

RESUMEN

Este trabajo consistió en una evaluación de pre-factibilidad técnica, ambiental, social y financiera de una planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos, principalmente que provienen de mercados, con el sistema de degradación anaerobia; para producir: Fertilizante orgánico y gas metano comprimido para uso vehicular, este último procedente de la purificación del biogás que se genera en la descomposición.

Para situar la instalación de la planta de biogás se realizó un análisis nacional de climas, llegando a Veracruz, que cuenta con temperaturas apropiadas para volver factible el proceso de degradación anaerobia y una importante superficie sembrada pues, según datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, es el segundo lugar a nivel nacional, esto es importante debido a que un subproducto inmediato del sistema es fertilizante. La materia prima para este sistema es la fracción orgánica de los residuos y en la región de estudio cada persona genera 0.8 kg/día, compuesta principalmente por desechos de comida. En el Puerto de Veracruz existe un problema agudo de residuos pues se estima que se producen 600 ton/día, equivalentes a 1 kg/hab·día, las cuales llegan a sitios no controlados de disposición, generando grandes problemas ambientales. En este municipio existen 7 mercados y generan una cantidad de 150 ton/día. Tratando en la planta de biogás, la biomasa que proviene de estos mercados, se generarán 8,100 Nm³ por día. Para poder lograr esta generación de biogás se controlará la temperatura para que ronde los 55°C y el tiempo que la materia orgánica deberá retenerse en los reactores será de 15 días por lo que las dimensiones de los mismos es de 11 m de altura y 21 m de diámetro. El 45% del biogás puede utilizarse para la generar una potencia eléctrica de 1,072 kW y el resto se purificará para la producción de 2,128.35 Nm³ CH₄/día que serán comprimidos y podrán abastecerse alrededor de 125 vehículos (tanque de almacenamiento 17 m³). Los lodos digeridos resultantes del proceso son 315.56 ton/día que se acondicionarán para generar 18.17 ton/día de fertilizante orgánico con un porcentaje de humedad de 35%, adecuado para aplicarlo en campos de cultivo y sustituir una importante cantidad de fórmulas químicas. Para el suministro continuo de energía térmica se observó que la energía necesaria puede provenir directamente del ciclo de cogeneración, elevando la eficiencia de la planta y reduciendo costos.

La inversión fija para el desarrollo de este proyecto es de \$66,101,120.58, las inversiones en activo diferido (gastos pre-operativos, constitución de la sociedad mercantil, publicidad, imprevistos, etc.) suman \$5,865,063.83 y el capital de trabajo se estima en \$5,000,000.00. La estructura de costos se resume de la siguiente forma: Mano de obra 25%, insumos 26%, energía 0%, gastos fijos 34% y mantenimiento 15%. Los ingresos para el primer año serán de \$26,000,000.00. Se consideró un horizonte de planeación de 10 años y al final de este periodo se estima que los ingresos ascenderán a \$48,000,000.00. La utilidad bruta para los últimos 6 años sobrepasaría el 50%. La Tasa Interna de Retorno (TIR) del proyecto resulta de 33% por lo que el periodo de recuperación de la inversión es entre 5 y 6 años. La estructura de financiamiento propuesta genera un Costo Promedio Ponderado de Capital (CPPC) de 15.5% que da como resultado un Valor Presente Neto (VPN) de \$14,419,440.00. El índice Beneficio-Costo es de 1.53 para el municipio, tomando en cuenta los flujos de efectivo arrojados por el proyecto y el ahorro que generaría la reducción del 25% de los residuos que llegan actualmente a disposición en el puerto.

