

## CAPÍTULO 3

### ESTUDIO DE CASO

Se ha revisado la problemática ambiental general que se vive actualmente (calentamiento global) y los efectos negativos de la falta de planes de manejo integral de los Residuos Sólidos Urbanos. Se analizó la relación que existe entre la falta, tratamiento y correcta disposición de los residuos, sobre todo por el alto contenido orgánico en los RSU, que caracteriza a México. En realidad es la falta de conciencia en la separación de los residuos orgánicos los que dificulta y encarece los procesos de tratamiento y lo que contribuye con gases de efecto invernadero. Según datos del INE, el 23.6% del metano producido en México proviene de los rellenos sanitarios y el 26% proviene de los residuos agrícolas y su fermentación, que además se sabe tiene un potencial 21 veces mayor que el CO<sub>2</sub> como gas de efecto invernadero, por lo que Veracruz es el punto de partida del estudio, ya que es muy alta su producción de metano que se libera al medio ambiente, al tirar un alto porcentaje de sus desechos a cielo abierto y por tener muy poco control en sus escasos rellenos sanitario. Y por otra parte Veracruz es el segundo lugar en superficie sembrada y cosechada a nivel nacional según el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, por lo que se ve una importante oportunidad de negocio al producir una cantidad de 15.11 m<sup>3</sup>/d de abono orgánico.

#### **3.1 Localización y descripción específica del sitio del proyecto.**

Algunas ciudades costeras cuentan con importante infraestructura industrial, así como vías de acceso de gran capacidad necesarias para la distribución de los productos terminados y el transporte de la materia prima. Debido a que la materia prima para este proceso se constituye de RSU, especialmente la fracción orgánica, otro factor a considerar es la disponibilidad de los mismos, para lo cual se han analizado la generación per cápita y el tipo de residuos que se generan en diversas zonas.

Se ha revisado es el Plan de Desarrollo Municipal de diversas regiones, para entender los tipos de proyectos de inversión y la política de desarrollo específica de cada región, así como el DISA (Diagnóstico Integral de la Situación Actual) derivado del FODA (Fortalezas Oportunidades Debilidades y Amenazas) y establecer las principales necesidades que se presentan en cada caso.

La última consideración, y tal vez la de mayor importancia, es el mercado. Las regiones en donde se aplique esta tecnología deberán encontrarse cercanas o de fácil acceso a zonas agroindustriales puesto que una de las aplicaciones más importantes es la utilización de los lodos como mejoradores de suelo y para que el proyecto pueda tener una viabilidad comercial es necesario que exista un mercado en donde distribuir la producción.

Veracruz es el segundo lugar a nivel nacional en superficie sembrada y cosechada tan sólo después de Jalisco y el cuarto lugar en cuanto a valor de la producción agrícola se refiere. Ésto habla de la importancia que tiene la agricultura en el Estado y lo coloca como un excelente mercado potencial.

El estado ocupa el primer lugar del país como productor de la caña de azúcar, arroz, chayote, naranja, piña, limón persa, vainilla y hule; el segundo lugar en café, tabaco y papaya; y es un importante productor de maíz, frijol, soya, pepino, sandía, mango, toronja y plátano.

