



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

División de Ingeniería Eléctrica

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA CONVERSIÓN DE BIOMASA EN
ENERGÍA ELÉCTRICA Y TÉRMICA EN UNA COMUNIDAD RURAL E
INDIGENA: CASO SAN ANTONIO SINICAHUA, OAXACA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO

PRESENTAN:

GUADARRAMA ORTIGOZA ARACELI
HERNÁNDEZ OROZCO LUIS ARMANDO

PROFESOR ASESOR
DR. GABRIEL LEÓN DE LOS SANTOS



GENERACIÓN: 2002



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a la máxima casa de estudios "Universidad Nacional Autónoma de México", que por medio de la Dirección General de Servicios Educativos y en colaboración con la Facultad de Ingeniería, nos brindó la oportunidad de realizar nuestra investigación de tesis en el programa "La UNAM en tu comunidad", de igual forma agradecemos a la Secretaría de Desarrollo Social y a la Fundación Kellogg por el apoyo económico brindado para la realización de este trabajo.

A la Ing. Ana de Gortari y a la Lic. Claudia Navarrete, por la confianza, el apoyo y el interés en impulsar proyectos de esta naturaleza.

A Jessica Hernández y Emiliano Palacios, por el seguimiento y observaciones que enriquecieron este trabajo. A todos ellos de nuevo muchas gracias.

De la misma forma se reconoce el apoyo proporcionado por las autoridades del municipio de San Antonio Sinicahua encabezados por el presidente municipal Raúl Bautista y el cuerpo administrativo que lo precede, en general a toda la comunidad de San Antonio Sinicahua, por su hospitalidad y generosidad al recibirnos; gracias por su cooperación, disposición y amabilidad para el logro de los objetivos de la investigación.

Y en particular a los integrantes de la comunidad: Zoraida y Ceci, por su colaboración en la traducción a la lengua local y aplicación de las encuestas.

A la Señora Hilda y familia, a los directivos y profesores de la Escuela Primaria Ignacio Zaragoza, escuela del Bachillerato y sus docentes. Gracias por las facilidades otorgadas.

Al Dr. Gabriel León de los Santos gracias por compartir su experiencia y conocimientos con nosotros, por cada consejo, asesoría y sobre todo por interesarse en proyectos de esta índole que no solo tienen un gran impacto social y ambiental, si no que además contribuyen a nuestra formación profesional.

*Araceli Guadarrama
Luis A. Hernández*

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la fuerza, la voluntad, la vida, unos excelentes padres, un par de hermanos ejemplares y por enviarme el más grandioso regalo: a mi bebé Andreita, la cual desde su llegada se ha convertido en el motor de mi existencia.

A la máxima casa de estudios y mi segundo hogar la "Universidad Nacional Autónoma de México" por darme la oportunidad de forjarme como profesionista y ser humano, por llenarme de experiencias, satisfacciones y alegría.

Sofí, gracias por el ser la fuente de sabiduría en mi vida, por enseñarme el valor de la humildad, por todos tus desvelos, lágrimas, confianza, paciencia, dedicación y fortaleza. Te amo mamita preciosa.

Made gracias por brindarme todo lo que haz tenido a tu alcance, por tu amor y por confiar hasta el último momento en mí. Eres único papito, gracias por enseñarme a ser constante y una mujer valiente.

Julio, gracias por tu comprensión y cariño. Miguel gracias por tus consejos y apoyo. Los amo hermanitos y amo a esos angelitos que nos enseñan que cada día se aprende algo nuevo, Tiki y Cone .

Hermanitas hermosas Yoyan, Pame, Prieta, Kaky, Dianis y Kari, por todas sus locuras, consejos, paciencia, cariño, por siempre caminar a mi lado sin soltarme, gracias las amo, las adoro y doy gracias a Dios a cada instante por haberlas puesto en mi camino.

Lupita, tío Toño †, Manuel por su amistad, apoyo incondicional, sus consejos y por brindarme grandes valores como ser humano, de todo corazón gracias.

Luli, Chima e Isma, gracias por todo el cariño, confianza y por ser grandes amigos y consejeros, sobre todo por enseñarme el valor de luchar por los ideales.

A mis excelentes amigos y compañeros de carrera: André, Javier, Sinuhé, Rafa, Naye, Erika, Dona, Muñe, Pablote, Miguelón, Diego, Pepe, Héctor, Armando y Nuñez por imprimir el detalle de alegría en cada momento de la carrera, por sus travesuras y sabios consejos, por todo lo que reímos y compartimos, gracias de todo corazón.

Abraham, gracias por el amor, cariño, comprensión y por darme mi más hermoso regalo, " nuestra bebida hermosa".

AGRADECIMIENTOS

Profesor Antonio Solórzano, Alexis y Toño, gracias por ser grandes seres humanos y por fomentar la disciplina y el deporte en mi vida, en definitiva les agradezco por enseñarme a no tirar la toalla no solo en el ring sino en la vida diaria.

Profesor Ramón Hernández Arteaga, de corazón gracias por sus enseñanzas, su amistad y por ser un gran ejemplo a seguir.

Ing. Francisco Guerrero Lutherot †, con el alma le doy mi eterno agradecimiento por ser un excelente amigo y donde se encuentre gracias por todo el apoyo y por compartir no solo sus conocimientos si no su gran corazón.

A todos mis profesores de carrera y en especial al Ing. Rojas, Ing. César Vázquez Segovia, Ing. Elizalde, Ing. Balmori, Ing. Ma. Sara Valentina, Ing. Carranza, Ing. José Ma. Francisco, Ing. Monroy, Ing. Victoria, Ing. Gregorio Peña, Ing. Vikeyra, a todos gracias por su dedicación y por compartir sus conocimientos, gracias por ser tan comprometidos con su trabajo, alumnos y con su Universidad.

Dr. Gabriel León de los Santos, gracias por ser un excelente asesor, un gran ser humano y un verdadero amigo, gracias por toda la paciencia, sus conocimientos y su tiempo para la realización de este trabajo de tesis.

Armando gracias por ser un excelente amigo y compañero, por la paciencia, dedicación y por todo el empeño dedicado a este trabajo.

Ing. Ana de Gortari, Lic. Claudia Navarrete, Jessica, Ángeles, Maruka, Miguel y la gente de DGOSE muchas gracias, por enseñarme que como profesionistas y como humanos nos queda mucho por hacer, gracias por mostrarme otra perspectiva.

Con todo mi cariño para todos aquellos angelitos que ya he mencionado por ayudarme a cumplir uno de mis más anhelados sueños.....

Araceli Guadarrama Ortigoza

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de tesis, esta dedicado a mi superación personal y desarrollo profesional, no sin antes, agradecerle a Dios por darme la oportunidad de lograr esta meta que me propuse en el momento que me incorpore a la máxima casa de estudios, la Universidad Nacional Autónoma de México.

Agradezco profundamente a mis padres, Alicia Orozco y Pascual Hernández, quienes en todo momento me estuvieron brindando el apoyo necesario para que hoy yo lograra este objetivo, terminar mis estudios profesionales.

Lety y Oscar, mis hermanos que en todo momento han estado a mi lado y como siempre pasando buenos y malos momentos, sin embargo siempre muy unidos como una buena familia.

Quiero agradecer en lo mas profundo de mi, a la persona que siempre estuvo apoyándome y en todo momento siempre me brindo el apoyo necesario para lograr ser su orgullo, me refiero a mi abuelo †, quien me enseñó a ser fuerte, crecer y a formarme valores que siempre me permitirán ser una persona mejor.

Cindy, gracias por darme el apoyo y por compartir excelentes momentos en gran parte de lo que fue mi trayecto en la Universidad. Siempre recordare los momentos de esfuerzo y apoyo profesional, por lo que hoy he logrado esta gran misión.

Ing. Gabriel León, gracias por su apoyo y sobre todo por la paciencia que nos tuvo a lo largo de este desarrollo de tesis. Las enseñanzas y el conocimiento que nos brindo lo llevare para que me ayude en mi vida profesional.

Agradezco a quienes en el camino de estudios en la Universidad estuvimos apoyándonos para que al igual que yo, lográramos esta gran misión: Alfonso Bool, Cinthya Erika, Felipe Sánchez, Eduardo Meneses, Felipe "Beremiz", Guadalupe, Fredy Cardeña, Araceli Guadarrama, Sinuhe, entre otros. ¡Gracias por su apoyo!

Araceli, gracias por permitir ser mi compañera en este proyecto de tesis y juntos logremos el objetivo que al inicio de nuestros estudios profesionales nos propusimos. Deseo que en tu vida futura logres muchas metas y siempre puedas contar con mi apoyo, así como lo fue en este trabajo.

¡ GRACIAS !

Luis Armando Hernández Orozco

OBJETIVOS

OBJETIVO:

Proponer y evaluar técnica, económica y ambientalmente una instalación para la conversión de la biomasa generada en una comunidad rural del Estado de Oaxaca en electricidad y agua caliente para su autoconsumo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantamiento de información de campo, en tres de las siete agencias que conforman el municipio de San Antonio Sinicahua, Oaxaca.
- Análisis de las necesidades energéticas y potencial energético de las agencias.
- Determinación del lugar que cuente con las condiciones más adecuadas para la implementación del sistema de generación.
- Elaboración de la propuesta del sistema de generación con base a la demanda de energía promedio de la comunidad, adecuándose a los insumos energéticos disponibles.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis propuso y evaluó técnica, económicamente y ambientalmente una instalación para la conversión de biomasa, generada en una comunidad rural del Estado de Oaxaca; en electricidad y agua caliente para autoconsumo.

Se estudio uno de los 50 municipios más marginados del país, San Antonio Sinicahua; el cual se divide en pequeñas localidades llamadas agencias y barrios. Para este caso particular se evaluó la parte norte del municipio, la cual corresponde a las agencias de Yosocahua, San Isidro Siniyuco y San José. La obtención de la información para la realización del estudio se logró a través de encuestas aplicadas en las agencias descritas anteriormente.

Se propuso un Sistema de Aprovechamiento y Generación de insumos energéticos para el auto consumo de las comunidades, dimensionando y comparando la eficiencia operativa de los sistemas propuestos. Se propuso emplear biogás como combustible, y los cálculos de éste se estimaron mediante tres metodologías distintas: FAO, RETSCREEN y por el Método del Coeficiente de Rendimiento del Estiércol. Después de efectuar el análisis se llegó a la conclusión que la agencia que cuenta con mejores características para la instalación del Sistema de Generación fue la de San José, y se evaluó un escenario conservador en la producción de biogás, por lo que los cálculos fueron obtenidos con el software RETSCREEN. Asimismo se evaluó técnicamente el sistema energético propuesto con el software THERMOFLEX 16.0.

Obteniendo para la agencia seleccionada los siguientes resultados: una potencia de $60.62 \text{ kW}_{\text{Químicos}}$, los resultados anteriores partiendo de un Poder Calorífico del biogás de: 20.838 MJ/ m^3 . Posteriormente se eligió el tipo de biodigestor apropiado con las siguientes características: tipo pistón con agitación durante cinco horas al día, el volumen final del digestor es de 273.24 m^3 con las siguientes dimensiones: Longitud de 13.13 m, Ancho de 5.2 m y una profundidad de 4 m.

Se evaluó y se selecciono para el Sistema de Generación a base de biogás un motor de combustión interna, dado que este equipo presenta mejores parámetros de desempeño que una microturbina de gas (eficiencias del 26% y 29%, además de mejores parámetros económicos).

