8,29	126,48	1524,02	49,72	10,02	88,41	615,35	54,55
2.000	7,98	121,44	1463,39	47,72	9,60	84,90	590,88	52,40

CUADRO No. 4-11

CONCENTRACION PROMEDIO ANUAL DE HC EN LAS DIRECCIONES INDICADAS

DISTANCIA (Mts)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
50	0,28	4,31	52,08	1,68	0,33	3,01	21,01	1,85
100	3,37	51,49	620,41	19,70	4,08	36,02	250,51	22,21
200	5,13	78,28	943,10	30,77	6,20	54,71	380,81	33,77
300	4,98	75,99	915,6	29,87	6,01	53,14	369,69	32,75
400	4,68	71,21	858	27,99	5,64	49,78	346,42	30,73
500	4,40	66,90	807,37	26,28	5,30	46,76	325,48	28,87
750	3,88	59,00	710,96	23,19	4,66	41,25	287,08	25,44
1.000	3,54	53,83	648,54	21,15	4,27	37,61	261,86	23,21
1.250	3,30	50,14	604,2	19,70	3,97	35,04	243,95	21,61
1.500	3,11	47,36	570,73	18,61	3,75	33,11	230,43	20,43
1.750	2,96	45,17	543,75	17,75	3,58	31,57	219,76	19,48
2.000	2,85	43,37	522,63	17,04	3,43	30,32	211,03	18,71

CUADRO No. 4-12

CONCENTRACION PROMEDIO ANUAL DE NO_x EN LAS DIRECCIONES

INDICADAS

DISTANCIA(Mts)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
50	0,05	0,86	10,41	0,33	0,06	0,60	4,20	0,37
100	0,67	10,29	124,08	3,94	0,81	7,20	50,10	4,44
200	1,02	15,65	188,62	6,15	1,24	10,94	76,16	6,75
300	0,99	15,19	183,12	5,97	1,20	10,62	73,87	6,55
400	0,93	14,24	171,6	5,59	1,12	9,95	69,28	6,14
500	0,88	13,38	161,47	5,25	1,06	9,35	65,09	5,77
750	0,77	11,80	142,19	4,63	0,93	8,25	57,41	5,08
1.000	0,70	10,76	129,70	4,23	0,85	7,52	52,37	4,64
1.250	0,66	10,02	120,84	3,94	0,79	7,00	48,79	4,32
1.500	0,62	9,47	114,14	3,72	0,75	6,62	46,08	4,02
1.750	0,59	9,03	108,85	3,55	0,71	6,31	43,95	3,89
2.000	0,57	8,63	104,52	3,40	0,68	6,06	42,20	3,74

CUADRO No. 4-13

CONCENTRACION PROMEDIO ANUAL DE SO₂ EN LAS DIRECCIONES

INDICADAS

DISTANCIA (MTS)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
50	0,01	0,14	1,73	0,05	0,11	0,10	0,70	0,99
100	0,11	1,71	10,67	0,65	0,13	1,19	8,31	11,85
200	0,17	2,60	31,43	1,02	0,20	1,82	12,69	18,01
300	0,16	2,53	30,51	0,99	0,20	1,76	12,32	17,47
400	0,15	2,37	28,59	0,93	0,18	1,65	11,54	16,39
500	0,14	2,22	26,90	0,87	0,17	1,55	10,84	15,40
750	0,12	1,96	23,69	0,77	0,15	1,37	9,56	13,57
1.000	0,11	1,79	21,61	0,70	0,14	1,25	8,72	12,38
1.250	0,10	1,66	20,13	0,65	0,13	1,16	8,13	11,53
1.500	0,10	1,57	19,02	0,62	0,12	1,10	7,67	10,90
1.750	0,09	1,50	18,13	0,59	0,11	1,05	7,32	10,39
2.000	0,09	1,44	17,41	0,56	0,11	1,00	7,03	9,98

FIGURA No 4.2

FORMA Y DIMENSIONES ASUMIDAS DEL
BASURERO PARA EFECTOS DE CALCULOS.

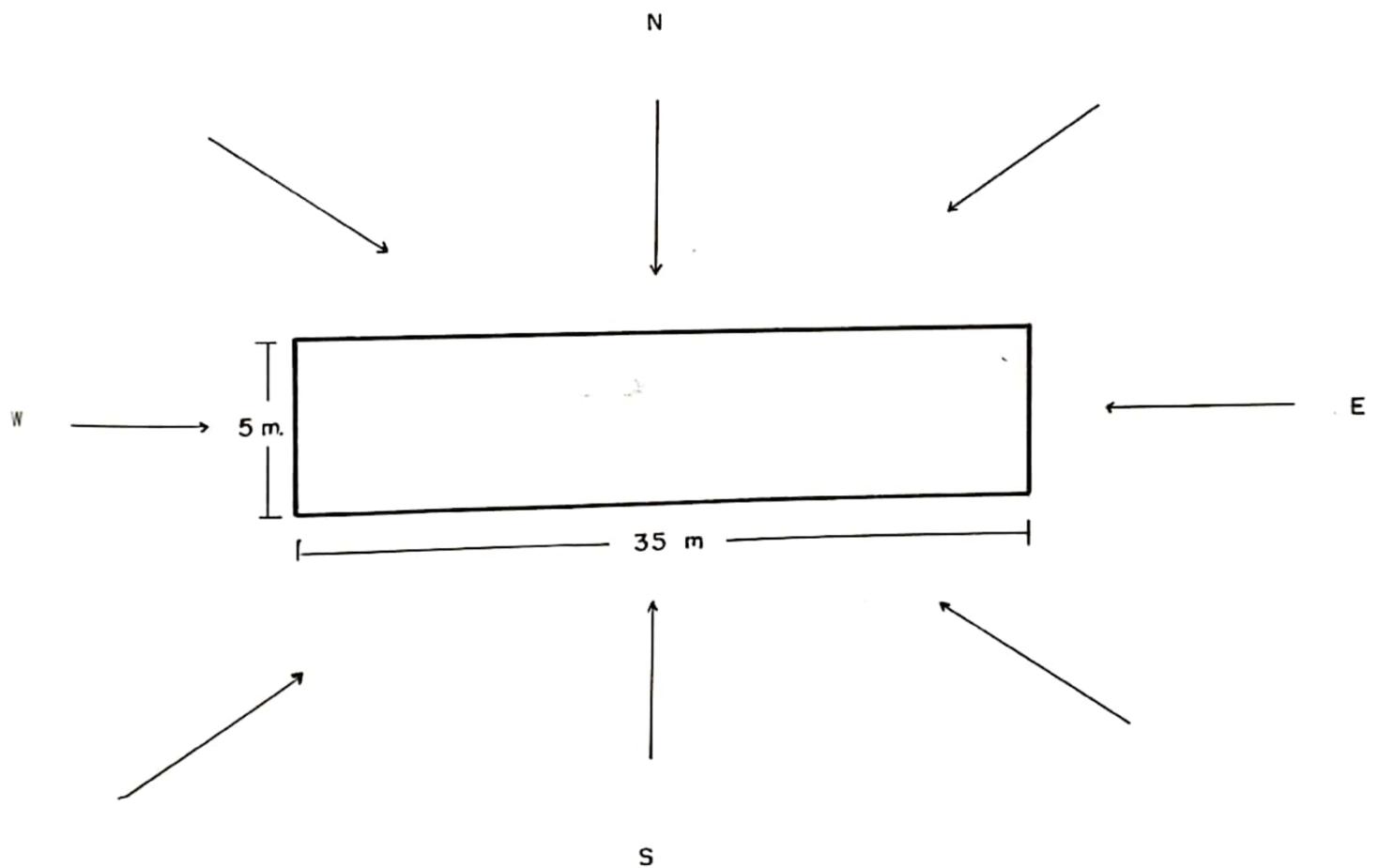


FIGURA No 4.3

CURVA DE CONCENTRACION DE PARTICULAS.