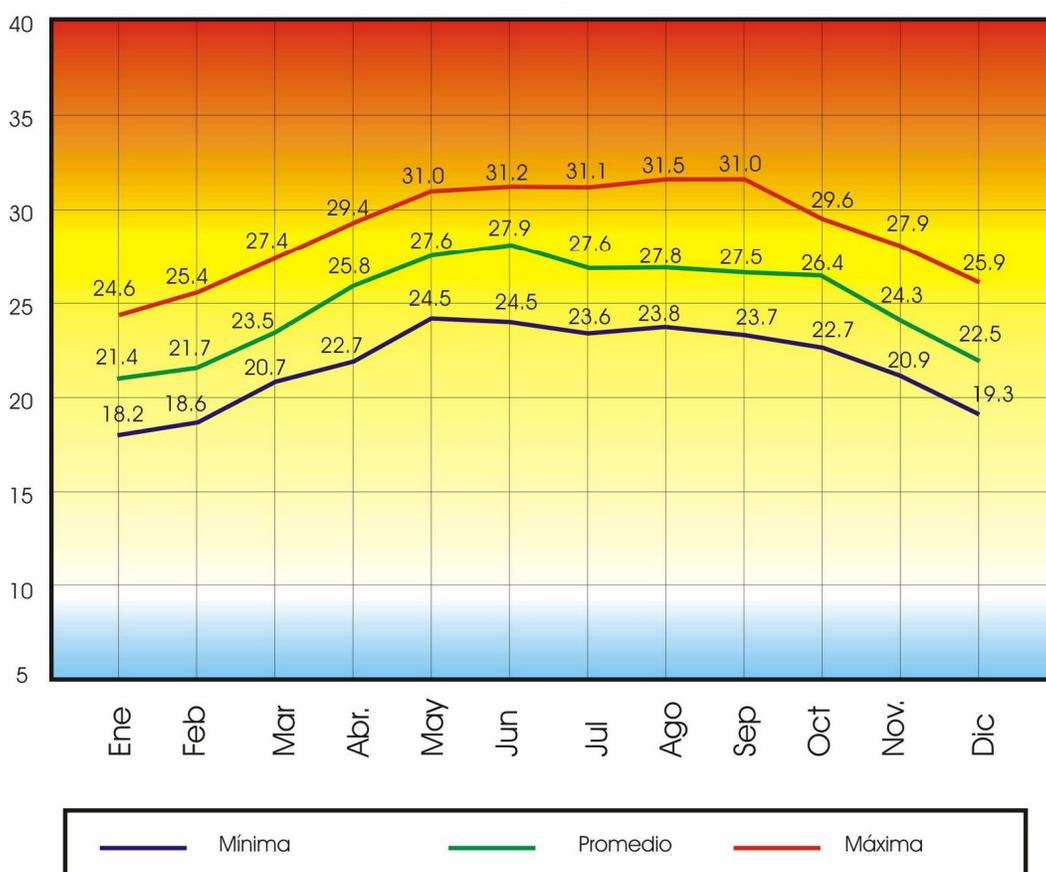
El clima del estado varía de una región a otra, de ahí la gran diversidad de productos; sin embargo, la mayoría del territorio se encuentra en una zona tropical, con climas cálidos y lluvias en verano.

La temperatura media anual del estado es de 25°C. Cuenta con tres de los puertos más importantes del país, en los que existe un alto promedio de carga y gran actividad turística de lo que se espera una importante generación de residuos.

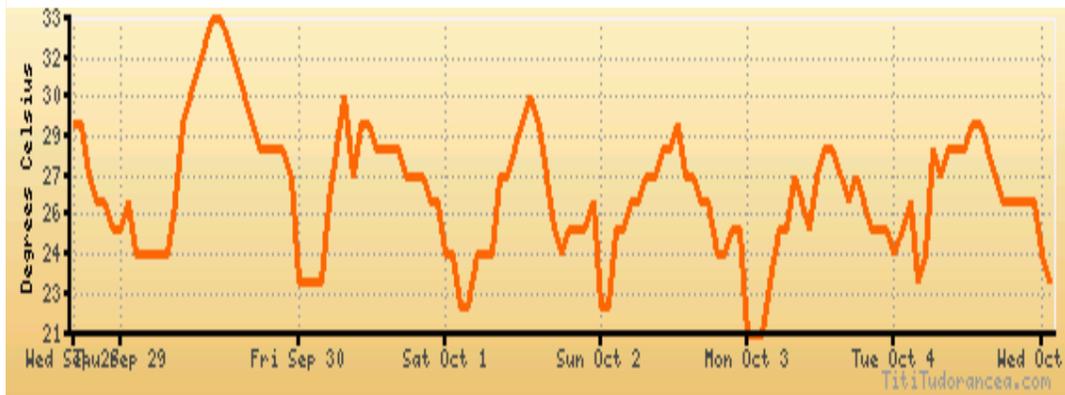
### 3.2 Elección del sitio para propuesta de planta de biogás

El Puerto de Veracruz es un municipio que cumple con todas las características que se han considerado pertinentes para la localización del proyecto como una iniciativa de proyecto de inversión e infraestructura urbana.