En el estudio final se realizaron una serie de consideraciones ambientales y sociales, como las emisiones de carbón equivalentes emitidas por el sistema, los aspectos de los bonos de carbono del Mecanismo de Desarrollo Limpio; así mismo las aportaciones a la mejora de la calidad de vida de las comunidades indígenas, vía una mejor salud, mejores oportunidades de vida, contribuyendo a la reducción de la marginación social y económica de las comunidades.

INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento por el hombre de las fuentes de energía renovable, entre ellas la energía solar, eólica e hidráulica, es muy antiguo; desde muchos siglos antes de nuestra era ya se utilizaban y su empleo continuó durante toda la historia hasta la llegada de la "Revolución Industrial", en la que, debido al uso del carbón y mas adelante de los hidrocarburos, fueron abandonadas.

Durante los últimos años, debido al incremento en el costo de los combustibles fósiles y los problemas medioambientales derivados de su explotación, estamos asistiendo a un renacer de las energías limpias. Cabe mencionar que las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana, siempre y cuando se respeten los ciclos naturales, entre estas fuentes de energía encontramos la energía eólica, energía solar, la energía fototérmica y fotovoltaica, la energía hidráulica, la energía geotérmica, la energía maremotriz y la energía de la biomasa.

La bioenergía es la energía que se obtiene de la biomasa y se presenta con una gran variedad de formas. Puede obtenerse a partir de los biocombustibles sólidos como la leña, el carbón vegetal o los residuos agrícolas (que pueden quemarse directamente o gasificarse para producir calor y electricidad), los cultivos energéticos (como la caña de azúcar o plantas oleaginosas, de las que se extraen combustibles líquidos como el bioetanol y el biodiesel), y los residuos municipales y el estiércol (de los que pueden obtenerse combustibles gaseosos como el biogás).

La producción sustentable de biomasa brinda numerosos servicios ambientales, de tipo local y global, incluyendo el control de la erosión del suelo, la regulación del ciclo hidrológico y la protección de las áreas de hábitat silvestre. Por ejemplo si las plantaciones energéticas se establecen en tierras degradadas, es posible rehabilitarlas mejorando la calidad y fertilidad del suelo. Utilizando sustentablemente, la bioenergía podemos contribuir de manera considerable a la mitigación del cambio climático, ya que no se generan emisiones netas de CO₂. Así mismo, la conversión de desechos orgánicos en combustible, además de proporcionar energía, reduce los daños ambientales asociados a la inadecuada disposición (por ejemplo la contaminación del aire y el agua, aumento de plagas y enfermedades, deterioro del paisaje y calidad de vida de poblaciones humanas).

El presente trabajo de tesis el cual lleva por título Estudio de la viabilidad para la conversión de biomasa en energía eléctrica en una comunidad rural e indígena: caso San Antonio Sinicahua, Oaxaca, propone la utilización de fuentes renovables de energía como la biomasa, para satisfacer necesidades primarias de energía eléctrica y térmica; y con ello ayudar al desarrollo de la comunidad y disminuir el índice de marginación.

San Antonio Sinicahua es uno de los municipios con mayor marginación en el país y pertenece a los 50 Municipios con menor Índice de Desarrollo humano, de acuerdo con datos de la Secretaría de Desarrollo Social, cabe resaltar que existe una profunda desigualdad entre los estados de México, sobre todo en los más pobres, tanto en educación y salud que, están mutuamente correlacionadas, y se vinculan entre sí, y con la desigualdad de ingreso, de patrimonio, de protección social, así como con las diferencias de acceso a los servicios públicos y a los apoyos de gobierno.

La población total que maneja el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) en el conteo de vivienda del 2005 acerca del Municipio de San Antonio Sinicahua es de 1298 habitantes, de los cuales la distribución por sexo es de 581 hombres mientras que mujeres es de 717, se tiene que para el 2007 existe una población aproximada de 1350 habitantes, según datos avalados por el INEGI.

INTRODUCCIÓN

San Antonio Sinicahua se divide en siete agencias y dos barrios, para el trabajo de esta investigación se realizó un levantamiento de datos que corresponde a tres agencias de la parte norte del municipio las cuales son: San José Sinicahua, Yosocahua y San Isidro Siniyuco.

Una de las principales problemáticas en las agencias del municipio de San Antonio Sinicahua se debe al alto nivel de marginación en que se encuentran, existe la falta de cumplimiento en la satisfacción de sus necesidades primarias, además hay falta de conciencia al medio ambiente debido a la explotación no adecuada de los recursos naturales.

Los recursos naturales nos son aprovechados de manera eficiente, existe contaminación y por consecuencia hay un incremento en las emisiones de gas efecto invernadero por deficiencias en el uso de las reservas naturales.

Una contribución a la mejora de dicha situación podría ser la siguiente:

Hacer uso de la biomasa para satisfacer necesidades primarias de electricidad y agua caliente en una Agencia de la cabecera municipal de San Antonio Sinicahua, así como proporcionar y evaluar un sistema de aprovechamiento de la biomasa, desechos orgánicos y basura, para proveer y obtener recursos energéticos garantizando un desarrollo sustentable en la comunidad.

Mediante esta investigación se analizará la energía de la biomasa para generar electricidad y con ello buscar que la mayoría de los habitantes de la comunidad cuenten con electricidad para iluminación en sus hogares, con algún receptáculo para pequeñas cargas para hacer operar sus electrodomésticos y agua caliente.

En este proyecto de tesis se pretende aprovechar de manera eficiente el uso de la energía generada por biomasa y previniendo impactos ambientales, todo esto proponiendo un sistema de generación que resulte ser técnico, económicamente factible y sobre todo sustentable para la región.

Se desarrollarán y aplicarán encuestas para conocer los recursos forestales, ganaderos, agrícolas y desechos orgánicos de la comunidad, con el fin de estimar el potencial energético de los desechos. Con esta información se estudiarán las posibles tecnologías para el aprovechamiento de la conversión de la biomasa en energía eléctrica y térmica en la Agencia perteneciente al municipio de San Antonio Sinicahua

Se analizará la energía de la Biomasa para generar electricidad suficiente para cubrir las necesidades de iluminación, carga eléctrica (pequeños aparatos) y calentamiento de agua.

Se propondrán y evaluarán algunos sistemas energéticos para la conversión y aprovechamiento de la biomasa para producir electricidad y calentar agua. Evaluando la viabilidad técnica y financiera de la propuesta de los sistemas para determinar la opción más viable de acuerdo con las técnicas usuales de evaluación de proyectos

Al final de este proceso se tendrá la información y los datos que permitan la toma de decisión para continuar con la siguiente etapa del proyecto que será la ingeniería de detalle o proyecto ejecutivo como medios para buscar su posible implementación, vía fondo gubernamental, programas de apoyo a comunidades marginadas y apoyos internacionales, esta última tarea no contemplada en el alcance de esta tesis.

Los capítulos presentados en este trabajo de tesis tienen el propósito de satisfacer el objetivo planteado de proponer y evaluar técnica, económica y ambientalmente una instalación para la conversión de la biomasa

INTRODUCCIÓN

generada en una comunidad rural del Estado de Oaxaca en electricidad y agua caliente para su autoconsumo.

Así el primer capítulo hace una introducción al tema de fuentes de energías renovables, en específico la biomasa. Primero se describen los tipos de biomasa los cuales se dividieron en residuos agrícolas, residuos forestales, residuos ganaderos y desechos orgánicos, posteriormente se menciona un panorama amplio de aplicaciones energéticas de la biomasa mencionando las ventajas y desventajas de su uso, a su vez en este capítulo también se explican los métodos de conversión de la biomasa los cuales se dividen en métodos termoquímicos y métodos biológicos, de los cuales se hace un mayor énfasis a los métodos biológicos los cuales incluyen la digestión anaerobia, el cual es un tema de gran importancia para el desarrollo de este trabajo; ya que este proceso tienen un enorme potencial para recuperar el biogás generado a partir de la biodegradación del estiércol. Además este capítulo describe el uso del biogás para generar energía eléctrica, mediante una turbina de gas o en un motor de combustión interna.

En el segundo capítulo se describe la comunidad indígena de San Antonio Sinicahua, se establecen las necesidades energéticas de las agencias estudiadas, y se determina una demanda promedio de energía de la comunidad. Además este capítulo describe la estimación del potencial energético de las agencias estudiadas: San Isidro Siniyuco, San José Sinicahua y Yosocahua, las cuales se evaluaron mediante tres distintos métodos los cuales son: Método del coeficiente de rendimiento del estiércol, por el programa RETSCREEN y finalmente una metodología propuesta por la FAO, con los cuales se hizo una estimación de la cantidad de biogás que se produce mediante la digestión anaerobia y con base a la información recabada de las agencias sobre el número de ganado y especies que se tiene, el tratamiento de residuos, se elige el tipo de digestor que se empleará y se establecen sus condiciones de operación así como su ubicación y volumen.

El tercer capítulo presenta el análisis de viabilidad técnica y económica, en este capítulo se describen las alternativas de aprovechamiento de la biomasa y del biogás, a su vez se describen los esquemas energéticos evaluados para una turbina y para un motor de combustión interna, finalmente se hace la evaluación económica de los sistemas de generación propuestos. Es en la parte económica donde se describe la inversión total, se estiman los beneficios proporcionados de cada alternativa y se evalúan algunos parámetros económicos importantes como son: la tasa interna de retorno, el valor presente neto, periodo de recuperación y la relación costo beneficio con el fin de conocer la alternativa más rentable.

El cuarto capítulo describe el impacto ambiental, como las consecuencias del efecto invernadero y el impacto que éste tiene en el cambio climático, a su vez se describe de manera amplia los mecanismos de desarrollo limpio, así como la comercialización de los bonos de carbono y el Protocolo de Kyoto. Finalmente se describe el impacto social que se tendría en la comunidad con la implementación de este proyecto de tesis.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
OBJETIVOS	v
RESUMEN	vi
INTRODUCCIÓN	vii
ÍNDICE	x
CAPÍTULO 1. ENERGÍA DE LA BIOMASA	1
1.1 Introducción	2
1.2 Energía renovable	2
1.3 Tipos de biomasa	3
1.4 Aplicaciones energéticas de la biomasa	5
1.5 Sistemas energéticos de generación de electricidad y calor	11
1.6 Conclusión	20
CAPÍTULO 2. DISPONIBILIDAD DE RECURSOS, FACTORES GEOGRÁFICOS Y ENERGÉTICOS	22
2.1 Introducción	23
2.2 La comunidad indígena de San Antonio Sinicahua	23
2.3 Necesidades energéticas de la Agencia	26
2.4 Instalaciones electromecánicas	32
2.5 Estimación del potencial energético de la comunidad	34
2.6 Cálculo del biodigestor y su ubicación	44
2.7 Conclusión	45
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA	47
3.1 Introducción	48
3.2 Análisis de las alternativas de aprovechamiento de la biomasa y del biogás	48
3.3 Selección del esquema energético y su evaluación	50
3.4 Evaluación económica	58
3.5 Conclusión	66

ÍNDICE

CAPÍTULO 4. CONSIDERACIONES AMBIENTALES Y SOCIALES	67
4.1 Introducción	68
4.2 Impacto Ambiental	68
4.3 Efecto de invernadero	69
4.4 El protocolo de Kyoto	72
4.5 Rezago social y marginación	78
4.6 Impacto social del proyecto	78
4.7 Conclusión	80
CONCLUSIONES	82
ÍNDICE DE TABLAS	86
ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS	87
NOMENCLATURA	88
BIBLIOGRAFÍA	89
ANEXOS	92



Comunidad de San Antonio Sinicahua, Oaxaca

CAPÍTULO 1

ENERGÍA DE LA BIOMASA

1.1 Introducción

Para México, las tecnologías de energía renovable a pequeña escala representan una alternativa económica y ambiental factible para la provisión de energía a comunidades rurales remotas y para la expansión de la capacidad eléctrica instalada, ya sea por medio de sistemas aislados o por proyectos conectados a la red eléctrica. México cuenta con suficientes recursos para desarrollar sistemas hidráulicos, solares, eólicos y de biomasa, principalmente.