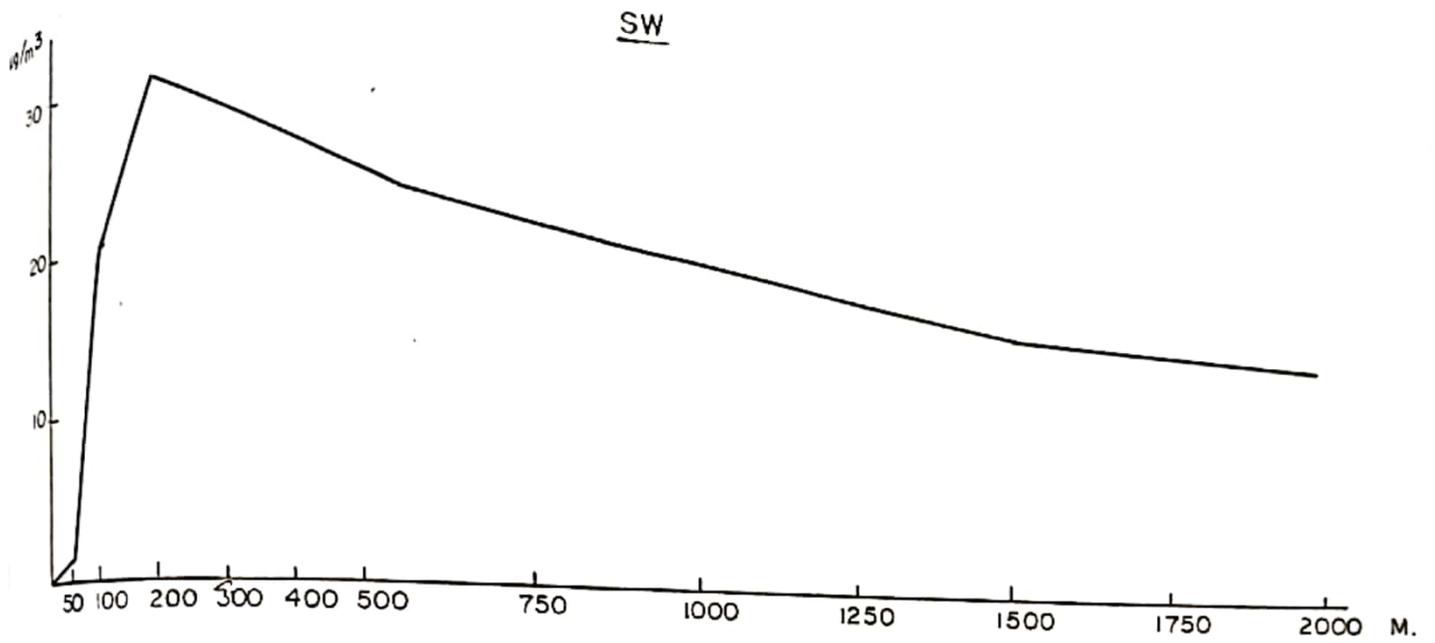


FIGURA No 4.4

SE

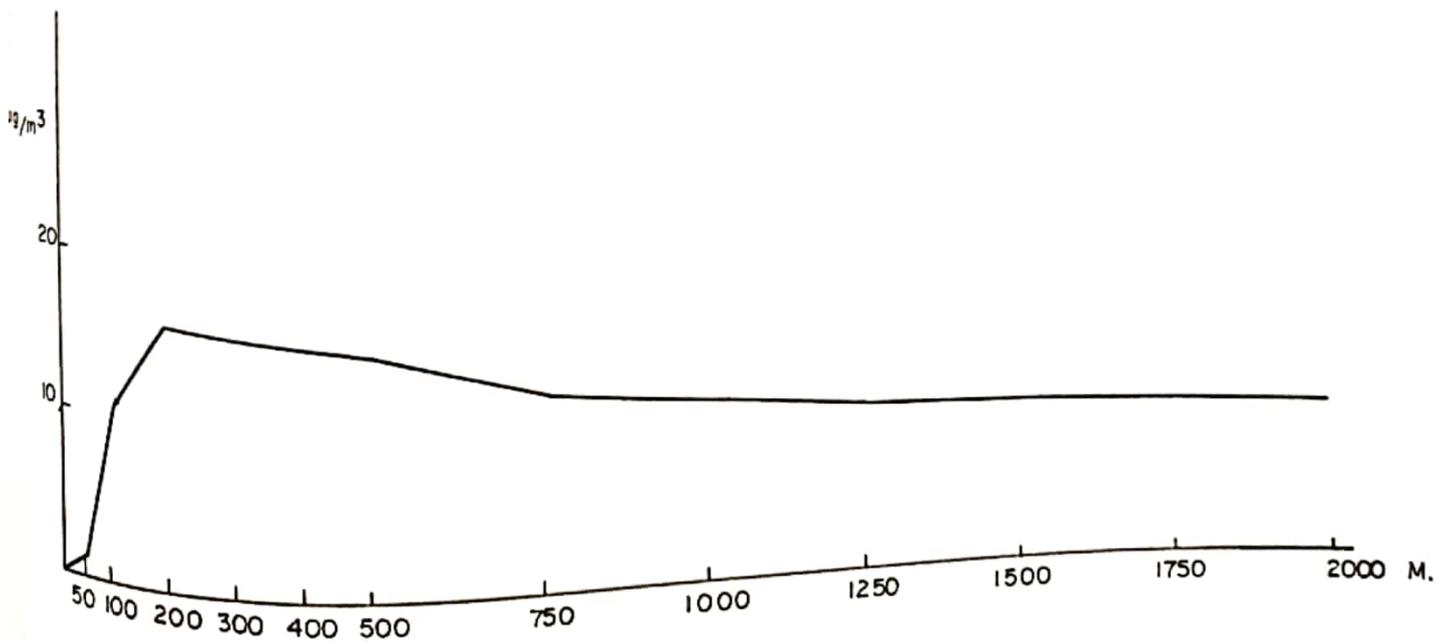


FIGURA No 4.5

CURVA DE CONCENTRACION DE PARTICULAS.