El Puerto de Veracruz posee un clima húmedo tropical, con una temperatura media anual de 25.3°C como se puede observar en la Figura 3.1 y la variación de la temperatura de siete días en Veracruz en la Figura 3.2. En cuanto a infraestructura, está conectado a todo el país mediante uno de los más importantes sistemas carreteros asociados con la intensa actividad comercial.



**Figura 3.1 Temperatura mínima, promedio y máxima de Veracruz (Nava, 2010)**



**Figura 3.2 Variación de la temperatura de siete días en Veracruz (Jara, 2011)**

Otro aspecto importante es el tipo y la cantidad de residuos que se generan. En general en el Estado de Veracruz se generan en promedio 0.8 kg/hab/día. Sin embargo el puerto es la ciudad con mayor concentración poblacional (654 216 habitantes en el municipio de Veracruz y Boca del Río), generando 600 ton diarias en días normales, pero en periodos vacacionales hasta 800 ton, lo que significa una producción media de 1 kg/hab/día. La composición es muy similar al promedio nacional y se puede considerar una fracción del 50% de residuos orgánicos.

Dentro de los ejes rectores del desarrollo derivados del diagnóstico municipal en el Plan Municipal de Desarrollo 2008- 2011 del Municipio de Veracruz, se contemplan planes como:

- Plan de cuidado al medio ambiente
  - Creación del Consejo de Colaboración Municipal del Medio Ambiente.
  - Reglamentar y dar certidumbre a las opiniones técnicas sobre manifestaciones de impacto ambiental, que presentan empresas e inversionistas.
  - Difundir campañas para establecer una nueva cultura de manejo de basura en las playas, la zona centro de la ciudad, los patios de casas y lotes baldíos.
  - Mejorar la atención a quejas sobre la emisión de contaminantes y prestar apoyo para la recolección de ramas y basura.
- Plan de foresta municipal
  - Instaurar un programa de limpieza en los accesos de entrada para mejorar la imagen que se brinda a los visitantes.
  - Promover el crecimiento económico y la generación de empleos con proyectos productivos sustentables en el área rural.
- Plan de educación ambiental

Las premisas planteadas en el Plan de Desarrollo del Municipio hablan de la disposición política y social que se pretende seguir en el mediano plazo con respecto al medio ambiente y en especial lo concerniente al manejo de los residuos. Sin embargo, a pesar de

las buenas intenciones y los objetivos estratégicos a mediano y largo plazo, no existe un programa de inversión a corto plazo, lo que habla de una deficiente política de desarrollo. Lo rescatable, es que según la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos, los municipios pueden otorgar concesiones para complementar y desarrollar planes de manejo integral, así como para promover Proyectos para la Prestación de Servicios PPS en donde se busca la inversión privada, la creación de empresas de consultoría y gestionar de una mejor forma el presupuesto. Ésto fortalecerá la infraestructura pública y brindará un mejor servicio a la población.

Para continuar con la localización de la planta de biogás, se han identificado las principales fuentes de generación de residuos sólidos orgánicos de la región con la finalidad de obtener materia prima con alto grado de pureza, para reducir los costos de separación en planta y planear la capacidad del proceso productivo en las diferentes etapas. El procedimiento que se ha utilizado es similar al que se sigue en el cálculo de los centros de masa, para encontrar el punto, en el cual la distancia total que se tiene a las diversas fuentes de materia prima es mínima.

Las fuentes de generación de residuos que se han considerado son los 7 mercados municipales que existen en el puerto. En la Figura 3.3, obtenida de GoogleEarth™, se puede observar la ubicación de los mercados y la central de abastos, que para fines de cálculo, se han ubicado después en un plano cartesiano mostrado en la Figura 3.4.