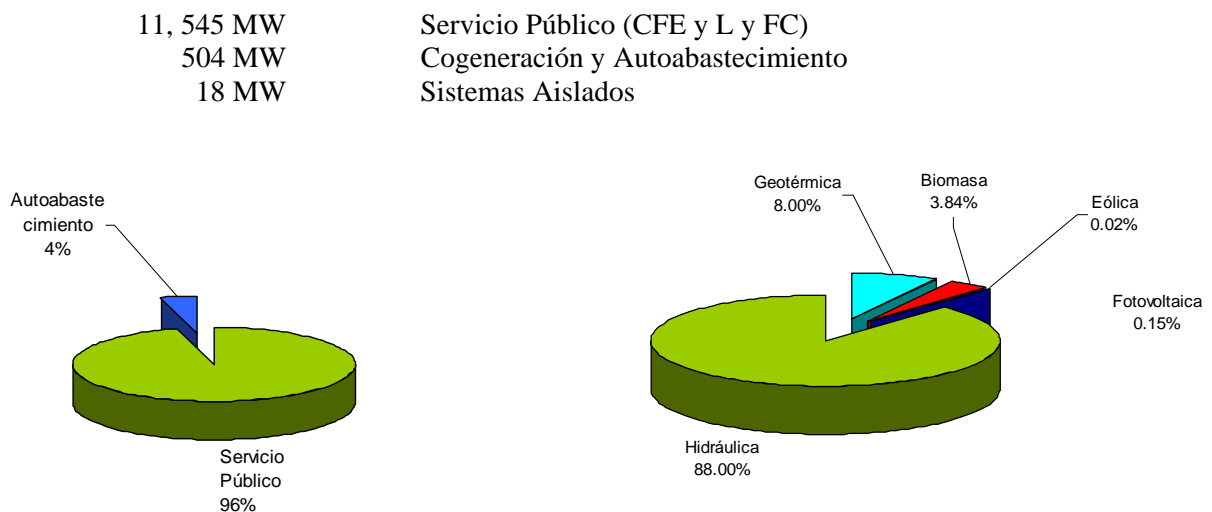
Adicionalmente, estas tecnologías pueden disminuir la contaminación del medio ambiente, causada por las emisiones de gases de los sistemas convencionales que utilizan combustibles fósiles, como el carbón, y productos derivados del petróleo. Estos gases contribuyen al efecto invernadero y al calentamiento global de nuestro planeta. Sin embargo, existen barreras que dificultan un mayor desarrollo de este tipo de energía: la falta de conocimiento de las tecnologías y las capacidades institucional y técnica.

En este capítulo se muestra una descripción detallada del aprovechamiento de la energía de la biomasa y sus diferentes formas de aprovechamiento: métodos termoquímicos y métodos biológicos.

1.2 Energía renovable

Se entiende por energías renovables aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana, siempre y cuando se respeten los ciclos naturales, entre estas fuentes de energía encontramos la energía eólica, la energía solar, la energía térmica y fotovoltaica, la energía hidráulica, la energía geotérmica, la energía maremotriz y la energía de la biomasa. Es importante mencionar que se considera a los combustibles fósiles como no renovables debido a que su formación requiere periodos de millones de años.

México tiene alrededor de 12, 000 MW de capacidad instalada basada en energías renovables, distribuidas de la siguiente manera:



Gráfica 1-1 Energías Renovables en México
Fuente: CONAE

Por otro lado la generación, el transporte y el consumo de las energías convencionales tienen, como toda actividad humana, un impacto sobre el medio, y puede decirse que están en el origen de algunos de los

mayores problemas ambientales que sufre el planeta como el cambio climático y la lluvia ácida. Estos efectos existen en las energías renovables, pero son infinitamente menores y en la mayoría de los casos reversibles.

Energía de la biomasa

Se emplea el término “biomasa” para denominar a una fuente de energía de tipo renovable, que se basa principalmente en la utilización de materia orgánica vegetal de origen diverso como maderas de árboles de crecimiento rápido, desechos de la industria maderera, cosechas azucareras, cosechas almidonadas, cosechas aceiteras, desechos agrícolas, así mismo también se emplean desechos municipales y de la industria alimenticia, que en ocasiones pueden incluir desechos de origen animal. Y se entiende por *bioenergía* a la energía que se obtiene a partir de la biomasa.

Su disponibilidad varía de región a región, de acuerdo con el clima, el tipo de suelo, la geografía, la densidad de la población, las actividades productivas, etc.; por eso, los correspondientes aspectos de infraestructura, manejo y recolección del material deben adaptarse a las condiciones específicas del proceso en el que se deseen explotar.

1.3 Tipos de biomasa

Algunas formas de obtener la bioenergía son las siguientes: a partir de los biocombustibles sólidos como la leña, el carbón vegetal o los residuos agrícolas (que pueden quemarse directamente o gasificarse para producir calor y electricidad), los cultivos energéticos y los residuos municipales y el estiércol de los que pueden obtenerse combustibles gaseosos como el biogás.

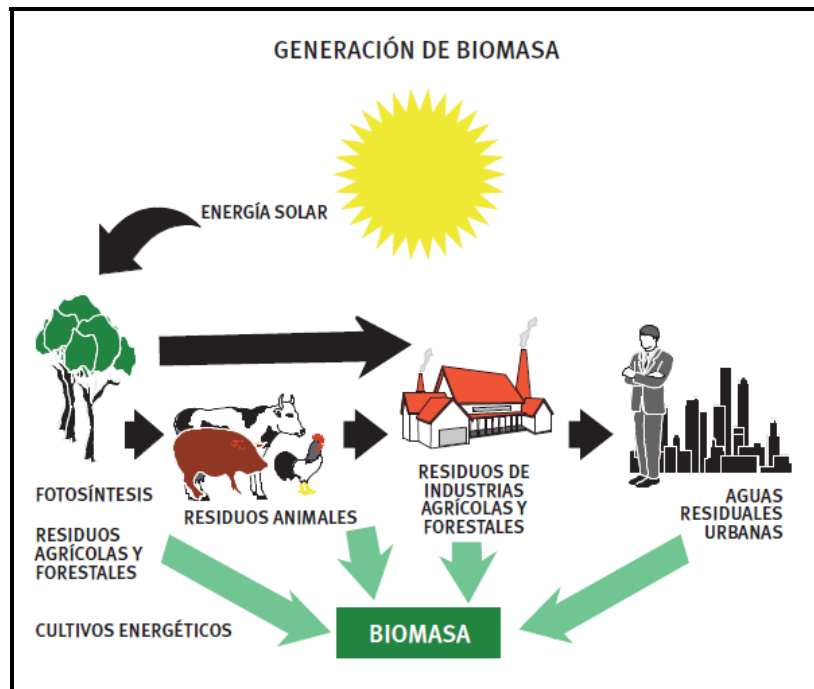


Figura 1-1 Origen de la biomasa
Fuente: Instituto para la Diversión y Ahorro de la Energía

A continuación se presenta una clasificación que permitirá diferenciar los tipos de biomasa.

Residuos agrícolas

Para esta clasificación los residuos agrícolas se dividirán en dos grupos: en primer lugar cuando se trate de excedentes agrícolas y en segundo lugar cuando se hable de cultivos energéticos.

Se entiende por excedentes agrícolas todas aquellas materias primas que se encuentran en una situación cuya producción es mayor que su utilización. Su empleo como materia prima energética debe ser en momentos puntuales para remediar el problema de los excedentes, intentando que eso no se prolongue en el tiempo porque de lo contrario se tendrían problemas en la situación.

Por otro lado como cultivos energéticos se entienden todas aquellas especies vegetales tradicionales con gran superficie de cultivo que se pueden desarrollar tanto para uso alimentario como energético (como la caña de azúcar y las plantas oleaginosas, de las que se extraen combustibles líquidos como el bioetanol y el biodiesel).

Residuos forestales

Se originan en los tratamientos y aprovechamientos de las masas vegetales, tanto para la defensa y mejora de éstas como para la obtención de materias primas para el sector forestal (madera, resinas, etc.). Los residuos generados en las operaciones de limpieza, poda, corta de los montes pueden utilizarse para usos energéticos dadas sus excelentes características como combustibles. Con la maquinaria apropiada se puede astillar o empacar para mejorar las condiciones económicas del transporte al obtener un producto más manejable y de tamaño homogéneo.

En la actualidad, algunos inconvenientes asociados a estos residuos son: la dispersión, la ubicación en terrenos de difícil accesibilidad, la variedad de tamaños y composición, el aprovechamiento para otros fines (fábricas de tableros o industrias papeleras), las impurezas (piedra, arena, metales) o el elevado grado de humedad han impedido su utilización generalizada como biocombustibles sólidos.

Residuos ganaderos

Tradicionalmente, los residuos producidos por el ganado constituían la única fuente fertilizante de los suelos agrícolas, desafortunadamente con la aparición de los fertilizantes, los estiércoles dejan de utilizarse en gran número de cultivos, este es uno de los factores que contribuyó a la separación entre la agricultura y la ganadería.

Actualmente [11], en aquellas explotaciones intensivas que no disponen terrenos suficientes, se tiende a recoger las deyecciones en diferentes tipos de depósitos y mediante tratamientos diversos, eliminarlas o llevarlas a lugares en que puedan tener alguna utilidad .

La digestión anaerobia tiene potencial en el sector ganadero en cuanto a la reducción de la contaminación y de los patógenos, el control de los olores y la producción de la energía. Al tratarse de residuos de alto contenido en humedad, no es conveniente para su tratamiento utilizar procesos termoquímicos debido a su bajísimo rendimiento en este caso. Sin embargo, la tecnología de la digestión anaerobia, proceso de tipo biológico que se discutirá más adelante, presenta grandes ventajas para su aplicación a este tipo de biomasa.

Desechos orgánicos

Los centros urbanos generan una gran cantidad de biomasa en muchas formas, por ejemplo: residuos alimenticios, papel, cartón, madera y aguas negras. La mayoría de los países centroamericanos carecen de

adecuados sistemas para su procesamiento, lo cual genera grandes problemas de contaminación de suelos y cuencas; sobre todo por la inadecuada disposición de la basura y por sistemas de recolección y tratamiento con costos elevados de operación.

Por otro lado, la basura orgánica en descomposición produce compuestos volátiles (metano, dióxido de carbono, entre otros) que contribuyen a aumentar el efecto invernadero. Estos compuestos tienen un considerable valor energético que puede ser utilizado para la generación de energía “limpia”. En el corto y mediano plazo, la planificación urbana deberá incluir sistemas de tratamiento de desechos que disminuyan eficazmente las emanaciones nocivas de los desechos al ambiente, dándoles un valor de retorno por medio del aprovechamiento de su contenido energético, pues la mayoría de toda la basura orgánica urbana puede ser convertida en energía.

1.4 Aplicaciones energéticas de la biomasa

La biomasa consiste, principalmente, en carbono y oxígeno. También contiene hidrógeno, un poco de nitrógeno, azufre, ceniza y agua, dependiendo de la humedad relativa. Cuando ésta se quema, se efectúa una reacción química que combina su carbono con oxígeno del ambiente, formándose dióxido de carbono (CO_2) y combinando el hidrógeno con oxígeno para formar vapor de agua.