E

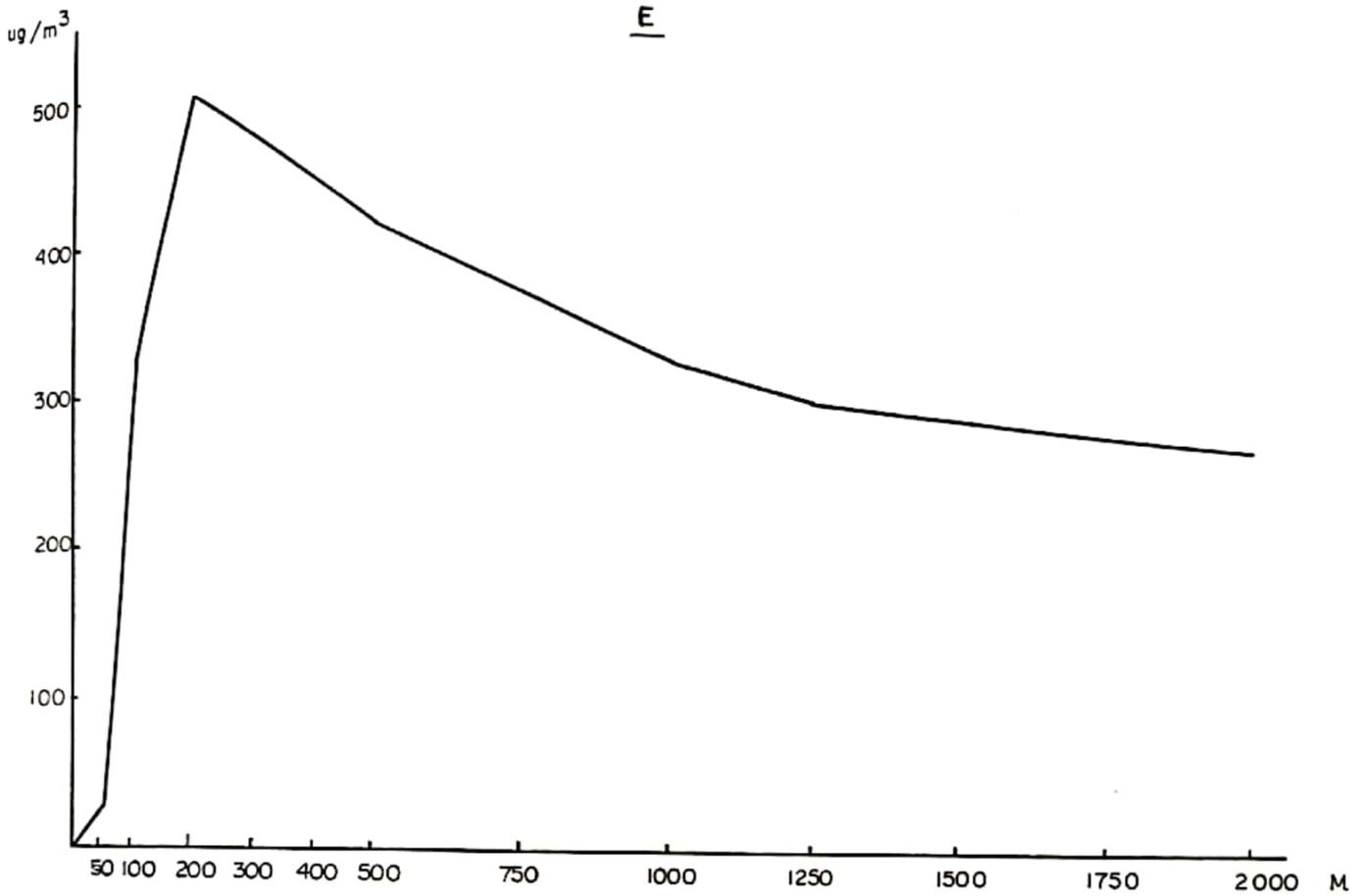


FIGURA No 4.6

W

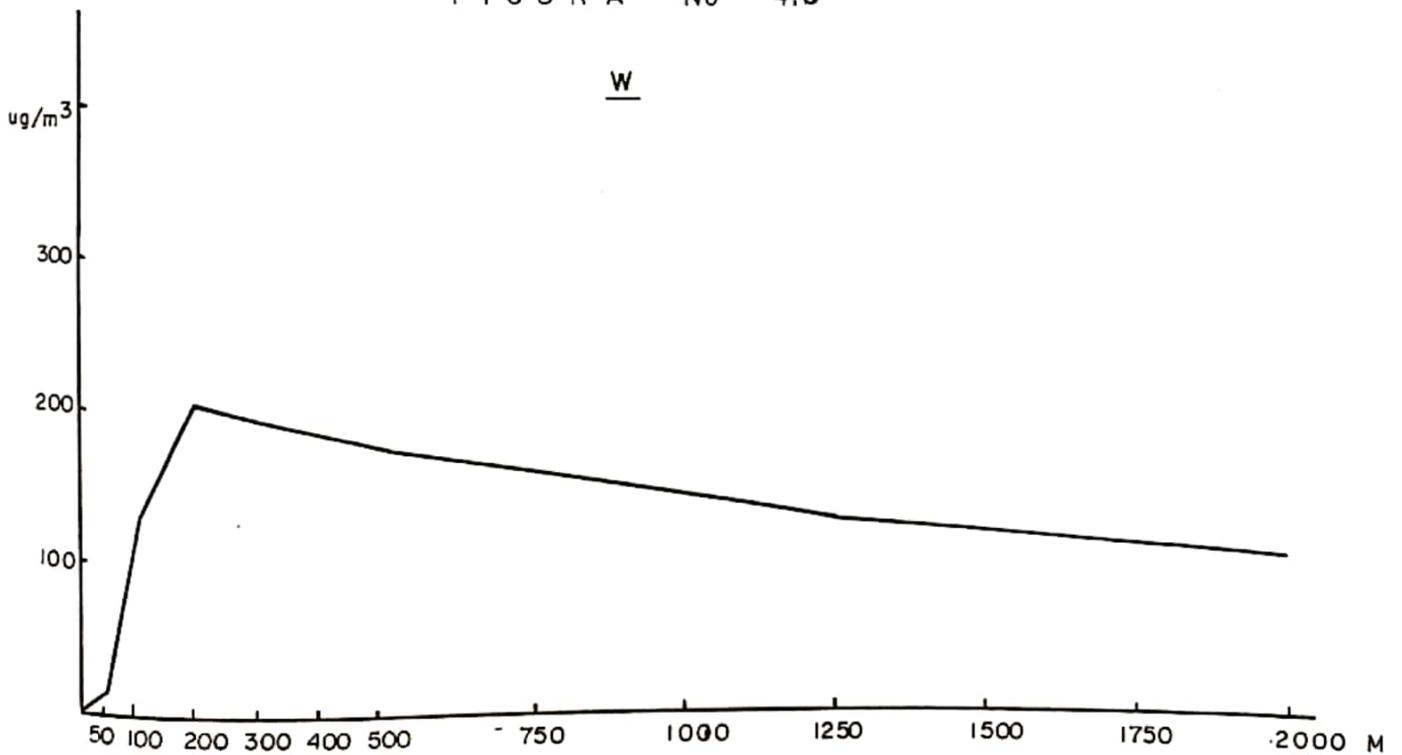


FIGURA No 4.7

CURVA DE CONCENTRACION DE PARTICULAS

NW

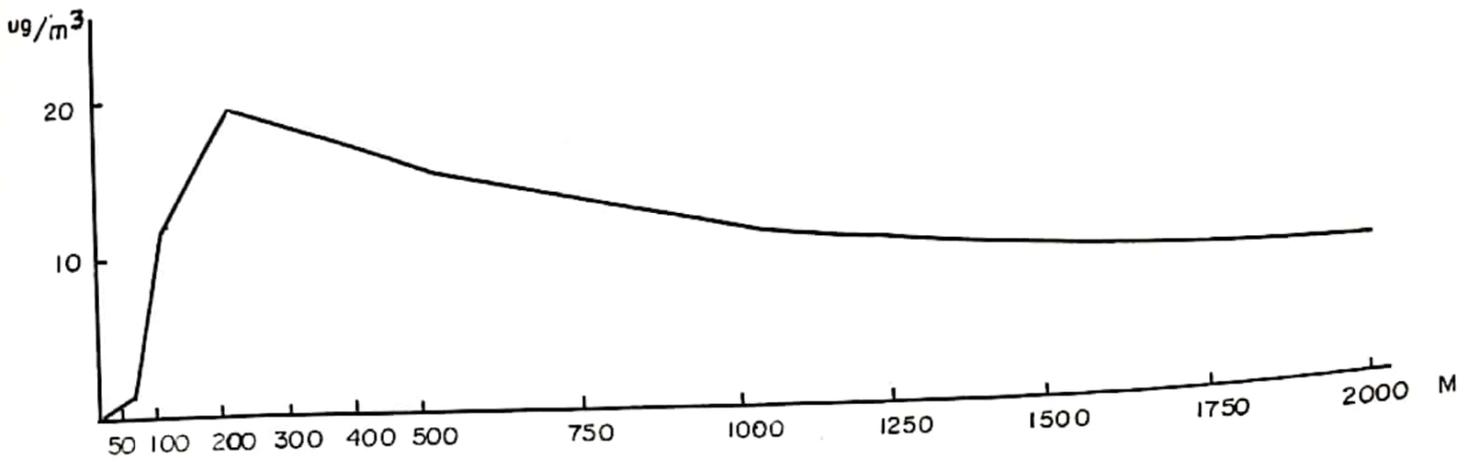


FIGURA No 4.8

NE

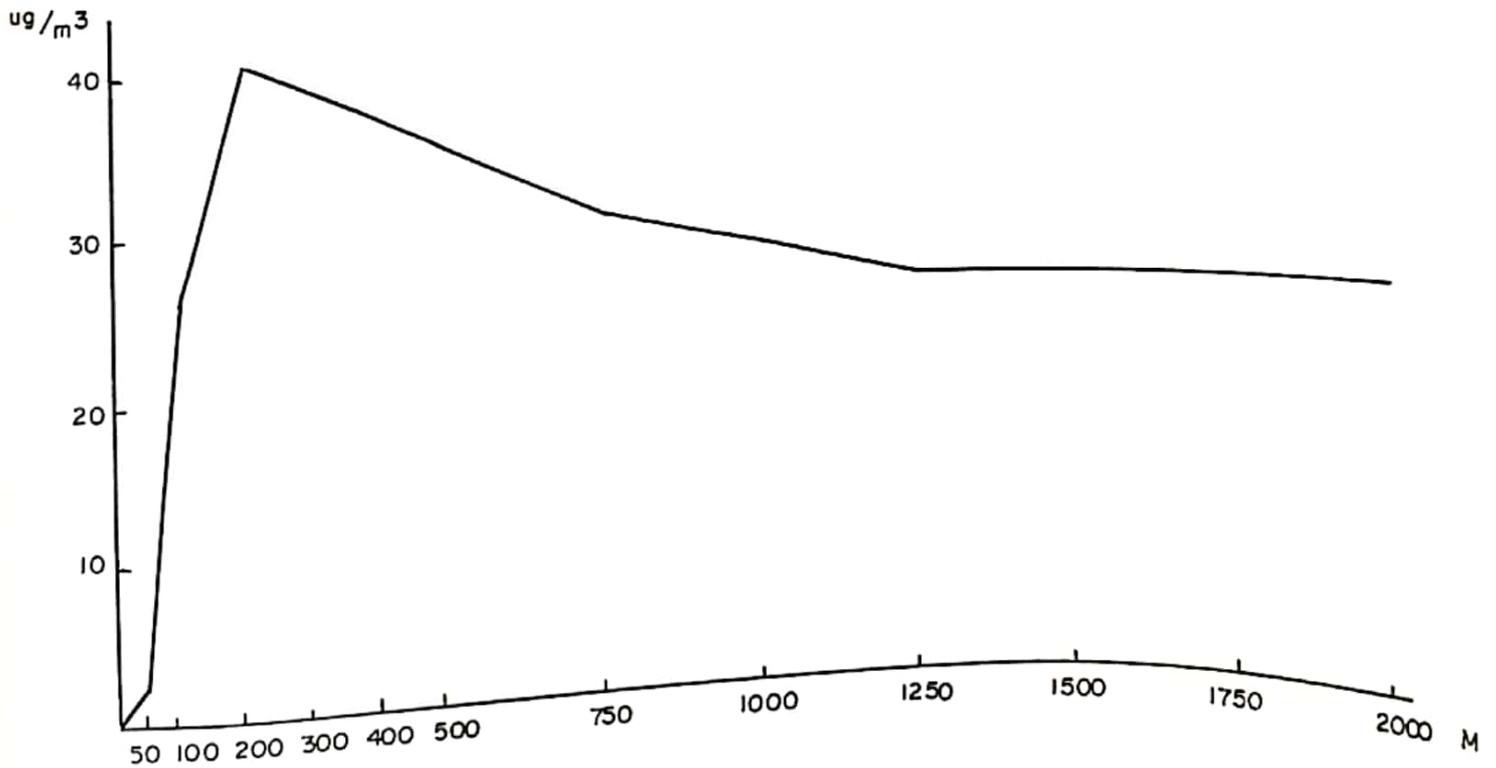


FIGURA No 4.9

CURVA DE CONCENTRACION DE PARTICULAS

N

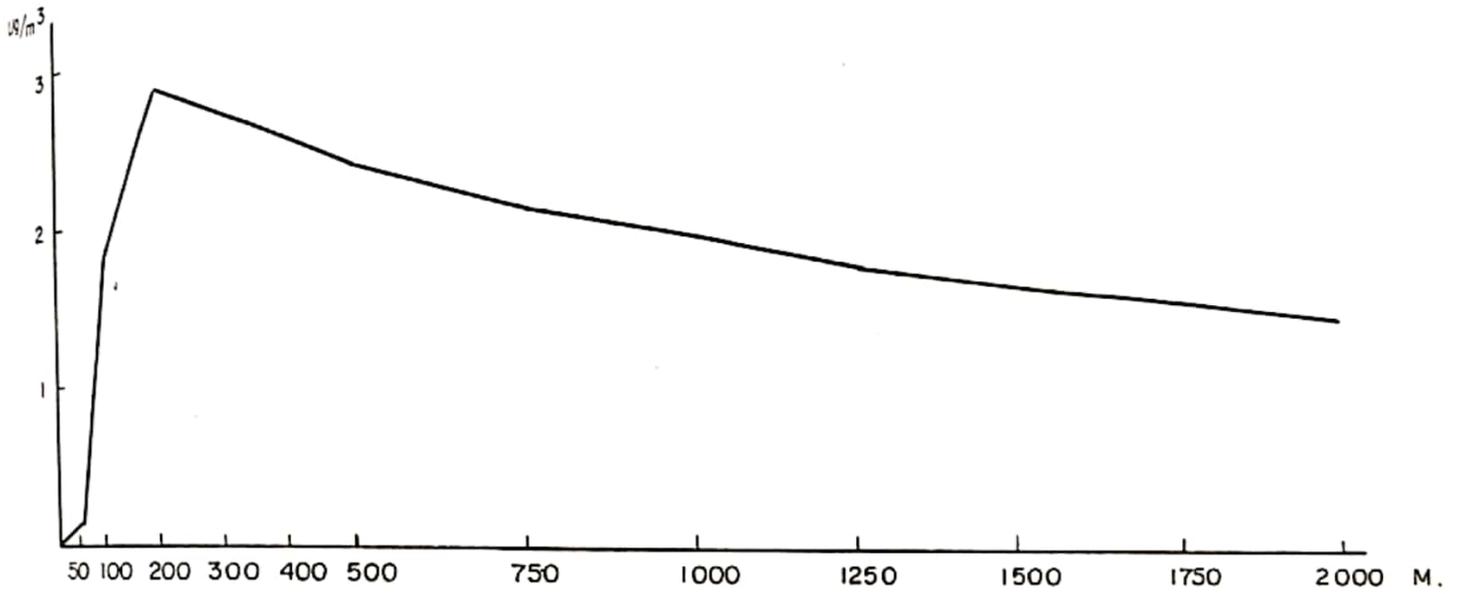
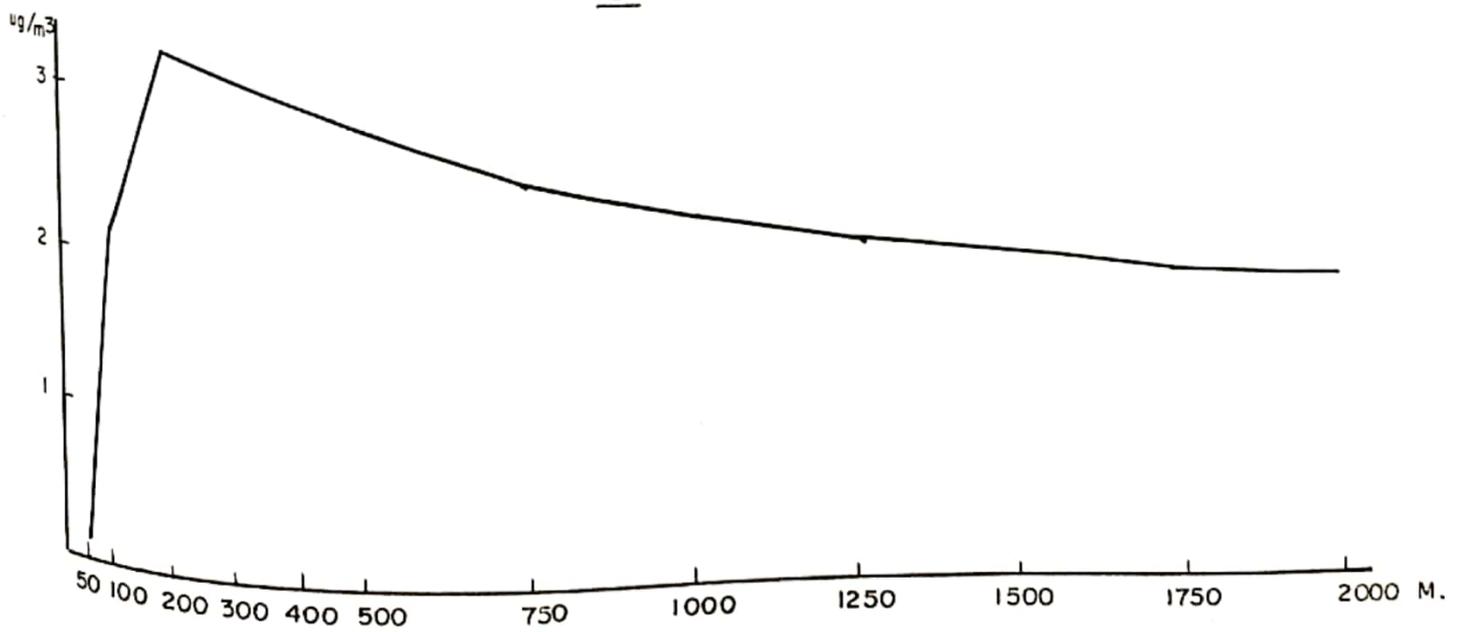


FIGURA No 4.10

S



5- DESCRIPCION TECNICA DEL SISTEMA DE BIOGAS

5.1- PROCESO DE DIGESTION ANAEROBICA.

La materia orgánica contenida en los desechos sólidos, es una mezcla de carbohidratos, grasas y proteínas. Estos compuestos en sus formas complejas no pueden ser asimiladas y usadas, por las bacterias para obtener energía ni para la biosíntesis (Anabolismo). Por lo tanto dichos compuestos deben ser degradados hasta formas simples, que pueden ser absorbidas y usadas por las bacterias.