La generación diaria de residuos orgánicos se muestra en la Tabla 3.1, en la columna “materia prima” y de ahí se obtuvo el Factor R1.

*Generación diaria de residuos orgánicos proveniente de la fuente i = Pi*

$$\mathbf{Factor\ R1}i = \frac{Pi}{\sum_{i=A}^R Pi} \quad (3-1)$$

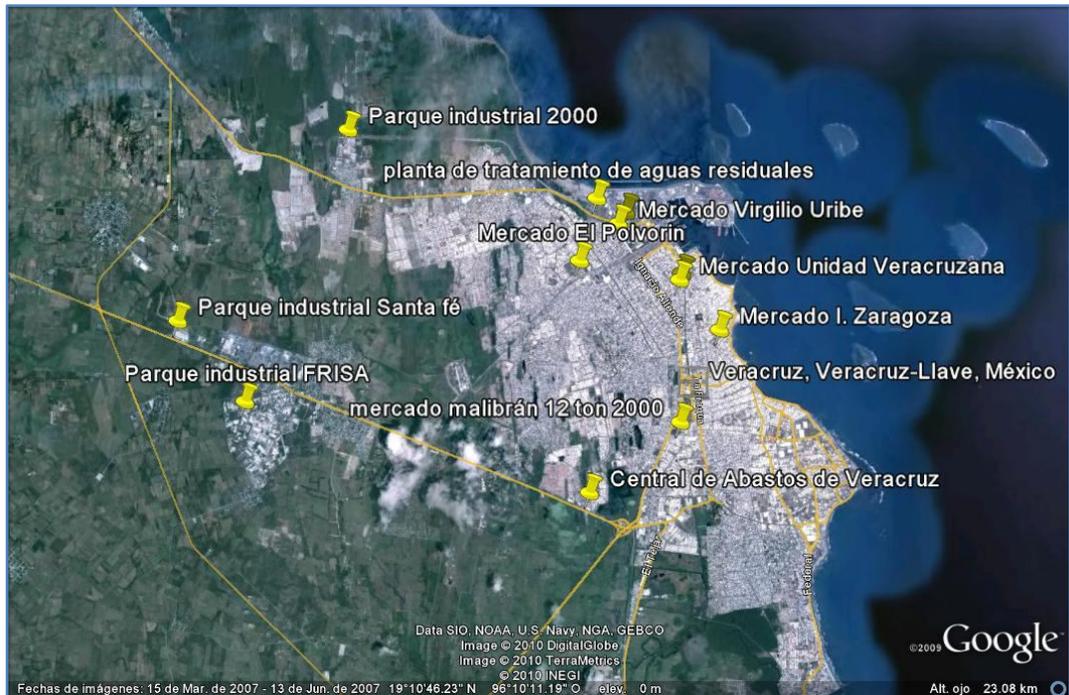
La distancia en línea recta desde la ubicación de las fuentes de materia prima se obtuvo con las coordenadas, para obtener la componente en X y Y, y así calcular la magnitud del vector (Figura 3.5).