Cuando la combustión es completa, o sea la biomasa se quema totalmente, todo el carbón se transforma en CO_2 . Sin embargo, los árboles y plantas que están creciendo capturan nuevamente el CO_2 de la atmósfera y, al usar la biomasa en forma sostenible, en términos netos, no se agrega CO_2 a la atmósfera. No obstante, cuando la combustión no es completa, se forman monóxido de carbono (CO), hidrocarburos, N_2O y otros materiales. Estos sí pueden generar impactos serios en la salud de las personas, ya que también son gases de efecto invernadero, por lo que debe minimizarse su formación.

Existen dos razones por las cuales la combustión de biomasa puede resultar incompleta:

- Cuando la entrada de aire no es adecuada, pues no hay suficiente oxígeno disponible para transformar todo el carbono en CO_2 . Esto puede ser causado por el diseño inadecuado del equipo, la falta de ventilación y la sobrecarga con el combustible.
- Cuando la biomasa tiene una humedad alta, o sea está demasiado mojada; entonces, la temperatura de combustión no es suficientemente elevada como para completar las reacciones químicas.

Ahora bien al aplicar los diferentes procesos de conversión, la biomasa se puede transformar en diferentes formas de energía:

- Calor y vapor: es posible generar calor y vapor mediante la combustión de biomasa o biogás. El calor puede ser el producto principal para aplicaciones en calefacción y cocción, o puede ser un subproducto para la generación de electricidad en ciclos combinados de electricidad y vapor.
- Combustible gaseoso: el biogás producido en procesos de digestión anaeróbica o gasificación puede ser usado en motores de combustión interna para generación eléctrica, para calefacción y acondicionamiento en el sector doméstico, comercial e institucional y en vehículos modificados.
- Biocombustibles: la producción de biocombustibles como el etanol y el biodiesel tiene el potencial para reemplazar cantidades significativas de combustibles fósiles en muchas aplicaciones de transporte. En México [4] ya existe la primera planta piloto con fines comerciales

desarrollada por el Departamento de Física del Centro de Estudios de Energía del Instituto de Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), en colaboración con la empresa Grupo Energéticos. El biodiesel es elaborado con base en sebo de res, metanol y sosa cáustica (Vela, 2004). Este proyecto aprovecha desechos animales, por tanto el valor comercial del biodiesel se estima menor que el biodiesel derivado del petróleo.

- **Electricidad:** la electricidad generada a partir de los recursos biomásicos puede ser comercializada como “energía verde o limpia”, pues no contribuye al efecto invernadero por estar libre de emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Este tipo de energía puede ofrecer nuevas opciones al mercado, ya que su estructura de costos permitirá a los usuarios soportar mayores niveles de inversión en tecnologías eficientes, lo cual incrementará la industria bioenergética.
- **Cogeneración (calor y electricidad):** la cogeneración se refiere a la producción simultánea de vapor y electricidad, la cual se aplicaría en muchos procesos industriales que requieren las dos formas de energía. Por ejemplo en Ecatepec [7], Edo. de México se pretende implementar un proyecto de cogeneración con biogás en planta de tratamiento de “Conservas la Costeña”, JUMEX. Con capacidad a instalar de 1MW. Reducción estimada de 10 KTon en emisiones de CO₂ equivalentes/año.

Ventajas y desventajas del uso de la biomasa

- **Ventajas**

La biomasa es una fuente renovable de energía y su uso no contribuye a acelerar el calentamiento global; reduce los niveles de CO₂ y los residuos de los procesos de conversión, aumentando los contenidos de carbono de la biosfera.

La captura del metano de los desechos agrícolas y los rellenos sanitarios, y la sustitución de derivados del petróleo, ayudan a mitigar el efecto invernadero y la contaminación de los acuíferos.

Los combustibles biomásicos contienen niveles insignificantes de azufre y no contribuyen a las emanaciones que provocan “lluvia ácida”.

La combustión de biomasa produce menos ceniza que la de carbón mineral y puede usarse como insumo orgánico en los suelos.

La conversión de los residuos forestales, agrícolas y urbanos para la generación de energía reduce significativamente los problemas que trae el manejo de estos desechos.

La biomasa es un recurso local que no está sujeto a las fluctuaciones de precios de la energía, provocadas por las variaciones en el mercado internacional de las importaciones de combustibles. En países en desarrollo, su uso reduciría la presión económica que impone la importación de los derivados del petróleo.

El uso de los recursos de biomasa puede incentivar las economías rurales, creando más opciones de trabajo y reduciendo las presiones económicas sobre la producción agropecuaria y forestal.

Las plantaciones energéticas pueden reducir la contaminación del agua y la erosión de los suelos; así como a favorecer el mantenimiento de la biodiversidad.

▪ Desventajas

Por su naturaleza, la biomasa tiene una baja densidad relativa de energía; es decir, se requiere su disponibilidad en grandes volúmenes para producir potencia, en comparación con los combustibles fósiles, por lo que el transporte y manejo se encarecen y se reduce la producción neta de energía. La clave para este problema es ubicar el proceso de conversión cerca de las fuentes de producción de biomasa, como aserraderos, ingenios azucareros y granjas, donde los desechos de aserrío, el bagazo de caña y las excretas de animales están presentes.

Su combustión incompleta produce materia orgánica, monóxido de carbono (CO) y otros gases. Si se usa combustión a altas temperaturas, también se producen óxidos de nitrógeno. A escala doméstica, el impacto de estas emanaciones sobre la salud familiar es importante.

La producción y el procesamiento de la biomasa pueden requerir importantes insumos, como combustible para vehículos y fertilizantes, lo que da como resultado un balance energético reducido en el proceso de conversión. Es necesario minimizar el uso de estos insumos y maximizar los procesos de recuperación de energía.

Aún no existe una plataforma económica y política generalizada para facilitar el desarrollo de las tecnologías de biomasa, en cuanto a impuestos, subsidios y políticas que cubren, por lo general, el uso de hidrocarburos. Los precios de la energía no compensan los beneficios ambientales de la biomasa o de otros recursos energéticos renovables.

El potencial calórico de la biomasa es muy dependiente de las variaciones en el contenido de humedad, clima y la densidad de la materia prima.

Métodos de conversión de la biomasa en energía

Para poder realizar una estimación técnica y económica de un proceso de conversión de biomasa en energía, es necesario considerar ciertos parámetros y condiciones que la caracterizan para determinar el proceso de conversión más adecuado y que nos permita realizar proyecciones de los beneficios económicos y ambientales esperados.

Los recursos biomásicos se presentan en diferentes estados físicos que determinan la estimación técnica y económica de los procesos de conversión energética que pueden aplicarse a cada tipo en particular. Por ejemplo, los desechos forestales indican el uso de los procesos de combustión directa o procesos termoquímicos; los residuos animales y desechos orgánicos indican el uso de procesos anaeróbicos, mismos que identificaremos como procesos bioquímicos.

Métodos termoquímicos

Cuando la biomasa es quemada bajo condiciones controladas, sin hacerlo completamente, su estructura se rompe en compuestos gaseosos, líquidos y sólidos que pueden ser usados como combustible para generar calor y electricidad. Dependiendo de la tecnología, el producto final es un combustible sólido, gaseoso, o combustible líquido.

Los procesos termoquímicos de conversión se basan en someter los combustibles biomásicos a la acción de altas temperaturas y pueden dividirse en tres amplias categorías, dependiendo de que el calentamiento se lleve a cabo con exceso de aire (combustión), en presencia de cantidades limitadas de aire (gasificación) o en ausencia completa del mismo (pirólisis). Los materiales más idóneos para su

conversión termoquímica son los de bajo contenido en humedad y alto en lignocelulosa, tales como madera, paja, bagazo, residuos agrícolas y cáscaras en general.

Proceso de Conversión	Producto	Uso Final
Combustión Directa	Gases de Combustión (8000-9000 kCal/kC biomasa)	Estufas, hornos, calderas
Pirólisis	Gases Combustibles (4000-6000 kCal/m ³)	Hornos, calderas
	Aceite Combustibles (8000-9000 kCal/Kg)	Hornos, calderas, motores
	Carbón Vegetal (8000-9000 kCal/Kg)	Estufas, hornos, calderas
Gasificación	Gases Combustibles (1000-2000 kCal/m ³)	Hornos, calderas, motores y turbinas a gas.

Tabla 1-1 Procesos Termoquímicos de conversión de la biomasa en energía
Fuente: Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM

Combustión Directa

La combustión directa [18] se define como la reacción química entre un combustible y el comburente (aire) con la finalidad de producir energía calorífica. Los elementos básicos de un equipo de combustión son el horno y el quemador; la combinación de ambos proporcionan los cuatro elementos básicos de la combustión directa: mezcla íntima de combustible y comburente, admisión de cantidades suficientes de comburente para quemar por completo el combustible, temperatura suficiente para encender la mezcla de combustible y aire, y tiempo de residencia necesario para que la combustión sea completa.

Gasificación

La gasificación [18] es un proceso térmico que permite la conversión de un combustible sólido, tal como la biomasa en un combustible gaseoso, mediante un proceso de oxidación parcial. El gas resultante contiene monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrógeno (H), metano (CH₄), alquitrán, agua y pequeñas cantidades de hidrocarburos tales como el etano.

Pirólisis

El proceso de pirólisis consiste en la descomposición de la materia orgánica por la acción del calor y en ausencia de oxígeno, aproximadamente a unos 500 °C. Se utiliza desde hace mucho tiempo para producir carbón vegetal y también conlleva a la liberación de un gas pobre, mezcla de monóxido y dióxido de carbono, de hidrógeno y de hidrocarburos ligeros. Este gas de bajo poder calorífico, puede servir para accionar motores de diesel, producir electricidad o mover vehículos. Una variante de la pirólisis, llamada pirólisis flash, llevada a 1000 °C en menos de un segundo, tiene la ventaja de asegurar una gasificación casi total de la biomasa [11].

Métodos Biológicos

Estos procesos utilizan las características bioquímicas de la biomasa y la acción metabólica de organismos microbiales para producir combustibles gaseosos y líquidos. Son más apropiados para la conversión de biomasa húmeda en comparación con los procesos termoquímicos.

En la Figura 1-2, se puede observar una subdivisión de desechos orgánicos para el proceso de fermentación aerobia y el proceso de digestión anaerobia, mismos procesos que serán descritos a continuación.

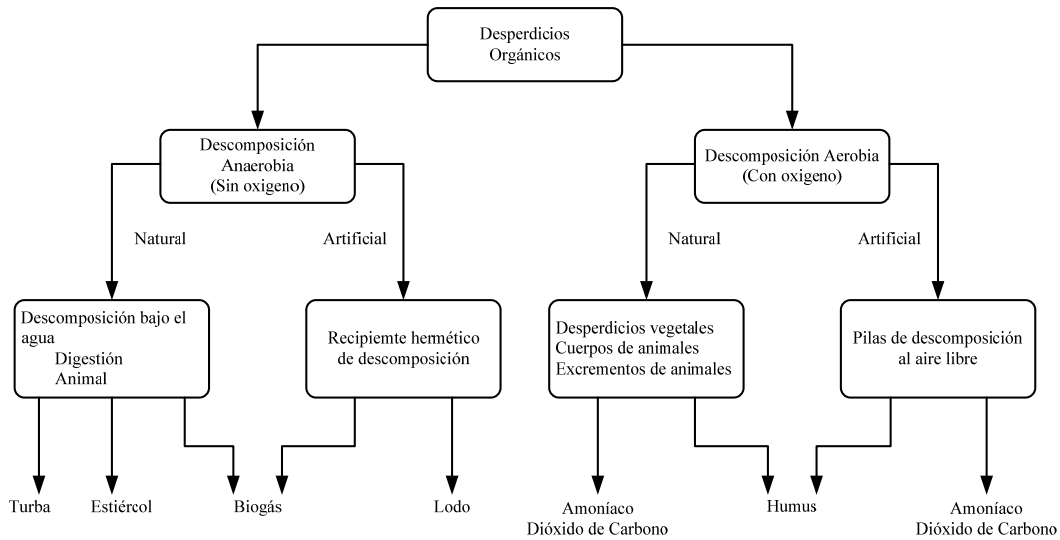


Figura 1-2 Productos finales de la descomposición de desperdicios orgánicos

Fuente: Methane Digester for Fuel Gas and Fertilizer, 1973, p.2

Fermentación Aerobia

La descomposición aerobia se produce naturalmente en la descomposición de restos de los animales depositados en la tierra, hojas y ramas secas, plantas muertas y cuerpos de animales muertos. El producto de esta descomposición es el humus, un material negrozco o de color oscuro cuyos principales constituyentes de valor fertilizante son compuestos de nitrógeno, fósforo y potasio; junto con gases, amoníaco y dióxido de carbono que se arrojan a la atmósfera.