Para que los carbohidratos puedan pasar a través de la pared celular bacteriana deben estar en forma de Mono o Disacaridos; por tanto los polisacaridos, como la celulosa, deberán sufrir un proceso enzimático de hidrólisis extra-celular.

El siguiente paso en la fermentación de los hidratos de carbono es la llamada ruta de Embolen-Meyerhof donde la glucosa se convierte en ácido pirúvico.

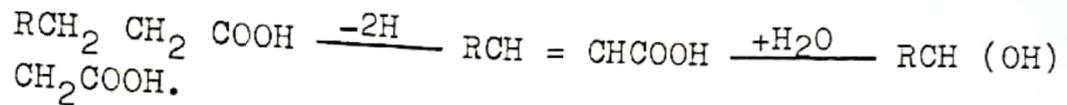
A partir de este ácido, la obtención de energía sigue varias rutas, según sea la bacteria que efectúe el proceso. En el cuadro No. 5.1 se muestran las diferentes clases de fermentación,

Universidad de Bogotá
Jorge Tadeo Lozano
BIBLIOTECA

sus productos principales y los grupos de bacterias que las realizan. En términos generales, la fermentación es una forma de catabolismo por el cual las bacterias obtienen energía y producen ácidos de cadena corta y alcoholes.

Aunque los estudios sobre la descomposición de las grasas no han sido tan exhaustivos como el de los carbohidratos, la importancia de ellas en la digestión de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos, merece atención, porque al parecer son las que sufren una mayor reducción con la consiguiente incidencia en la producción de gas.

La enzima lipasa es la encargada de efectuar la hidrólisis de los lípidos convirtiéndolos en ácidos grasos y glicerol. La parte glicerínica, sufre una fermentación análoga a la de los carbohidratos, con el ácido pirúvico como principal intermediario. Por el contrario, la descomposición de los ácidos orgánicos no está todavía demasiado clara, sin embargo existe la teoría de que el proceso de transformación en ácidos de cadena corta (1,2 ó 3 átomos de carbono) se realiza mediante una oxidación en el carbono.

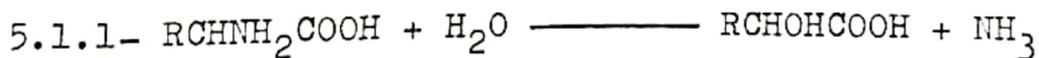


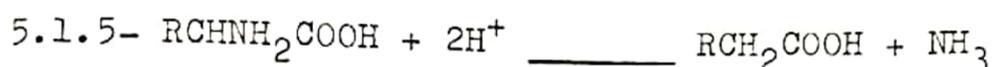
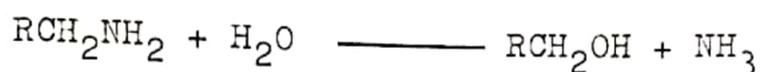
A partir del grupo de hidróxilo, se formaría el ácido acético.



La descomposición de las proteínas es de gran interés debido principalmente a su alto contenido en nitrógeno. La hidrólisis de las proteínas nos da como productos finales aminoácidos simples, los cuales son descompuestos intracelularmente en amoníaco, ácidos, alcoholes y CO_2 según sean las condiciones del medio ambiente o las bacterias que esten presentes.

A continuación se presentan algunas de las reacciones que pueden tener lugar en la descomposición de los aminoácidos.





Como hemos podido ver la degradación de la materia orgánica en un medio anaerobio, converge en la obtención del ácido pirúvico como intermediario en la fermentación, o directamente en otros ácidos de cadena corta o alcoholes, CO_2 y por supuesto energía.

En el cuadro 5.2 se expone una serie de bacterias no metanogénicas obtenidas a partir de un digester. Este grupo son bacterias formadoras de ácidos.

Un pequeño grupo de bacterias anaeróbicas estrictas, las bacterias productoras de metano, utilizan carbonato como aceptor de electrones. La reducción da lugar a la formación de gas metano (CH_4). El ejemplo más simple es la oxidación de hidrógeno molecular, reacción productora de energía que realizan todas estas bacterias de acuerdo con la ecuación $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$.

Sin embargo, estos organismos pueden producir también metano a partir de substratos orgánicos, como el metanol y el ácido acético. De acuerdo con esto, las bacterias productoras de metano, aunque capaces de formar este gas, por reducción del CO_2 , pueden también formarlo a partir de las formas, parcialmente reducidas de carbono que contienen los substratos orgánicos. Tales reacciones pueden considerarse formalmente como fermentaciones mientras que la producción de metano a partir de H_2 y CO_2 puede considerarse como respiración anaeróbica.

Se conocen tres géneros, Methanobacteriana, Methanomonas y Methano-sarcina. El primer género posee células baciliformes, las dos siguientes, esféricas.

En Methanosarcina las células se encuentran dispuestas en paquetes cúbicos regulares, mientras que en Methanoácidos se encuentran aisladas.

Aunque las bacterias productoras de metano se descubrieron en 1905 son aún poco conocidas, debido principalmente a la dificultad, de su cultivo. Todos estos organismos son anaerobios estrictos y precisan para crecer un potencial muy bajo de óxido-reducción. Aún en condiciones óptimas, su desarrollo es muy lento.

El hábitat más general de la mayoría de las bacterias metánicas es el sedimento anaerobio del fondo de los lagos, charcas y pantanos. En la complejísima microflora anaeróbica del rumen de los mamíferos, herbívoros. También se encuentran miembros de este grupo.

En el cuadro 5.3 se muestran bacterias metanogénicas. Los substratos en donde fueron aisladas y los productos de sus procesos.

El proceso de digestión anaerobia puede ser descrito en dos fases:

- 1- Un grupo de bacterias anaerobias estrictas o facultativas convierten el complejo substrato orgánico en ácidos orgánicos volátiles (acético, propiónico butírico y otros).
- 2- Los ácidos son convertidos en CH_4 y CO_2 por las bacterias del metano.

Las bacterias del metano tienen una tasa de crecimiento relativamente baja; son muy sensitivas al pH, la composición del substrato y la temperatura.

Hay dos rangos de temperatura donde las bacterias metanogénicas son muy activas, el termofílico

(45 a 65°C) y el mesofílico (26 a 43°C).

La digestión es un proceso continuo. Mezcla fresca es agregada continuamente e en intervalos de frecuencia; el abono o material digerido, también es extraído pero en intervalos menos frecuentes y el gas formado es removido continuamente.

Existen dos tipos de procesos; a gran velocidad el cual requiere un tiempo de retención de 15 días o menos, donde el lodo es calentado y mezclado constantemente dentro del tanque; y a velocidad media, con un tiempo de retención entre 30 y 60 días, sin que sea necesario algún tratamiento extra.

CUADRO No. 5.1

TIPOS DE FERMENTACIONES BACTERIANAS A PARTIR
DEL ACIDO PIRUVICO
EXTRAIDA DE DOUDOROFF S

CLASE DE FERMENTACION	PRODUCTOS PRINCIPALES	GRUPO(S) DE BACTERIAS que la producen.
Homoláctica	Acido Láctico	Bacterias del ácido láctico de los géneros <i>Streptococcus</i> , <i>Pedococcus</i> , <i>Lactobacillus</i> .
Acida Mixta	Acido Láctico Acido Acético Acido Fórmico o CO ₂ y H ₂ Etanol.	Muchas bacterias eutéricas por Ej: <i>Escherichia</i> , <i>salmonella</i> , <i>Shigella</i> , <i>Proteus</i> , <i>Yersinia</i> .
Butanodiólica	Además de los anteriores 2,3 - Butanodiol.	<i>Aerobacter</i> , <i>Serratia</i> , <i>Aeromonas</i> , bacilos, <i>Polimyxa</i> .
Butírica	Acido Butírico Acido Acético CO ₂ y H ₂	Muchos anaerobios esporulados (<i>Clostridium</i>) algunos anaerobios no esporulados (<i>Butiribacterium</i>).
Butanol-Acetona	Como la anterior pero también: Butanol Etanol Acetona Isopropanol	Ciertos anaerobios esporulados. <i>Clostridium</i> spp.
Propiónica	Acido propiónico Acido Acético Acido Sucínico CO ₂	<i>Propionobacterium</i> <i>Verillonella</i>

CUADRO No. 5.2

ALGUNAS BACTERIAS NO METANOGANICAS OBTENIDAS A
PARTIR DE UN DIGESTOR ANAEROBIO

BACTERIAS	MEDIOS DE CULTIVO				
	CELULOSA	ALMIDON	PROTEINAS PEPTONA	CASEINA	LIPIDOS
Acrobacter aerógenes					
Alcaligenes baakeril					X
A - Faecalis	X				
Bacillus sp.					
B. Cereus vat. mycoides		X		X	
B. Cereus	X	X	X	X	
B. Circulans			X		
B. Firmus			X		
B. Knelfelhampl					
B. Megaterium	X	X		X	X
B. Puntilis			X	X	
B. Spnaéricos			X	X	X
B. Subtilis			X	X	X
Clostridium Canofœtidum	X				
Escherichia Coli			X	X	
E. Intermedia					
Micrococcus Candidus		X			
M. Luteus					X
M. Varians		X	X	X	
M. Ureeae		X			
Paracolibacterium intemedium			X		
P. Coliforme			X		
Proteus Vulgaris	X				
Pseudomonas aeroginosa	X				
P. ambigua					
P. oleovorans					X
P. perolens					X
P. pseudonallei					
P. reptilivora	X				
P. riboflavina	X				X
P. spp.	X	X	X	X	X
Sarcina cooksonii					
Streptomyces bikiniensis					X

EXTRAIDO DE PRICE E. Y CHEREMISINOFF P.