*Distancia a la fuente de materia prima i desde la ubicación k = Di*

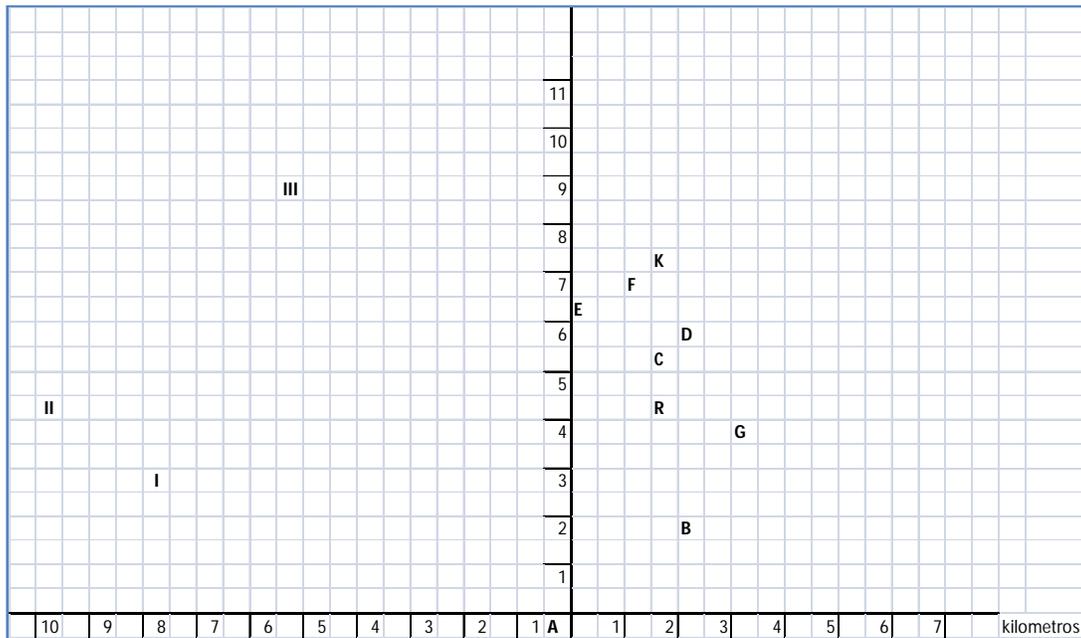
$$D_{ik} = \sqrt{(X_k - X_i)^2 + (Y_k - Y_i)^2} \quad (3-2)$$

**Tabla 3.1 Resultado de la elección de lugar para la ubicación de la planta**

				Coordenadas		Distancia a las posibles ubicaciones			Puntaje total		
	Puntos de interés	Generación	Factor R1	X	Y	I	II	III	I	II	III
A	Central de abastos de Veracruz	40 ton	0.27	0	0	8.2	10.6	10.5	18.0	28.3	27.8
B	Mercado Malibrán	20 ton	0.13	2.25	1.75	10.0	12.3	10.6	44.0	65.1	56.5
C	Mercado Unidad Veracruzana	10 ton	0.07	1.75	5.25	9.8	11.5	8.3	86.0	122.6	87.9
D	Mercado Miguel Hidalgo	8 ton	0.05	2.25	5.75	10.4	12.1	8.5	114.2	160.6	113.5
E	Mercado El polvorín	6 ton	0.04	0.25	6.25	8.7	10.2	6.5	127.3	180.6	115.1
F	Mercado Virgilio Uribe	8 ton	0.05	1.25	6.75	9.8	11.3	7.3	107.7	149.8	96.7
G	Mercado Ignacio Zaragoza	8 ton	0.05	3.25	3.75	11.0	13.0	10.3	120.8	172.8	136.7
H	Mercado Plaza del mar	15 ton	0.10	1.75	7.25	10.5	7.6	7.6	61.3	84.2	54.2
R	RSU	35 ton	0.23	1.75	4.25	9.6	8.7	8.7	24.0	34.9	26.6
	<b>Totales</b>	<b>150 ton</b>				<b>88.3</b>	<b>78.4</b>	<b>78.4</b>	<b>703.3</b>	<b>998.9</b>	<b>715.0</b>
Ubicaciones posibles				Coordenadas		Otros factores importantes a considerar					
				X	Y	Vías acceso	Disponibilidad	Recolección	Mercado	Total	Factor R2
I	Parque industrial Bruno Pagliani			-7.75	2.75	3	3	2	2	10	0.58
II	Parque industrial Santa fé			-9.75	4.25	2	1	1	3	7	0.71
	Parque industrial 2000			-5.75	8.75	1	2	3	1	7	0.71