La fermentación aerobia es una técnica empleada desde tiempos antiguos con azúcares, que puede utilizarse también con la celulosa y el almidón, a condición de realizar una hidrólisis previa (en medio ácido) de estas dos sustancias. Pero la destilación, que permite obtener alcohol etílico prácticamente anhidro, es una operación muy costosa en energía. En estas condiciones la transformación de la biomasa en etanol y después de la utilización de este alcohol en motores de explosión interna, tienen un balance energético global dudoso.

Digestión Anaerobia

La digestión anaerobia consiste en la descomposición de material orgánico por bacterias en condiciones libres de oxígeno. A pesar de que tiene lugar de modo natural en sistemas digestivos, así como en vertederos, cenagales, y tanques sépticos, el término normalmente describe una operación acelerada artificialmente en contenedores cerrados.

Si bien la mayor fuente de materia prima para la digestión anaerobia consiste en estiércol animal y residuos de cultivos derivados de la producción de alimentos, el proceso puede ser utilizado para el tratamiento de un gran número de materiales biodegradables, tales como papel usado, restos alimenticios, lodo de aguas residuales, abono animal y residuos urbanos o industriales, especialmente de las industrias agroalimentarias de las cuales, debe tomarse en cuenta su contenido en sólidos y composición química.

Durante la digestión anaerobia [3] se produce biogás, compuesto de metano (50% - 80%) y dióxido de carbono (20% - 50%), así como de pequeños niveles de otros gases tales como hidrógeno, monóxido de carbono, nitrógeno, oxígeno y sulfuro de hidrógeno. La cantidad de gas producido varía con el tipo y la

cantidad de materia orgánica suministrada al digestor. Diferentes tipos de bacterias y los productos que ellas fabrican permiten distinguir cuatro fases principales:

- a. Hidrólisis, en la cual las bacterias descomponen las moléculas orgánicas compuestas en azúcares, aminoácidos y ácidos grasos.
- b. Acidogénesis, en la cual las bacterias fermentativas convierten a los azúcares, aminoácidos y ácidos grasos en ácidos orgánicos, alcoholes y quetonas, acetato, dióxido de carbono, amoníaco y sulfuro de hidrógeno.
- c. Acetogénesis, en la cual los productos de la acidogénesis son digeridos adicionalmente para producir acetato, hidrógeno y dióxido de carbono.
- d. Metanogénesis, la cual concierne la conversión de acetato, hidrógeno y dióxido de carbono en metano, dióxido de carbono y agua.

Estos cuatro grupos de bacterias (hidrolíticas, acetanógenas, acidógenas y metanógenas), se asocian siempre a los fermentadores metánicos.

▪ **Aprovechamiento energético del estiércol del ganado**

El estiércol de ganado porcino, bovino, caprino, y aves de corral, entre otros, puede aprovecharse para la producción de biogás y consecuentemente para la producción de energía eléctrica.

Otra forma de aprovechamiento del biogás es por medio de la combustión del metano para obtener agua caliente o calefacción. Esta situación es la que se produce en planteles pequeños con poca cantidad de biomasa disponible.

Además del biogás, el proceso de digestión anaerobia deja como residuo un lodo compuesto por el material no atacado por las bacterias y por el material digerido por éstas. Este lodo, conocido también como el efluente, constituye un fertilizante orgánico de muy buena calidad.

El fertilizante obtenido en la planta de biogás tiene características superiores al abono con estiércol fresco debido a que no se pierden los nutrientes. Puede competir con los fertilizantes químicos permitiendo un ahorro en la aplicación de otros abonos convencionales, sin disminuir la productividad de los cultivos. No deja residuos tóxicos en el suelo y además aumenta la productividad en comparación con suelos no abonados. Puede ser utilizado puro o como aditivo de origen orgánico de alta calidad, o como correctivo de la acidez en los suelos.

El bioabono sólido o líquido no emana malos olores a diferencia del estiércol fresco. Tampoco atrae moscas y puede aplicarse directamente a los cultivos en forma sólida o líquida, en las cantidades recomendadas.

Como biofertilizante puro, presenta una concentración de nutrientes relativamente alta, y a pesar de esta característica, puede ser aplicado directamente a los cultivos. Se lo utiliza también como aditivo en la preparación de soluciones nutritivas para cultivos hidropónicos. Las ventajas de la utilización del bioabono como fertilizante son enormes, no solo por su bajo costo sino más bien por los excelentes resultados que se obtienen en la producción agrícola de todo tipo de cultivos.

▪ **Tecnologías para el aprovechamiento del biogás**

El biogás también puede ser utilizado para iluminación, calefacción y como reemplazo de la gasolina o diesel de motores de combustión interna (M.C.I.) y Turbinas a gas (TG). Con respecto a los M.C.I. algunos fabricantes han utilizado el mismo diseño del motor básico para funcionamiento con gas natural y diesel. Simplemente hubo que añadir pequeñas modificaciones. Éstas se limitan principalmente al ajuste del turbocompresor, regulación de ignición y de control de gas. Debido a esto hoy en día es común quemar biogás en M.C.I. a partir de los cuales se puede producir energía eléctrica utilizando un generador. Una de las experiencias prácticas para generación de energía eléctrica con biogás [11] es el empleo de TG tanto para sistemas a gran escala como los son los ciclos combinados hasta pequeñas y modernas plantas con microturbinas de gas (200 kW y menores) pero su eficiencia eléctrica es baja de 16 -18 %.

▪ **Producción del biogás para generar energía eléctrica**

El biogás, que es la mezcla de gases resultantes de la descomposición de la materia orgánica realizada por la acción bacteriana en condiciones anaerobias, tiene como principales componentes el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂). Cabe mencionar que la composición varía de acuerdo a la siguiente tabla:

GAS	%
Metano, CH ₄	40-70
Dióxido de carbono, CO ₂	30-60
Sulfuro de Hidrógeno, H ₂ S	0-3
Hidrógeno, H ₂	0-1

Tabla 1-2 Composición de biogás
Fuente: Werner (1989): "Biogás plants in animal husbandry"

En México el proyecto de biogás de Nuevo León [6], representa la primera experiencia a nivel nacional, sobre el aprovechamiento del biogás emitido por la basura dispuesta en rellenos sanitarios, para la generación de 52 GWh de energía eléctrica y la mitigación de emisiones de 34 m³/min de CH₄. Algunos objetivos específicos de este proyecto son demostrar esta tecnología y que sirva de modelo para reproducirlo en otras ciudades de México y América Latina.

La planta fue diseñada con tecnología de punta en forma modular para facilitar su instalación, operación, mantenimiento y flexibilidad para futuros incrementos de capacidad. Comprende dos sistemas principales: el primero es una red de captación de biogás y que se ha estimado proveerá materia prima para operar la planta al menos veinte años. El segundo sistema corresponde a la central de producción de energía eléctrica compuesta por siete motogeneradores de 1.06 MW cada uno y siete transformadores de 1200 kVA.

1.5 Sistemas energéticos de generación de electricidad y calor

La conversión energética de la biomasa en energía térmica y/o eléctrica se logra mediante la combustión. Este proceso de conversión es una reacción química de oxidación entre la biomasa y el comburente (aire) que produce energía calorífica. Los elementos básicos de un equipo de combustión son el horno y el quemador; la combinación de ambos proporciona los cuatro elementos básicos de la combustión: mezcla íntima de combustible y comburente, admisión de cantidades suficientes de comburente para quemar por completo el combustible, temperatura suficiente para encender la mezcla de combustible y aire, y tiempo de residencia necesaria para que la combustión sea completa.

Energía térmica

El sistema mas extendido para este sistema de aprovechamiento esta basado en la combustión de biomasa sólida para producir ya sea un flujo de gases calientes, aire caliente, agua caliente o vapor de agua. Las aplicaciones más comunes son la producción de vapor de agua para diversos usos: esto puede ser en la industria forestal, la de papel, la cementera, la química u otras. En la obtención de vapor de agua, se aprovecha el calor contenido en los gases de combustión resultantes del proceso de oxidación de la biomasa mediante un sistema de transferencia de calor efectuado dentro del cuerpo de la caldera.

El vapor se puede obtener a diferentes condiciones de presión y temperatura dependiendo de los usos que se le vaya a dar. La energía térmica se utiliza fundamentalmente en procesos de calefacción (usos domésticos y agropecuarios, granjas e invernaderos) e industriales.

Energía eléctrica

La generación eléctrica permite el aprovechamiento de biomasa, la que con su combustión genera vapor a alta presión. Éste se expande en una turbina y acciona un alternador. Las turbinas de vapor pueden ser a contrapresión, de extracción – condensación y de condensación.

Cogeneración

La cogeneración es la producción conjunta de energía eléctrica y de energía térmica aprovechable en forma de gases o líquidos calientes, a partir de una sola fuente energética.

Para efectos legales en México, los procesos de cogeneración quedan definidos en el artículo 36, fracción II, de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

En el reglamento de la Ley mencionada en su artículo 130 puntualiza que se entiende por cogeneración a la:

- a. Producción de energía eléctrica conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o ambas.
- b. Producción directa o indirecta de energía eléctrica a partir de energía térmica no aprovechada en los procesos de que se trate.
- c. Producción directa o indirecta de energía eléctrica utilizando combustibles producidos en los procesos de que se trate.

En los sistemas de cogeneración, la energía empleada para generar la energía eléctrica y térmica es mucho menor a la utilizada en los sistemas convencionales de generación de energía eléctrica y térmica por separado, es decir, que de un 100% de energía contenida en el combustible, en una termoeléctrica convencional sólo 33% se convierte en energía eléctrica, el resto, se pierde a través del condensador, los gases de escape, las pérdidas mecánicas y las pérdidas eléctricas por transformación y transmisión.

En los sistemas de cogeneración se llega a aprovechar hasta un 71.5% de la energía contenida en el combustible para la generación de energía eléctrica y calor al proceso.