CUADRO No. 5.3
BACTERIAS METANOGENIGAS

BACTERIAS	SUBSTRATOS	PRODUCTOS
Methanobacterium Formicom	CO H ₂ + CO ₂ Formiato	CH ₄
M. mobilis	H ₂ + CO ₂ Formiato	CH ₄
M. Propionicom	Propionato	CO ₂ + Acetato
M. ruminantium	Formiato H ₂ + CO ₂	CH ₄
M. Sohugenii	Acetato Butirato	CH ₄ + CO ₂
M. Suboxydans	Caproato y butirato	Propionato y Acetato *
Methanococcus Mazei	Acetato y Butirato	CH ₄ + CO ₂
M. Vanniclii	H ₂ + CO ₂ Formiato	CH ₄
Methanosarcina	H ₂ + CO ₂ Metanol Acetato	CH ₄ CH ₄ CH ₄ + CO ₂
M. methánico	Acetato Butirato	CH ₄ + CO ₂

* Acetato o propionato convertido a CH₄ en un proceso de dos pasos.

Tomada de Price E. y Cheremisinoff P.

5.2- OBTENCION DE MATERIA PRIMA.

Para la obtención de la materia orgánica tendremos en cuenta dos fases:

- 1- Recolección de desechos no biodegradables con separación desde la fuente.
- 2- Recolección de desechos biodegradables desde la fuente.

Para llevar a cabo estas dos fases se propone adelantar un programa educativo a la comunidad con el fin de concientizarla del valor y las ventajas de los desechos sólidos; su composición, diferenciación y las posibilidades de reciclaje. La educación pretende modificar la conducta de la comunidad, hacia el manejo de las basuras.

Con ese programa se buscará:

- 1- La generación de empleo e ingresos.
- 2- Una solución al problema de la contaminación.
- 3- El mejoramiento social del espacio urbano.
- 4- Que las labores de reciclaje se adelanten en condiciones sanitarias y en forma organizada.

5- Este programa también busca modificar la forma de trabajo de los basuriegos, ya que si se le ofrece asesoría y ayuda para que laboren bajo una organización de tipo cooperativo ó similar se logrará el fin propuesto de protegerles de la explotación y de las condiciones inadecuadas de trabajo, ya que estos pueden hacer el reciclaje también a partir de la separación en la fuente.

Una vez separada la materia orgánica, se procedería a triturarla y homogenizarla mediante una trituradora de alimentos.

Esto con el fin de facilitar el trabajo de las bacterias en el digestor.

Se obtendrán aproximadamente 5,5 toneladas por día de materia prima (Materia Orgánica).

5.3- DIGESTOR PARA PRODUCIR BIOGAS.

El digestor es un tanque contruido en mampostería, provisto de una campana metálica movable tipo Hindú, en donde se produce una fermentación anaeróbica de la materia orgánica biodegradable.

Secciones de que consta un digestor (Figura 5.1), cualquier digestor debe tener por lo menos las siguientes partes:

- Sección de Mezcla y carga.
- Sección de Digestión.
- Sección para depositar el efluente o abono.
- Sistema de Almacenamiento del Biogas.
- Sistema de Seguridad contra Incendio y explosión.
- Sistema de eliminación del ácido sulfídrico.
- Sistema de conducción del biogas al sitio de uso.

5.3.1- DIMENSIONAMIENTO DEL DIGESTOR.

MATERIA ORGANICA 5,64 Toneladas por día.

SOLIDOS TOTALES (ST) 25%

ST = 5,540 Kg . 25%

= 1,385 Kg

VOLUMEN DE CARGA DIARIA (VC)

Es el volumen de carga diaria que entra al biodigestor en metros cúbicos, y debe contener sólidos totales en un 10%.

VC = ST . 10

= 1385 . 10 = 13.850 Litros = 14 m³

TIEMPO DE RETENCION (TR)

Tiempo necesario para que la materia orgánica sea biodegradada hasta metano. Se fija en 50

días.

TR = 50 días

VOLUMEN DEL DIGESTOR (VD)

Es la capacidad en metros cúbicos requerida para el procesamiento de la materia orgánica, basado en el volumen de carga diaria y el tiempo de retención.

$$\begin{aligned} \text{VD} &= \text{VC} \cdot \text{TR} \\ &= 14 \text{ m}^3 \times 50 \text{ días} \\ &= 700 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

5.4- FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA.

El método consiste en llevar la materia prima al tanque de mezcla el cual debe tener una capacidad de 15 m³ donde se le adiciona el agua y se homogeniza; posteriormente esta mezcla es llevada al tanque de carga y de allí al digestor.

El digestor funcionará en un rango mesofílico y en un proceso de velocidad media, en un rango de PH entre 6.2 y 7.8; una alcalinidad entre 2.000 y 3.000 microgramos por litro.

Al interior del digestor los materiales se van estratificando en las siguientes capas, comenzando del fondo: figura 5.1.

- Materiales inorgánicos en el fondo.
- Lodo: sólido con alto contenido fertilizante.
- Sobrenadante: líquido con menor poder fertilizante que el lodo.
- Nata: Mezcla líquida utilizada como fertilizante, como alimento para peces y bajo ciertas condiciones como alimento para ganado.

- Biogas: Mezcla gaseosa, que contiene principalmente metano, dióxido de carbono. La composición del biogas, se puede ver en el cuadro No. 5.4.

El gas debe ser extraído continuamente y filtrado para quitar gases no deseados, como el CO_2 y el H_2S .

El gas puede ser llevado a un compresor para ser empacado en tanques.

El volumen de gas producido puede estar entre los 250 y 350 metros cúbicos por día.

Los fertilizantes producidos en el digestor deben

ser retirados en intervalos regulares. El volumen que se puede obtener es el equivalente al 75% del volumen de carga o sea:

$$10,5 \text{ m}^3 = 831 \text{ Kg/día en base seca.}$$

Este fertilizante podría ser vendido.

El esquema general del proceso se relaciona en la figura 5.2.

5.5- COSTOS.

Según cotizaciones hechas a la empresa ARMAR - BIOTEC especializados en la construcción de bio - digestores, el costo por metro cúbico de digester es \$30.000.00 o sea que el diseño costaría:

$$700 \text{ m}^3 \times \$30.000.00 = \$21.000.000.00$$

Esto incluye:

- Sistema de recepción de la basura bio-degradable.
- Sistema de adecuación y trituración.
- Sistema de calefacción del digester.
- Tanque de carga y mezcla.
- Tanque de abono.
- Compresión del gas a pipas.

- Mano de obra para la infraestructura.
- Totalidad de materiales.

5.6 - BENEFICIOS ANUALES.

350 metros cúbicos por día de metano equivalen a 60 galones de ACPM diarios, o sea que en un año se tendría 21.900 galones de ACPM, lo que equivale a 2.343.300.00 pesos al año en energía.