**Figura 3.3 Imagen satelital Puerto de Veracruz con mercados**

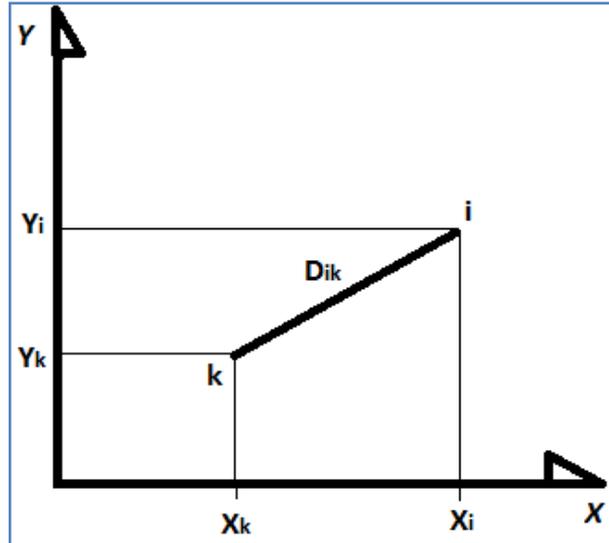


**Figura 3.4 Ubicación de los mercados del Puerto de Veracruz en un plano cartesiano**

Para proponer las tres ubicaciones posibles de la planta se tomaron en cuenta varios factores: Las vías de acceso, la disponibilidad del terreno, la cercanía con la ruta de recolección predispuesta y el acceso al posible mercado o las zonas agroindustriales. De este análisis se obtuvieron tres sitios: El parque industrial Bruno Pagliani, El parque industrial Santa Fé y el parque industrial 2000. Se elaboró una matriz para que, de forma cuantitativa y cualitativa, se evaluarán los factores antes mencionados, (esta matriz se

encuentra en la parte inferior de la Tabla 3.1), para esto se asignaron valores de 1, 2 y 3 según una opinión ponderada. Se sumaron los puntos respectivos a cada parque, mismos que servirán para obtener el factor  $R_2$ .

$$R_{2i} = 1 - \frac{\sum_1^4 F_i}{\sum_I^{III} \sum_1^4 F_i} \quad (3-3)$$



**Figura 3.5 Representación de la distancia como la magnitud de un vector**

Donde:  $F_i$  es la calificación respectiva por cada factor a considerar en la ubicación de la planta. En la fórmula también se encuentra la calificación final por cada ubicación y los puntos totales para las tres alternativas. Al final para que el factor  $R_2$  no pese tanto en la elección de la ubicación óptima, se toma el complemento y es por eso que se resta de la unidad. Entre más pequeño resulte éste cociente, dará una mejor calificación para la alternativa.

En la matriz "puntaje total" ubicada en la parte superior derecha de la Tabla 3.1 es donde se realiza la toma de decisión. Para esto se llevó a cabo el siguiente cálculo:

$$\text{Calificación final}_i = \sum_I^{III} \frac{D_{k_i}}{R_{1_k}} \circ R_{2_i} \quad (3-4)$$

En la Tabla 3.1 se puede observar que la ubicación elegida es el PARQUE INDUSTRIAL BRUNO PAGLIANI, es decir la opción I debido a que causaría el menor costo y porque concuerda con la estrategia del proyecto. Lo siguiente será la elección del terreno.

Después de examinar algunos terrenos disponibles y verificar sus dimensiones, a través de la herramienta "GoogleEarth"®, el lugar elegido se encuentra ubicado a un costado de la empresa Empacadora del Golfo S.A. de C.V. en la avenida Fraboyanes No 1393 del parque industrial Bruno Pagliani y se observa en las Figuras 3.6 y 3.7.



**Figura 3.6 Ubicación de planta de biogás**



**Figura 3.7 Terreno para la ubicación de la planta de biogás en Veracruz**

### 3.3 Metodología para el diseño de la planta de biogás

El proyecto que se plantea consiste en la construcción de una planta de tratamiento para una fracción de los residuos orgánicos generados en el puerto de Veracruz, mediante la tecnología de la degradación anaerobia, así como la adquisición/construcción de la infraestructura e instalaciones auxiliares necesarias para la generación de productos viables desde el punto de vista comercial.