Finalmente, el desarrollo de este proyecto generará beneficios sociales y ambientales: Alrededor de 45 empleos directos, reducción de la contaminación de mantos acuíferos, reducción de plagas y otros vectores infecciosos, aumento de la tasa de reciclaje y la reducción de 25,110.10 toneladas equivalentes de CO₂ por año, con lo que se contribuye a mitigar el calentamiento global.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la humanidad se encuentra posiblemente ante el desafío más grande de todos los tiempos, un fenómeno cuyas consecuencias son irreversibles y cuyas causas son parte del motor que impulsa el sistema económico moderno: *El cambio climático*. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC) define este fenómeno como la suma de las variaciones en el clima a través del tiempo, ya sea por procesos naturales o como resultado de las actividades humanas. Sin embargo, está comprobado por la comunidad científica mundial que los volúmenes generados de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como el CO₂ en los últimos 150 años han rebasado la capacidad de captura de la biósfera y la consecuencia es el aumento gradual de las concentraciones en la atmósfera. Ésto impide el desalojo natural de energía térmica en el planeta causando el inevitable aumento de la temperatura.

Contrario a lo que piensan los escépticos, existen pruebas contundentes de las dimensiones del problema; por ejemplo: La temperatura media de los últimos 15 años ha sido la más alta jamás registrada (CICC, 2007). El ártico ha perdido el 40% de su espesor y podría desaparecer en 2030, el aumento del nivel del mar registrado en todo el mundo, derretimiento potencial del Permafrost, aumento de la frecuencia de ciclones y tormentas tropicales y las miles de muertes por olas concentradas de calor. En México, el número promedio de incendios de los últimos 35 años casi se ha duplicado, se ha registrado en Veracruz que el nivel del mar se eleva a razón de casi 2mm por año, la temperatura media anual de 2000-2007 se ha elevado en 1°C y el 40% de los ciclones más intensos se han suscitado en el periodo 2000-2006 (CONAGUA, 2008).

Según el IPCC los países en vías de desarrollo emiten el 59% del total de gases de efecto invernadero (CICC, 2007) y México se ubica en 13° lugar a nivel mundial. De los 643 millones de toneladas de CO₂^{e1} que genera el país, el 24% proviene de la generación de energía, el 18% del transporte y el 10% se genera por la descomposición de los desechos orgánicos. La falta de manejo integral de estos últimos genera, además, los siguientes problemas: Contaminación de aguas superficiales y subterráneas, dificultad para el reciclaje de materiales inorgánicos, proliferación de plagas y contagio de enfermedades, daños a la infraestructura, mala imagen y diversos problemas socio-económicos.

Gracias a que México ratificó el Protocolo de Kioto en el año 2000, es posible acceder a los mercados de carbono a través de los Mecanismos para el Desarrollo Limpio que se estructuraron para ayudar a que los países desarrollados cumplan con sus metas de reducción de emisiones y los países emergentes obtengan financiamiento y mejoren las eficiencias de sus procesos productivos.

Se ha corroborado mediante recuentos anecdóticos que ya en el siglo XVI, el gas que se desprendía de la degradación natural de los residuos servía como combustible de

¹ Toneladas de CO₂ equivalentes, nomenclatura utilizada por la CICC

cocina en la antigua Persia. Pero fue hasta 1859 en una comunidad de Bombay, en la India, que se construyó la primera planta de tratamiento cuya función era provocar la descomposición acelerada de los residuos para generar biogás. Para denominar a esta tecnología, con el paso del tiempo se acuñó el término de degradación anaerobia (Lettinga, 1992).

Hoy en día, el tratamiento anaerobio es uno de los procesos más utilizados en el aprovechamiento de los residuos orgánicos de hogares, granjas, industrias y municipios; además de ser un proceso vital en el tratamiento de aguas residuales. En la Unión Europea existen sistemas que han estado en operación por más de 20 años y tan sólo en Alemania se construyeron más de 250 estaciones en los 5 últimos años.

La simple quema de metano, uno de los principales componentes del biogás, es considerada un Mecanismo de Desarrollo Limpio (estructura derivada del protocolo de Kioto para que algunas iniciativas de los países en desarrollo puedan acceder a financiamiento por países desarrollados y a su vez éstos últimos puedan cumplir con sus metas de reducción de emisiones) debido a que cada molécula del mismo, contribuye 21 veces más que el producto de su oxidación (el CO₂) al efecto invernadero. Es por esto que existen grandes oportunidades para que los países en desarrollo, donde la composición de los residuos es mayormente orgánica, apliquen esta tecnología.