La producción de abono es de 831 kgs en base seca por día. Al año serían 303.315 kilogramos o sea 303,3 toneladas por año que equivalen a 583.3 toneladas al año de gallinaza, a un precio de 14.000 pesos por tonelada, lo que equivale a una producción anual de \$8.165.769.00

Costos de operación: un obrero a tiempo completo

\$25.000/mes X 12 meses = \$ 300.000/año

Supervisión técnica = \$ 400.000/año

Mantenimiento del montaje = \$ 300.000/año

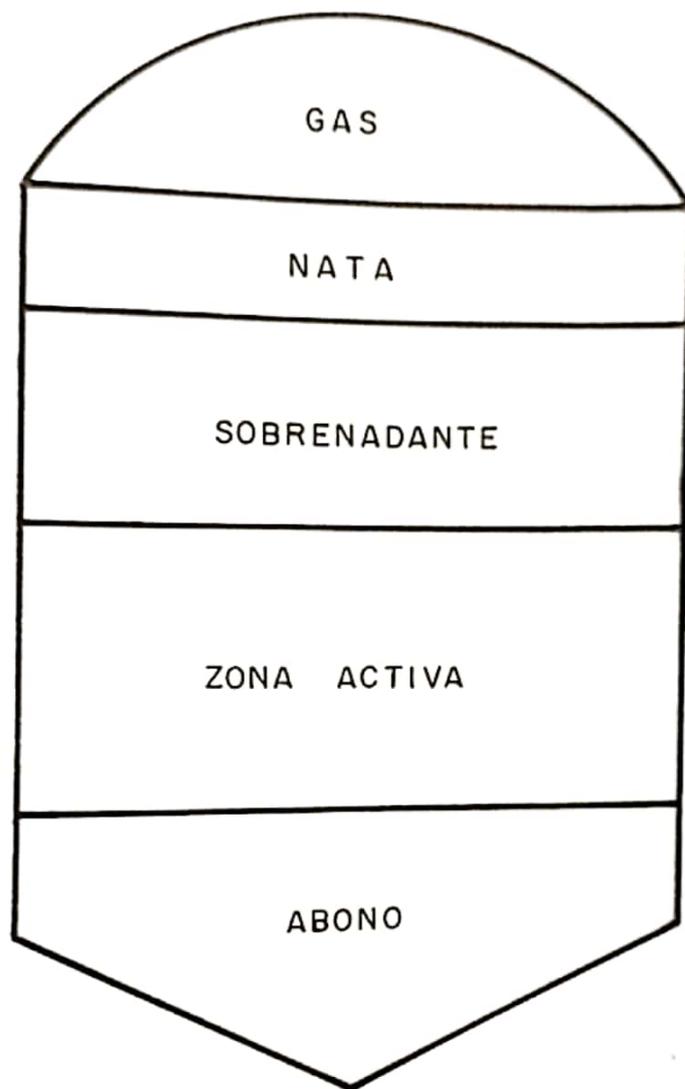
Total costos de operación \$ 1.000.000/año

Recuperación de la inversión tres años

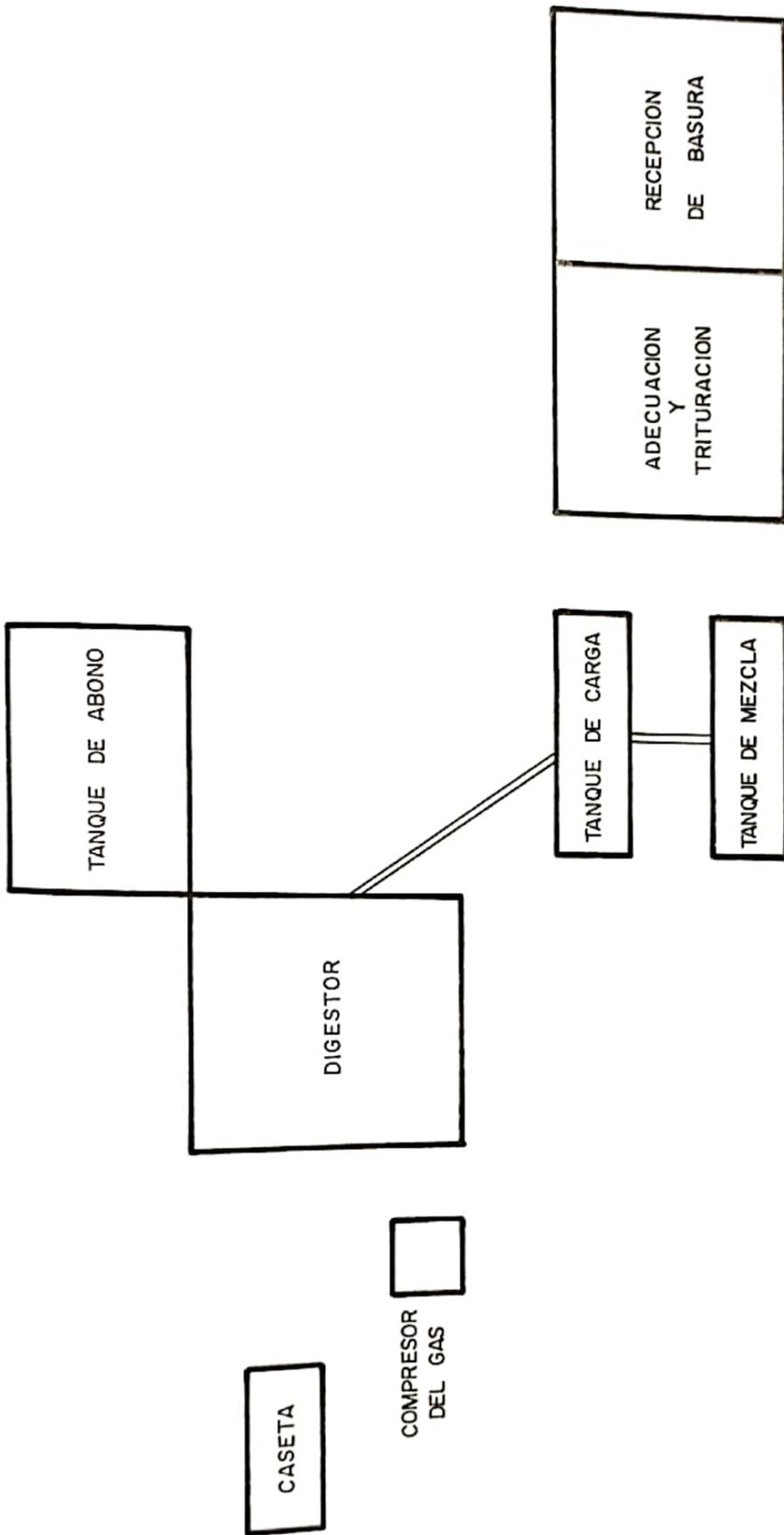
Parametros: Comercialización del abono, y venta del gas en pipas.

BENEFICIOS

GAS	\$ 2.343.300.00
ABONO	\$ 8.165.769.00
TOTAL	<u>\$10.509.069.00</u>
- Gastos de Funcionamiento (Año).	\$ 1.000.000.00
NETO	<u>\$ 9.509.069.00</u>



CAPAS EN EL DIGESTOR
FIGURA 5.1



ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO

FIGURA 5.2

CUADRO No. 5.4

COMPOSICION DEL BIOGAS

COMPONENTES	% EN VOLUMEN
Metano (CH_4)	55-65
Dióxido de Carbono (CO_2)	34-45
Nitrógeno (N_2)	0-3
Hidrógeno (H_2)	0-1
Sulfuro Hidrógeno (SH_2)	0-1

6- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1- CONCLUSIONES.

- La basura es un recurso y como tal hay que utilizarlo y aprovecharlo. Nosotros al proponer el reciclaje para la recuperación de materiales como primera fase en la obtención de la materia orgánica, queremos que la comunidad se concientice de la importancia de esta actividad y de los beneficios económicos que esto le genera a la industria y por consiguiente a la economía del país.
- Actualmente la disposición final de los desechos sólidos del país, esta siendo encaminada a botaderos abiertos y a enterramientos invirtiéndose en ellos millones de pesos sin obtener beneficio alguno.
- En un botadero a cielo abierto como en el caso del de Boquerón la mayor contaminación del aire se produce por monóxido de carbono (CO), partículas e hidrocarburos.
- Los resultados de la evaluación de la contaminación del aire indican que en las direcciones Este y Oeste la concentración de partículas

y óxidos de nitrógeno sobrepasan las normas de calidad del aire, direcciones prevalecientes del viento, en las demás direcciones las concentraciones evaluadas cumplen con las normas establecidas.