La demanda inmediata es de aproximadamente 150 ton/día, así que el proceso se dimensionará con base en esa capacidad. Cuando se tratan los residuos bajo el esquema del sistema anaerobio, convencionalmente se obtienen dos productos principales: Una mezcla nutritiva proveniente de los lodos digeridos, libre de agentes patógenos y/o

infecciosos, y biogás compuesto regularmente por  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , así como también un porcentaje de vapor de agua.

Con respecto al biogás hay varias opciones para comercializarlo o aprovecharlo. Regularmente se utiliza para generar energía eléctrica mediante su combustión en turbinas o motogeneradores y abastecer la demanda de potencia del sistema. Otra opción es utilizarlo en calderas para generar energía térmica que se usa en diversas fases de la planta; sin embargo, en algunos países desarrollados es muy atractivo comercializar con su potencial.

El modelo que se utilizará en éste proyecto es la comercialización del biogás como un biocombustible para el sector transporte automotriz. Esta aplicación ha tenido mucho éxito en Sudamérica, (tan sólo Argentina y Brasil cuentan con el 30% del mercado mundial) debido a las grandes reservas de Gas Natural (el gas natural se compone en un 90% de  $\text{CH}_4$  al igual que la calidad que puede alcanzar el biogás después de algunos procesos) y a las políticas de reducción de emisiones.

Con respecto a los fertilizantes, existen datos muy interesantes. A pesar de la gran oferta en México de fertilizantes químicos, la producción nacional cubre tan sólo el 21% del consumo, y de hecho hay fórmulas que se importan totalmente. De los 21.4 millones de hectáreas que se siembran en México, sólo el 47.7% se fertilizan y el 80% se concentra en 11 estados entre ellos el Estado de Veracruz, donde la agricultura intensiva depende de una importante cantidad de insumos (FIRA, 2009).

Hoy en día existen diferentes presentaciones para los fertilizantes: Sólida, líquida y gaseosa, y la mejor presentación dependerá de las condiciones particulares del suelo, el sistema de producción agrícola utilizado y el tipo de cultivo. Los factores que influyen en la absorción mineral son en general: La textura, el porcentaje de oxígeno o aire, el pH y las interacciones iónicas en el suelo, además de la naturaleza y la fase de desarrollo de la planta. Hay otros factores relacionados con las condiciones climáticas como la temperatura, humedad y luz (Ávila, 2001).

Este proyecto contempla la recuperación de los lodos y su acondicionamiento para producir abono o fertilizante del tipo granular y el aprovechamiento de la humedad contenida para recircularla en el proceso y utilizarla como agua de riego con buenas propiedades nutritivas.