La Secretaria de Energía determina las siguientes tecnologías de cogeneración y micro-cogeneración, clasificándolas de la siguiente manera:

Cogeneración	Micro-cogeneración
Turbinas a gas (1.5 – 20 MW)	Microturbinas (30 – 200 kW)
Turbinas a vapor (1.5 – 40 MW)	Celdas de combustible (10 – 200 kW)
Motores reciprocantes (0.5 – 20 MW)	Motores reciprocantes (15 – 500 kW)

En términos generales, los beneficios potenciales de la cogeneración son ampliamente reconocidos. Estos se pueden enfocar desde el punto de vista de los intereses nacionales como los intereses propios:

- a. Ahorros de energía primaria: incrementando la capacidad de cogeneración en la industria, puede ayudar a reducir el consumo de combustibles que actualmente se usan en las plantas de generación de potencia.
- b. Incremento de la eficiencia de distribución: las pérdidas por transformación y distribución disminuyen al tener a los sistemas generadores ubicados en los centros de consumo.
- c. Difiere las inversiones requeridas en ampliar la capacidad instalada en el país.
- d. Con los sistemas de cogeneración industrial se disminuye el crecimiento de la demanda, por lo que el crecimiento de la oferta se puede realizar más lentamente, lo que implica disminuir la velocidad de construcción de nuevas plantas generadoras.
- e. Reduce emisiones globales: al disminuir globalmente el uso de energía primaria, produce que las emisiones derivadas de la combustión de combustibles fósiles disminuya.
- f. Reducción de los costos de energía: al utilizar el calor para la generación de potencia, los costos de la compra de energía eléctrica disminuyen considerablemente. Se ha estimado que la reducción en la facturación energética total puede alcanzar hasta un 50%.
- g. Más confiabilidad en el suministro de energía: generando su propia energía, en su propia planta, le da más confiabilidad y autosuficiencia a su suministro de energía.
- h. Mejora en la calidad de la energía suministrada: se puede corregir inmediatamente cualquier desviación, fuera de lo normal, del voltaje o la frecuencia.

A pesar de las grandes y muchas ventajas que tiene la utilización de la cogeneración, existen una serie de inconvenientes que se necesitan tomar en consideración antes de decidir la realización de un proyecto en específico. Los principales de estos son:

- a. Los sistemas de cogeneración requieren de una inversión substancial, que muchas compañías no están en disposición de invertir por tratarse de un proyecto que no incrementa su capacidad de producción, aunque sea altamente favorable.
- b. Los sistemas de cogeneración pueden llegar a ser complejos en su diseño, instalación y operación.
- c. En algunos proyectos su economía puede ser muy sensible a los costos de energía eléctrica y de los combustibles, los cuales son impredecibles, aunque la tendencia normal es hacia el alza, por lo menos en el mediano plazo.

Conceptos básicos

Electricidad

La electricidad [12] es un conjunto de fenómenos físicos referentes a los efectos producidos por las cargas eléctricas, tanto en reposo como en movimiento. La electricidad se puede definir como el movimiento de cargas eléctricas llamadas electrones. Este rubro incluye la energía eléctrica generada por el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) y los Productores Independientes de Energía (PIE).

Corriente Eléctrica

La corriente eléctrica es el flujo continuo y controlado de electrones en un circuito eléctrico. La corriente eléctrica generalmente es clasificada en dos tipos: Corriente Directa y Corriente Alterna [13].

- **Corriente Directa.** La corriente directa (CD), también conocida como corriente continua, siempre fluye en la misma dirección. Los electrones fluyen en una sola dirección pues la polaridad del

voltaje o de la fuente de la FEM es la misma; una de las terminales o polos de la batería es siempre positivo y el otro negativo [13].

- **Corriente Alterna.** Una fuente de corriente alterna produce un voltaje que generalmente se va alternando, aumentando desde cero hasta un máximo positivo y decreciendo desde este máximo hasta cero, para volver a aumentar hasta un valor máximo negativo y decrecer hasta llegar nuevamente a cero, a esta variación completa se le llama ciclo. La corriente alterna (CA) es un tipo de corriente cuya polaridad se invierte periódicamente [13].

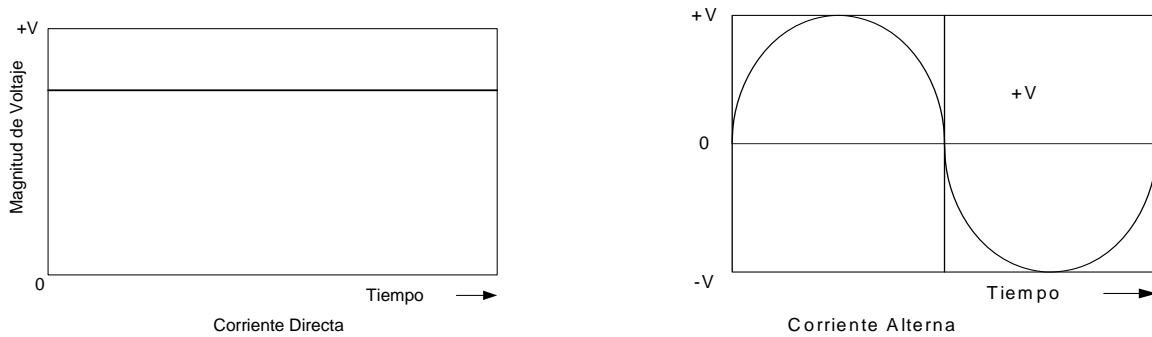


Figura 1-3 Representación gráfica de la Corriente Directa y Corriente Alterna
Fuente: Manual de Técnico de Instalaciones Eléctricas baja tensión, CONDUMEX

Energía

La energía es la capacidad potencial que tienen los cuerpos para producir trabajo o calor, y se manifiesta mediante un cambio [10].

Fuentes de energía

Las fuentes de energía son aquellas que producen energía útil directamente o por medio de una transformación y se clasifican en primarias y secundarias [12].

Energía Primaria

Corresponde a las distintas fuentes de energía tal y como se obtienen de la naturaleza, ya sea en forma directa o después de un proceso de extracción.

Los recursos energéticos se usan como insumo para obtener productos secundarios o se consumen en forma directa, como es el caso de la leña, el bagazo de caña y una parte del gas natural no asociado. Dentro de las energías primarias, tenemos: carbón mineral, petróleo crudo, condensados, gas natural, nucleenergía, hidroenergía, geoenergía, energía eólica, bagazo de caña y leña [12].

Energía Secundaria

Son energéticos derivados de las fuentes primarias y se obtienen en los centros de transformación, con características específicas para su consumo final. Estos productos son coque de carbón, coque de petróleo, gas licuado de petróleo, gasolinas y naftas, querosenos, diesel, combustóleo, productos no energéticos, gas seco y electricidad [12].

Eficiencia

La eficiencia E, de una máquina se define como la relación del trabajo de salida entre el trabajo de entrada [10].

$$E = \frac{\text{Trabajo de salida}}{\text{Trabajo de entrada}} \quad \text{Ecuación 1-1}$$

Calidad de la energía

El suministro de energía eléctrica debe realizarse con una calidad adecuada para que los aparatos que utilizan la energía eléctrica funcionen correctamente. La calidad del suministro de energía eléctrica queda definida por los siguientes tres factores: continuidad en el servicio, regulación del voltaje y control de frecuencia.

Elementos que componen la calidad en la energía:

- Magnitud de la tensión
- Magnitud de la corriente
- Frecuencia
- Tiempo de interrupción de la energía
- Transitorios en voltaje
- Contenido armónico

a) Continuidad del servicio

En la actualidad la energía eléctrica ha adquirido tal importancia que una interrupción de suministro causa trastornos y pérdidas económicas insoportables.

Para asegurar la continuidad en el suministro deben tomarse las disposiciones necesarias para hacer frente a una falla en algún elemento del sistema. A continuación se mencionan [19] las principales disposiciones:

- i) Disponer de la reserva de generación adecuada para hacer frente a la posible salida de servicio o indisponibilidad, de cierta capacidad de generación.
- ii) Disponer de un sistema de protección automático que permita eliminar con la rapidez necesaria cualquier elemento del sistema que ha sufrido una avería.
- iii) Diseñar el sistema de manera que la falla y desconexión de un elemento tenga la menor repercusión posible sobre el resto del sistema.
- iv) Disponer de los circuitos de alimentación de emergencia para hacer frente a una falla en la alimentación normal.
- v) Disponer de los medios para un restablecimiento rápido del servicio, disminuyendo así la duración de las interrupciones, cuando éstas no han podido ser evitadas.

Problemas de la calidad de la energía

- Operación errática de equipo
- Calentamiento de conductores de fase y neutros, así como en equipos
- Subidas y bajadas de voltaje
- Fallas prematuras de equipos
- Disparos de interruptores
- Interrupción del proceso de producción

b) Regulación del voltaje

La mayoría de los aparatos que funcionan con energía eléctrica están diseñados para operar a un voltaje determinado y su funcionamiento será satisfactorio siempre y cuando el voltaje no varíe más allá de ciertos límites. Una variación de $\pm 5\%$ del voltaje en los puntos de utilización, con respecto al voltaje nominal, se considera satisfactoria; una variación de $\pm 10\%$ se considera tolerable.

c) Control de la frecuencia

Los sistemas de energía eléctrica funcionan a una frecuencia determinada, dentro de cierta tolerancia. No se ha llegado a una normalización internacional; los países de Europa, la mayor parte de los de Asia y África y algunos de Sudamérica han adoptado una frecuencia de 50 Hz. En Estados Unidos y otros países del continente americano, los sistemas eléctricos funcionan a 60 Hz. En algunos países, como Japón, coexisten todavía sistemas de 50 y 60 Hz. En México, donde se daba esa misma circunstancia, se terminó en la unificación de frecuencia de todos los sistemas de energía eléctrica a 60 Hz en 1976.

Armónicas

Se refiere a las frecuencias enteras o múltiplos de números enteros de frecuencias fundamentales.

En los sistemas la frecuencia fundamental se combina con ondas sinusoidales armónicas formando ondas distorsionadas repetitivas no sinusoidales. En los sistemas de potencia los voltajes o corrientes armónicos son múltiplos de la fundamental estando presentes en la forma de onda distorsionada creada por cargas no lineales.

Cada armónica tiene: nombre, frecuencia, Secuencia y no se generan armónicas de números pares debido a que no hay componente de CD ya que la forma de onda positiva y negativa son iguales.

El resto de las armónicas ocurren en 3 secuencias:

- En términos de los efectos de su rotación de favor
- Armónicas de sec + y fundamentales giran en sentido directo en un motor hacen que rote hacia adelante.
- Armónicas de sec – cancelan el campo magnético de la fundamental gira en sentido reverso.
- Sec 0 conocidas como secuencias triples no rotan, ellas se unen a la corriente que circula por el neutro en un sistema 3F 4H.
- La mayoría de las armónicas en el neutro se deben a la 3ª armónica.
- Los efectos de las armónicas que se encuentran en los equipos de distribución se deben a las cargas que alimentan monofásicas y trifásicas.

Armónicas de cargas monofásicas no lineales por tomas de corriente producen calentamiento en neutros y barras colectoras provocando en los centros de carga los disparos de interruptores ya se por calentamiento o por frecuencias superiores a 60 Hz.

Peligro en el neutro al disminuirlo de sección por sobrecalentamiento por que no lleva interruptor que limiten la corriente. Corrientes altas en el neutro pueden producir caídas de voltaje más altas de lo normal.

Ubicación de los problemas de armónicas:

1. Ubicar cargas no lineales: computadoras, impresoras, balastos electrónicos de iluminación, dimmers, motores de velocidad variable y controles de calefacción de estado sólido.