- Debido a la localización del basurero la contaminación evaluada no llega a afectar a la zona urbana de Mosquera, ni a vivienda alguna por encontrarse estas alejadas del área de influencia, pero si afectando la escasa flora circundante, ayudando a una mayor degradación física del ambiente y al aspecto estético del paisaje.
- Un biodigestor es un sistema sencillo de tratamiento de la materia orgánica para la obtención de metano y abono, el cual no ocasiona problemas de contaminación y genera grandes beneficios domésticos e industriales.
- Este sistema se puede utilizar para cualquier región del país, ya que los costos son relativamente bajos, comparándolos con otros sistemas que tradicionalmente se ha formulado como son los rellenos sanitarios que requieren de una gran inversión para su funcionamiento y mantenimiento.

- El bio-abono obtenido fue comparado con la gallinaza, por ser este el abono orgánico más común en el mercado en calidad. El bio-abono está libre de agentes patógenos, contiene una alta cantidad de nitrógeno asimilable y puede ser aplicado directamente al cultivo como en los cultivos hidropónicos.
- La cantidad de gas generado en el proyecto no es suficiente para abastecer la población de Mosquera, sólo abastecería alrededor de 80 familias si ellas consumen 4 metros cúbicos diarios.
- Esta propuesta no puede ser tomada como diseño técnico, para tal caso debe hacerse un estudio de Ingeniería y factibilidad detallado.
- Aunque el metano no posee tanto poder calorífico como otros combustibles (gas propano, ACPM, Carbón) es sin embargo bueno, puesto que genera alrededor de 6.000 kcal por metro cúbico y su combustión es completa.

6.2- RECOMENDACIONES.

- Se recomienda desarrollar una serie integra-

da de experiencias tecno-educativas para la recolección, clasificación y procesamiento de los desechos sólidos.

- Se recomienda probar y evaluar con las comunidades, materiales didácticos de diferente nivel para la enseñanza de conductas adaptativas en el manejo de basuras.
- Se recomienda que el sistema de bio-gas a partir de desechos sólidos se utilice para cualquier región del país, ya que los costos son relativamente bajos comparados con otros sistemas que tradicionalmente se han formulado como son los rellenos sanitarios que requieren de una gran inversión para su funcionamiento y mantenimiento.
- Se recomienda hacer una evaluación de mercado para el abono ya que es la fuente de ingresos más importante.
- Se recomienda que las aguas residuales del municipio sean tratadas por este sistema como complemento de la materia orgánica, de los residuos sólidos o sustituto de ella.

- Se recomienda que el biogas sea utilizado para cocinar.

- Se recomienda que la fracción sólida que genera la digestión puede ser usada como alimento en animales, después de un sencillo tratamiento.

- Se recomienda que se realice estudios más detallados de la calidad del aire en los bote-
deros de basura.

BIBLIOGRAFIA

- ALMADA, Alfonso Felix. Experimentación con digestores de desechos orgánicos, Mexico 1978.
- ALMADA, Alfonso Felix. Utilización del Biogas, Mexico 1978.
- AMBIOTEC. Estudio de la calidad del aire en Ladrillera Santa Fe., Bogotá, 1984.
- CACERES, Roberto. Planta continua de Biogas en China, Guatemala, 1977.
- ESCALLON, José Manuel. Métodos de recolección y disposición de basuras, España 1976.
- FERNANDEZ, Rafael. Introducción a las nuevas tecnologías en el tratamiento de los residuos sólidos urbanos: Digestión anaerobia, CIFCA 1977.
- IGAC. Diccionario Geográfico de Colombia, 1980.
- INGESAM. Relleno Sanitario Casablanca, Estudio de Impacto Ambiental, 1986.
- INGESAM. Relleno Sanitario Casablanca, Manual de operación y mantenimiento, 1985.
- LOPEZ, Garrido Jaime. Basura urbana, España 1975.

- LOPEZ, Garrido Jaime. Recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos, España 1977.
- MARTINEZ, Arturo. Procesamiento de basuras a través del sistema de biogas, Bogotá 1985.
- MINISTERIO DE SALUD. Programa Nacional de reciclaje, PRONARE, Bogotá 1983.
- MINISTERIO DE SALUD, Decreto No. 02 de 1982.
- OSPINA, Francisco. Contaminación por basuras, Universidad Pontificia Bolivariana; Medellín 1977.
- PRICE, Elizabeth y CHEREMISINOFF, Paul. Biogas production and utilization. Ann Arbor Science, 1981.
- ROUTH J.I., DARRELL P.E., y BURTON, D.J. Compendio esencial de química general, orgánica y bioquímica Editorial Reverte, 1975.
- STANIER R., DOUDOROFF M. y ADELBERG E. Micro-biología, Editorial Aguilar, 1979.
- VERASTEGUI, Javier. Producción de bio-gas a partir de desechos sólidos, Lima 1979.
- YAÑEZ, Fabian. Digestión Anaeróbica de lodos, Centro Panamericano de ingeniería Sanitaria y Ciencias

del Ambiente, Lima 1977.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	
1- JUSTIFICACION	4
1.1- DEFINICION DEL PROBLEMA	4
1.2- OBJETIVOS	6
2- ANTECEDENTES	
2.1- EN EL MUNDO	10
2.2- EN COLOMBIA	10
3- GENERALIDADES DE LA REGION	16
3.1- AREA MUNICIPAL	16
3.2- POBLACION	16
3.3- TOPOGRAFIA E HIDROGRAFIA	17
3.4- SERVICIOS PUBLICOS	17
3.5- DISPOSICION DE LAS BASURAS	18
3.6- COMPOSICION FISICA Y QUIMICA DEL BOTADERO DEL BOQUERON	20
4- EVALUACION TEORICA DE LA CONTAMINACION DEL AIRE PRODUCIDA POR EL BASURERO DE MOSQUERA	24
4.1- CONDICIONES METEOROLOGICAS DE LA REGION	24

	Pág-
4.2 - DIRECCION Y VELOCIDAD DEL VIENTO	25
4.3 - TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA	25
4.4 - BRILLO SOLAR Y NUBOSIDAD	26
4.5- PRECIPITACION Y EVAPOTRANSPIRACION	27
4.6 - CLIMA	28
4.7 - EVALUACION DE LOS DIFERENES CONTA- MINANTES	29
4.8 - CALCULOS PARA EMISION (q) DE PARTICULAS	31
4.9 - NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE	32
4.10- CONCENTRACION PROMEDIO ANUAL	35
5- DESCRIPCION TECNICA DEL SISTEMA DE BIOGAS	58
5.1- PROCESO DE DIGESTION ANAEROBICA	58
5.2- OBTENCION DE LA MATERIA PRIMA	68
5.3- DIGESTOR PARA PRODUCIR BIOGAS	69
5.4- FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA	71
5.5- COSTOS	73
5.6- BENEFICIOS	74
6- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFIA	

LISTA DE CUADROS

- 1.1 Valor recuperado en pesos de los desechos sólidos
- 3.1 Composición física de los desechos sólidos del botadero del Boquerón
- 3.2 Composición química de los desechos sólidos del botadero del boquerón
- 4.1 Temperatura promedio anual, estación Granja San Jorge
- 4.2 Humedad Relativa, estación Granja San Jorge
- 4.3 Brillo solar, Estación del Muña
- 4.4 Nubosidad, estación Granja San Jorge
- 4.5 Precipitación promedio mensual, estación La Ramada
- 4.6 Evapotranspiración Potencial, estación La Ramada
- 4.7 Cargas de contaminación del aire provenientes de la disposición final de desechos sólidos
- 4.8 Coeficiente de dispersión atmosférico
- 4.9 Concentración promedio anual de partículas
- 4.10 Concentración promedio anual de CO
- 4.11 Concentración anual de HC
- 4.12 Concentración promedio anual de NO_x
- 4.13 Concentración promedio anual de SO_x
- 5.1 Tipos de fermentación bacterianas a partir de ácido pirúvico

- 5.2 Bacterias no Metanogénicas
- 5.3 Bacterias Metanogénicas
- 5.4 Composición del bio-gas

LISTA DE FIGURAS

- 1.1 Esquema general del trabajo
- 4.1 Rosa de los vientos, Estación del Muña
- 4.2 Forma y dimensión asumidas de la zona de quema del basurero
- 4.3 Curva de concentración de partículas, dirección SW
- 4.4 Curva de concentración de partículas, dirección SE
- 4.5 Curva de concentración de partículas, dirección E
- 4.6 Curva de concentración de partículas, dirección W
- 4.7 Curva de concentración de partículas, dirección NW
- 4.8 Curva de concentración de partículas, dirección NE
- 4.9 Curva de concentración de partículas, dirección N
- 4.10 Curva de concentración de partículas, dirección S
- 5.1 Estratos que se forman al interior de un digestor
- 5.2 Esquema general del proceso de bio-gas