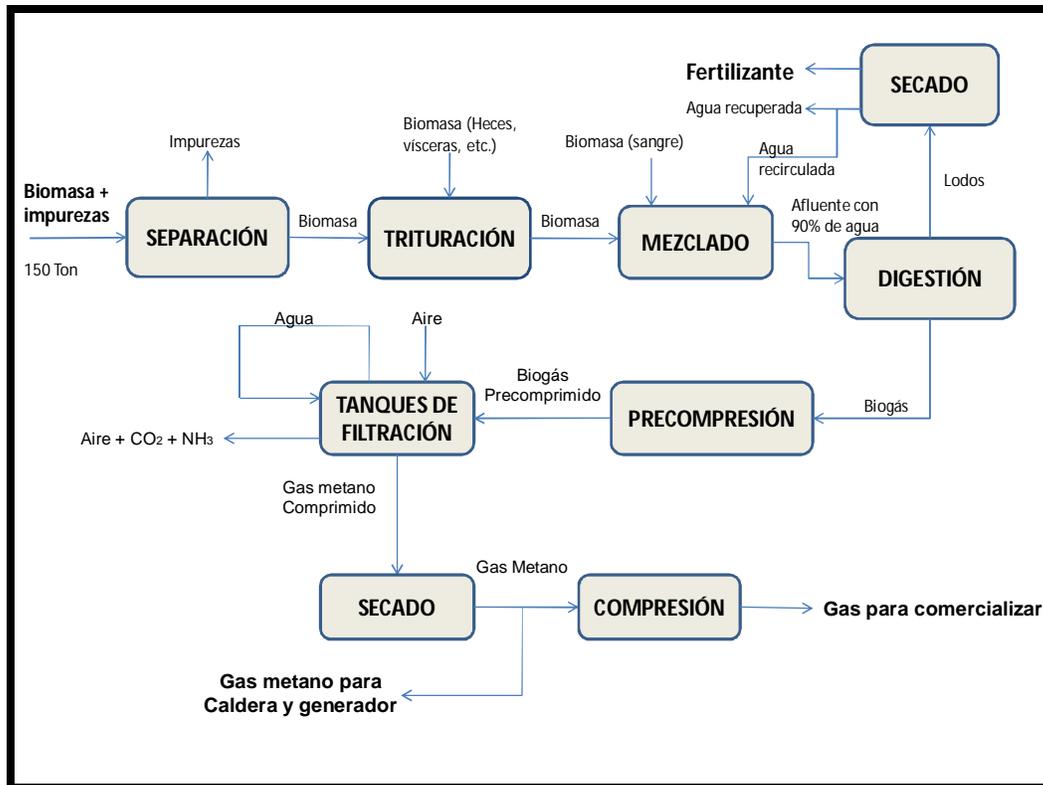
Estas instalaciones contribuirían a disminuir la cantidad de residuos orgánicos que llegan actualmente a disposición final sin costo para el gobierno municipal, además se reducirían considerablemente la emisión de gases de efecto invernadero al quemar el  $\text{CH}_4$  del biogás y convertirlo en  $\text{CO}_2$ , 21 veces menos nocivo.

### **3.4 Procesos y tecnologías a emplear en la planta de biogás**

En el diagrama de flujo de la Figura 3.8 se muestran los procesos generales que se deben llevar a cabo para la obtención de los productos antes mencionados sin descuidar la operatividad y rentabilidad del proyecto.

El proceso de transformación inicia al entrar al sistema, la biomasa e impurezas (150 Ton de desechos), llegando principalmente en camiones del servicio de limpia municipal. Posteriormente los desechos entran a un proceso de selección y separación para excluir impurezas de los desechos orgánicos. En ésta etapa se podrían obtener cantidades

importantes de materiales reciclables y para aprovecharlos es necesario diseñar las fases de acopio, acondicionamientos secundarios y almacenamiento.



**Figura 3.8 Diagrama de proceso propuesto para la planta de biogás**

Ahora que la materia prima se compone en su mayoría de desechos orgánicos, pasa por un proceso de trituración en donde se busca reducir el tamaño de partícula y homogeneizar su simetría para conseguir un eficiente mezclado con agua recirculada para su introducción al proceso de digestión.

El siguiente paso es dejar que las bacterias en la fase de digestión degraden la mezcla durante el tiempo de retención hidráulica para mineralizar los componentes y producir biogás. La idea es alimentar el digester de manera continua para que no falte sustrato para el proceso de bioconversión y cuidar los parámetros como temperatura, pH, agitación y presión planteados en el Capítulo 2 para que los cultivos microbianos proliferen de manera adecuada.

Después del tiempo de retención es necesario llevar los lodos digeridos al secado donde se obtendrá la textura y humedad adecuada del fertilizante. El secado puede llevarse a cabo en varias etapas.

Por otro lado, en la digestión se obtendrá biogás que debe ser llevado a una etapa de precompresión, y almacenamiento previo. Después es necesario retirar del biogás los compuestos como el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{H}_2\text{S}$  que corroen los equipos y dificultan el aprovechamiento del metano, para esto se lleva a cabo un proceso de filtración y secado. En ese momento sería posible la utilización eficiente de una parte del biogás en calderas y generadores para