2. Ubicar transformadores que alimentan cargas no lineales y ver si están sobrecalentados. Medir corriente en fases y neutro del secundario del transformador con un instrumento que mida rms verdadero comparar corriente en el neutro con la corriente estimada de desequilibrio. Si la corriente es alta probablemente las armónicas de frecuencia triple estén presentes.
3. Medir la frecuencia del neutro si = 180 Hz implica 3ª armónica
4. Comparar corrientes de fase con la corriente de kVA de placa. La corriente mayor de cualquiera de las fases que no debe superar el valor calculado.
5. Analizar los circuitos derivados que alimentan las cargas no lineales. Medir la corriente de cada neutro derivado y comparar con el valor nominal para el tipo del cable utilizado.
6. Verificar barra colectora observar si hay decoloración o calentamiento

Medidas para reducir la presencia de armónicas en las instalaciones:

- Determinar con las cargas de corriente para equipos conocidos con un medidor rms verdadero y proyectar con éstas.
- Reducir el número de receptáculos por circuito.
- Poner neutros sobredimensionados.
- Conductores de alimentación.
- Centros de carga sobredimensionados o centros de carga para cargas no lineales.
- Interruptores diseñados para armónicas.
- Transformadores diseñados para armónicas con un factor k apropiado para la carga.
- No conectar en circuitos derivados de cargas no lineales los motores de inducción trifásicos.

Posibles soluciones para centros de carga de tomacorriente afectados por armónicas:

1. Balancear carga.
2. Redistribuir carga.
3. Poner filtros de armónicas de secuencia cero.
4. Sobredimensionar neutro.
5. Reemplazar tablero por uno para cargas no lineales.

Potencia

La potencia [10], es la rapidez con la que se realiza el trabajo.

$$P = \frac{\text{Trabajo}}{t} = \frac{J}{s} = W \quad \text{Ecuación 1-2}$$

La unidad para potencia es el Watt (W). Este es definido como 1 joule por segundo (“J/s”). Otra unidad que se usa frecuentemente es el caballo de fuerza (HP).

Un Joule y un Watt son medidas muy pequeñas comparadas con las cantidades transformadas en la mayoría de las aplicaciones energéticas. Por eso, se usan múltiplos de 1,000; por ejemplo, 1,000 watts es equivalente a 1 kilowatt o 1 kW.

Factor de Potencia

El coseno del ángulo de fase θ , entre el voltaje y la corriente, se llama *factor de potencia*. Se dice que un circuito inductivo tiene un factor de potencia en atraso y en un circuito capacitivo lo tiene en adelanto. En otras palabras, los términos factor de potencia en atraso y factor de potencia en adelanto indican si la corriente atrasa o adelanta el voltaje aplicado, respectivamente.

Tecnologías de generación

En México, el aprovechamiento de la biomasa mediante procesos de combustión se limita al empleo del bagazo de caña en ingenios azucareros y para producir vapor en la industria de aserrío. Existe alguna experiencia en la utilización de calderas para producción de electricidad mediante el uso de residuos forestales, principalmente en los estados de Durango y Chihuahua [6].

Se pueden distinguir varios tipos de calderas para la combustión de biomasa. Las más empleadas son las de tipo pirotubulares o acuotubulares, con parrillas fijas o móviles, para la quema de combustible en pilas (generalmente residuos de madera o bagazo de caña).

En la tabla 1-3 se presentan los tipos de tecnologías empleadas en el proceso de combustión, gasificación y pirólisis.

METODOS TERMOQUÍMICOS				
Proceso de Conversión	Materia Prima	Tecnología	Capacidad	Producto obtenido
Combustión	Residuos Forestales: Leña Aserrín	Mediana Escala Calderas pirotubulares Calderas acuotubulares Calderas de lecho fluidizado Quemadores de pilas Quemadores de ciclon Quemadores de astillas Quemadores de pellets	Eléctrica 0.5 – 5 MW 5 – 12 MW 12 – 25 MW = 25 MW Térmica 450 kW 600 kW 750 kW	Energía Eléctrica Energía Eléctrica Energía Eléctrica Energía Eléctrica Energía Térmica Energía Térmica Energía Térmica
		Pequeña Escala Estufas domésticas Hornos de ladrillos cerámicos.	Térmica 3 – 5 kW 5 – 15 kW	Energía Térmica Energía Térmica
Gasificación	Residuos Forestales: Leña Aserrín	Gran y mediana escala: Gasificador de tiro invertido Gasificador de tiro invertido	Térmica 1.4 MW 44 MW	Energía Eléctrica Energía Eléctrica
		Pequeña Escala Gasificadores para camiones Gasificador de tiro invertido	Térmica 0.04 MW 0.032 MW	Combustible gas Energía Eléctrica
Pirólisis	Residuos Forestales: Leña Aserrín	Hornos para pirólisis con: Sistema de Torrax o Sistema de Landgar	164 MW (320,000 ton/año) 77 MW (150, 000 ton/año) 46 MW (90, 000 ton/año)	Combustible gas Combustible gas
		Sistema Hidrógeno	6.4 MW (2, 790 m ³ /h)	Hidrógeno

Tabla 1-3 Tipos de tecnologías en los procesos termoquímicos
Fuente: Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM

En los procesos biológicos podemos encontrar tecnologías para la obtención de etanol, biodiesel y biogás. La tecnología empleada para la obtención de etanol corresponde a grandes plantas industriales conformadas por un gran número de equipos, entre los cuales cabe destacar los siguientes: molinos, equipos de conversión, fermentadores, equipos auxiliares, columnas de destilación, secadores y evaporadores, así como torres de enfriamiento.

Las tecnologías para la producción de biodiesel se basan en la extracción del aceite contenido en las semillas vegetales como el girasol y la soya; para obtener aceite a partir del girasol, las semillas son prensadas mecánicamente y el proceso se puede complementar mediante una extracción química que emplea solventes para aumentar el rendimiento. En el caso de la soya, el aceite es separado sólo por acción de solventes. Estos aceites permiten reemplazar el gas-oil en los motores de combustión interna, de ahí su importancia energética. También es posible producir combustible para motores diesel por transesterificación de los aceites vegetales formando lo que se ha llamado biodiesel.

La tecnología empleada en la obtención del biogás es la de digestores anaerobios, los que se pueden considerar como un sistema vivo donde sustancias complejas son transformadas, en ausencia de aire, en nutrientes simples disponibles de asimilar por células vegetales y animales.

METODOS BIOLÓGICOS				
Proceso de Conversión	Materia Prima	Tecnología	Capacidad	Producto Obtenido
Digestión Aerobia	Aceite de Soya	Plantas basadas en aceite de soya	287, 865 M/W (182, 500 ton/año)	Biodiesel
	Aceite de girasol	Semi-industrial	5, 200 M/W (3, 300 ton/año)	
		Industrial Bajo costo	34, 700 M/W (22, 000 ton/año)	
		Industrial	34, 700 M/W (22, 000 ton/año)	
	Recursos ricos en azúcares	Proceso a partir de melazas	212, 101 M/W (253.4 millones lt/año)	Bioetanol
		Procesos a partir de bagazo de caña	212, 101 M/W (253.4 millones lt/año)	
Recursos ricos en almidones		Proceso a partir de trigo Proceso a partir de maíz	167, 405 M/W (200.0 millones lt/año)	
Recursos ricos en celulosa	Proceso a partir de madera	No Disponible		
Digestión Anaerobia	Estiércol y orina	Biodigestores de geomembranas de PVC	24 m ³ /año	Biogás
	Estiércol y orina	Biodigestores de polietileno de invernadero	24 m ³ /año	Biogás
	Estiércol	Biodigestor semi-industrial	24, 638 m ³ /año (18 MW)	Biogás Vapor Electricidad
	Estiércol y residuos de maíz	Biodigestor semi-industrial	53, 271 m ³ /año (36 MW)	Biogás Vapor Electricidad
	Estiércol y residuos de alimentos	Biodigestor semi-industrial	72, 158 m ³ /año (50 MW)	Biogás Vapor Electricidad

Tabla 1-4 Tipos de tecnologías en los procesos biológicos
Fuente: Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM

Plantas de generación

Se llama planta de generación a toda estación que transforma una energía primaria dada en otra forma de energía utilizable, eléctrica en nuestro caso, cualquiera que sea la fuente de energía primaria utilizada, la clase de equipo de transformación de energía, llamada comúnmente de generación, las características de corriente y tensión obtenidas en los circuitos de utilización, las distancias de transmisión de energía y el área que cubre el suministro [4].

- **Clasificación de las plantas eléctricas**

En el estado actual de avance de la técnica en cuanto a la forma de producción de energía eléctrica y campo de utilización de la misma, las plantas de generación se clasifican en:

- a) Según la función que desempeñen dentro del Sistema Eléctrico al cual pertenecen.
- b) Según la clase de corriente que generan.
- c) Según la clase de energía primaria que transforman.

Clasificación de las plantas eléctricas			
Por la función de la planta	1. Primaria o de base 2. Secundaria 3. Auxiliar		
Por la clase de corriente empleada	1. De corriente directa 2. De corriente alterna 3. De conversión		
Por la energía primaria utilizada	1. Térmicas 2. Hidráulicas 3. De motor de explosión	Gas Vapor Vapor de reactores	Carbón Aceites Otros combustibles Diesel De gasolina De mezclas y otros combustibles

Tabla 1-5 Clasificación de plantas eléctricas
 Fuente: Centrales Eléctricas, Santo Potess E. (1989)

1.6 Conclusión

Una de las grandes ventajas del empleo de las fuentes de energía es que son recursos abundantes y si los utilizamos de forma adecuada respetando sus ciclos naturales podemos garantizar la sustentabilidad.

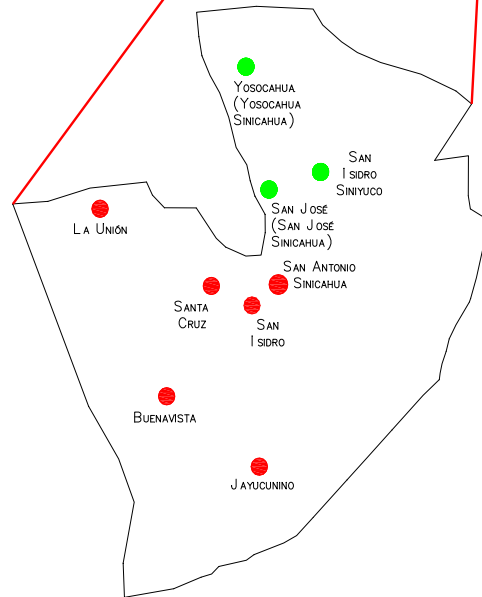
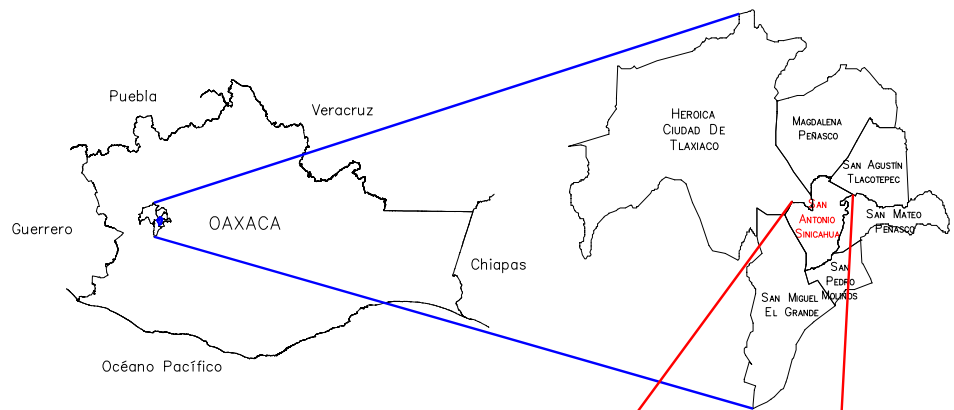
Por otro lado la producción y uso de la biomasa con fines energéticos puede alentar la participación de las comunidades a través de la creación de fuentes de empleo e inversión en el mercado rural. Lo cual sería un factor que podría reducir la pobreza si se aplicara en comunidades rurales marginadas.