En México, cada día se generan más de 100 mil toneladas de residuos sólidos urbanos, de los que aproximadamente 51 mil son orgánicos. El 67% llega a sitios controlados, sólo el 58% a rellenos sanitarios que cumplan con normatividad y el resto es dispuesto en tiraderos a cielo abierto, barrancas, cuevas, lotes baldíos o fuentes de agua como los ríos y los lagos. El porcentaje que recibe tratamiento, ni siquiera es relevante a nivel nacional. La mayoría de los rellenos sanitarios certificados han rebasado ya su vida útil, lo que exige que se generen alternativas tecnológicas, económicamente viables en el corto plazo, que ayuden a los municipios a brindar el servicio al que están obligados. (Rementería, 2008)

Según la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Veracruz existen 32 rellenos sanitarios en operación y 7 en construcción, sin embargo, en el Puerto de Veracruz no existe un lugar de disposición adecuado. El porcentaje de la población que cuenta con el servicio tan sólo representa el 29% del total en el estado, es decir, de las 5,327 ton/día que se generan únicamente 1,932 ton/día llegan a vertederos autorizados. Estos datos reflejan una situación más crítica que el promedio nacional por lo que resultó interesante estudiar más a fondo la aplicación del tratamiento anaerobio con el objeto de reducir la cantidad de residuos, que de no aprovecharse, formarían parte de las 600 ton/día que deben enterrarse en la zona.

Evaluar un proyecto es conocer la conveniencia, de tal forma que asegure que habrá de resolver una necesidad humana en forma eficiente, segura y rentable, con el fin de conseguir que se asignen en forma racional los recursos necesarios para llevarlo a cabo. En términos generales, cinco son los estudios que deben realizarse para evaluar un

proyecto: Viabilidad comercial, técnica, legal, organizacional y financiera. El nivel de estudio de pre-factibilidad se basa principalmente en información de fuentes secundarias para definir con cierta aproximación las variables de mercado, técnicas de producción y prestaciones para un inversionista, es decir, se estimar las inversiones probables, los costos de operación y los ingresos que generará el proyecto (Sapag y Sapag, 1991).

Esta tesis contempla la ingeniería básica para el diseño de un sistema de tratamiento anaerobio para a los residuos de los mercados principales de la región del Puerto de Veracruz y una evaluación de pre-factibilidad de la propuesta, con la finalidad de demostrar que es posible aplicar tecnología en la resolución de uno de los mayores problemas del país y verificar que la implementación del proyecto resultante, es viable desde el punto de vista técnico, financiero, social, ambiental y legal.

Los resultados obtenidos debe servir de base para realizar la ingeniería de detalle y el estudio de factibilidad necesario para que los tomadores de decisiones puedan facilitar los recursos económicos en la decisión de invertir o no al momento de revisar el proyecto. Para tal efecto, se debe describir el sistema, su diseño, elaborar un plano de distribución de planta, presupuesto por cada tipo de activo que constituirá la sociedad mercantil, elaborar los estados financieros, revisar los principales indicadores y las prestaciones económicas de la propuesta, hacer una revisión de la normatividad que debe cumplir el proyecto; y todo esto al tiempo que se procura no afectar el medio ambiente y mejorar las condiciones de vida de la comunidad.

Por todo lo anterior se proponen los siguientes objetivos de la tesis.

Objetivo General

- Evaluar un sistema para el tratamiento de residuos sólidos urbanos y la recuperación de biogás, utilizándolo como energía y compost, a partir del lodo digerido, en el Puerto de Veracruz.

Objetivos Específicos

- Aprovechar los residuos sólidos orgánicos para la generación de biogás y compost.
- Proponer los procesos necesarios para utilizar el metano contenido en el biogás como combustible vehicular.
- Proponer la generación de un producto mejorador de suelos, a través de la mineralización de los nutrientes contenidos.
- Proponer el acondicionamiento de los materiales inorgánicos para su comercialización, como materia prima para nuevos procesos industriales.
- Verificar la pre-factibilidad técnica y financiera del proyecto.
- Cuantificar las contribuciones ambientales.
- Cualificar las contribuciones sociales hacia la comunidad.