El uso de la biomasa puede producir grandes beneficios ambientales, por ejemplo: se puede evitar la erosión del suelo, puede existir una regulación del ciclo hidrológico y un mejor hábitat de la fauna silvestre.

Otra ventaja del usos de la biomasa serían las plantaciones energéticas, las cuales usadas en tierras degradadas pueden rehabilitarlas logrando así una mayor fertilidad en el suelo.

El uso de desechos orgánicos en combustible, no solo genera energía, sino también trae como consecuencia grandes beneficios tales como: reducción de daños ambientales, también contribuye a que las plagas y enfermedades no aumenten, mejora el paisaje y sobre todo la calidad de vida de los habitantes.

Finalmente si utilizamos adecuadamente el uso de la bioenergía podemos contribuir a la mitigación del cambio climático actual y también se pueden captar recursos financieros mediante el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Como se describió en este capítulo el conocimiento de las diversas fuentes de energía renovable contribuye para usar de manera eficiente el uso de la energía obtenida de éstas.



CAPÍTULO 2

DISPONIBILIDAD DE RECURSOS, FACTORES GEOGRÁFICOS Y ENERGÉTICOS

2.1 Introducción

En este capítulo se describirán de forma detallada los factores geográficos con los que cuenta la comunidad de San Antonio Sinicahua, ubicada en la Mixteca Alta del Estado de Oaxaca, a su vez esta comunidad es uno de los municipios con mayor marginación en el país y forma parte de la lista de los 50 Municipios con menor Índice de Desarrollo Humano en México.

Por otro lado para poder conocer los recursos energéticos con los que cuenta la comunidad, los cuales son descritos a lo largo de este capítulo; se realizó la aplicación de una encuesta, mediante un muestreo de tipo intencional o de juicio considerando la zona norte del municipio la cual incluye las agencias de Yosocahua, San Isidro Siniyuco y San José Sinicahua.

Posteriormente se caracterizaron los desechos agrícolas, forestales, ganaderos y desechos orgánicos de la comunidad los cuales fueron evaluados mediante diversas metodologías como: el coeficiente de rendimiento del estiércol, un método de la FAO y finalmente con un software denominado RETSCREEN. Los cuales se describen de manera explícita en el transcurso de este capítulo.

De acuerdo a estos datos se realizó una propuesta sobre la tecnología de aprovechamiento óptima, para un sistema de generación que pueda proveer tanto de electricidad como de agua caliente a la comunidad, esto para satisfacer necesidades primarias y para disminuir tanto problemas ambientales como la deforestación y problemas de salud como los causados por los gases producidos por el humo de la leña que usualmente utilizan las mujeres para la cocción de sus alimentos en esta región.

La ubicación y capacidad del sistema de generación propuesto en este capítulo será el resultado de la investigación realizada, considerando la demanda de energía promedio de la comunidad y adecuándose a los insumos energéticos disponibles.

2.2 La comunidad indígena de San Antonio Sinicahua

Nombre en mixteco Sinicahua
Etimología Sini-cabeza, encima.
 Cahua-peña

Cuyo significado es: “En la cima de la peña”.

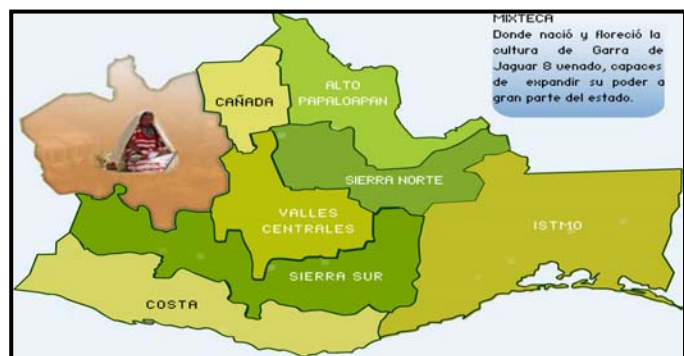


Figura 2-1 Región Geográfica del Estado de Oaxaca

Fuente: <http://www.oaxaca.com/mapreg.swf>, consultada el 04 de marzo de 2008

Este municipio también pertenece a la gran región donde se asentó la cultura Mixteca, que abarca territorios de los estados de Puebla (Mixteca Poblana), Guerrero (Mixteca de la Costa) y Oaxaca (Mixteca Alta y Baja). En esta región es donde nació y floreció la cultura de "garra de Jaguar 8 Venado", capaz de expandir su poder a gran parte del Estado.

Localización

Las coordenadas geográficas del municipio son: 17° 09' latitud norte y 97° 34' longitud oeste, se encuentra a una altitud de 2,100 msnm La superficie total del municipio es de 48.5 km², la cual representa el 0.1% de la superficie total del estado. Colinda al oriente con San Agustín Tlacotepec, al poniente con San Miguel el Grande, al norte con Magdalena Peñasco y Tlaxiaco y al sur con San Pedro Molino y San Mateo Peñasco.

La cabecera municipal es San Antonio Sinicahua, este Municipio a su vez se subdivide en pequeñas localidades llamadas agencias, y otras de nivel más pequeño denominados barrios. Las localidades de mayor importancia son las siguientes:

Buena Vista	Agencia de policía
Jayucunino	Agencia de policía
San Isidro Siniyuco	Agencia de policía
San José Sinicahua	Agencia de policía
La Unión	Agencia de policía
Yosocahua	Agencia de policía
Santa Cruz	Agencia de policía
San Isidro Centro	Barrio

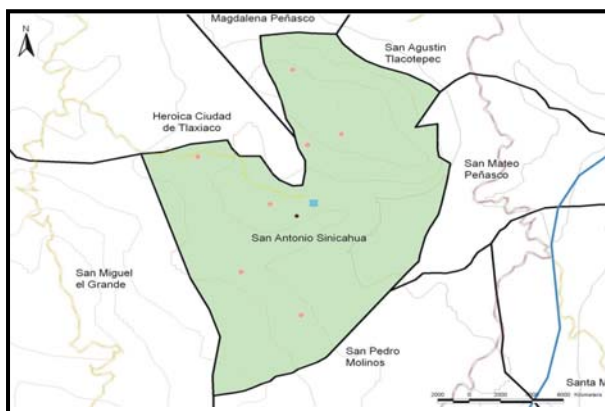


Figura 2-2 Agencias del Municipio de San Antonio Sinicahua
Fuente: DMDRS San Antonio Sinicahua, 2006

Historia de la comunidad de San Antonio Sinicahua

El municipio conocido ahora como San Antonio Sinicahua perteneció, hace más de cien años al municipio de San Mateo Peñasco (el acta constitutiva que se tiene registro en el Archivo Histórico Municipal de la H. Ciudad de Tlaxiaco es de 1843 en dicha elección quedo como presidente en la asamblea el Ciudadano Tomás de la Cruz). Este se caracterizaba por tener una abundante vegetación, rodeado de peñascos, montañas y ríos caudalosos, con rica fauna en su entorno. La comunidad habitaba en la cabecera municipal y también dispersa entre las montañas y peñasco característicos de esta región, con pendientes muy pronunciadas y de difícil acceso.

La evangelización de Los dominicos en la Mixteca y a lo largo de Oaxaca dejó arraigadas costumbres que en nuestros días siguen prevaleciendo como el “tequio”¹, el cual es una especie de servicio social comunitario que todos los habitantes deben realizar por solidaridad y ayuda a su comunidad sin ninguna paga. La principal actividad remunerada de todo el municipio fue y ha sido la elaboración de sombreros de palma, es un tejido artesanal que ha sido transmitido por generaciones.

¹ Algunos autores mencionan que el origen del tequio se remonta a periodos antes de la conquista.

Recursos hidrológicos, climáticos y vías de comunicación

▪ **Recursos hidrológicos**

El municipio de San Antonio Sinicahua pertenece a la Provincia hidrogeológica de la Sierra Madre del Sur. Esta región cubre además parte del estado de Oaxaca y abarca una gran variedad de climas. La precipitación total anual varía desde 500 mm en las zonas semiáridas, hasta 1 200 mm en la costa y 2 500 mm en las partes altas de la sierra.

El relieve y la base geológica originan diversas corrientes de agua, que son torrenciales o intermitentes. La cuenca del Balsas, cuyo río tiene el mismo nombre nace en el valle de Puebla y tiene una reducida potencialidad de escurrimiento, su régimen es errático e intermitente, así como intensas avenidas en los meses de verano. Tiene una extensión de más de 8 600 km², drenada por sus afluentes, principalmente el río Mixteco, que recorre el oeste de Tlaxiaco. En este distrito nacen los ríos Cuanana y La Labor. En el municipio se localizan 4 ríos: Yutenda, Yutendijaa, Yutetoma y Jayucunino, los cuales al unirse, forman el río Tres Cabezas, esta última forma una corriente permanente y en la temporada de lluvias, obstaculiza el acceso a la cabecera municipal y algunas agencias debido a la carencia de puentes vehiculares.

▪ **Recursos climáticos**

Clima

El clima que predomina en el municipio de San Antonio Sinicahua es Templado subhúmedo con régimen de lluvias en la estación de verano desde junio a octubre, porque en los meses más lluviosos, o sea julio y agosto, las lluvias son 10 veces más y de mayor altura que en el mes más seco (enero), que es durante el invierno.

Las lluvias se presentan de manera irregular cada año, en contraste, las sequías o el exceso de lluvia con vientos o granizadas ocasionales. La precipitación media anual: 600mm a 1000 mm ².

Vías de comunicación

La forma de trasladarse a la localidad de San Antonio Sinicahua, es por dos vías de acceso:

- La primera es directa, desde la Ciudad de Tlaxiaco pasando por la Agencia de Ojo de Agua.
- La segunda vía de acceso es de Chalcatongo, que entronca en una carretera de terracería pasando por el municipio de San Mateo Peñasco.

La mejor vía es la que atraviesa San Mateo Peñasco ya que son aproximadamente 15 minutos de terracería y lo demás de carretera federal (una hora); sin embargo, una de las limitantes en época de lluvias, es la falta de un puente que cruce el río de San Mateo que tiende a aumentar el cauce.

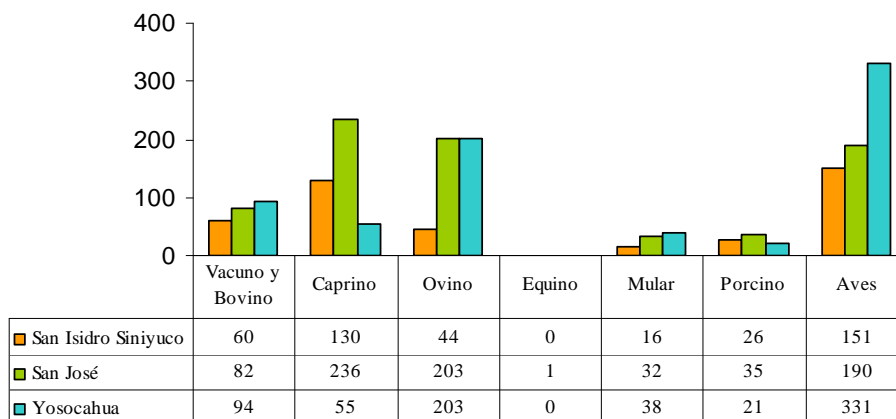
Por otro lado, el acceso por la vía Ojo de Agua, es de una a dos horas aproximadamente de terracería y, en época de lluvias, resulta resbaloso. La cabecera, las agencias, el barrio y los parajes del municipio de San Antonio Sinicahua se comunican con una red de caminos de terracería con una longitud de 33 km, lo

² http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/sintesis/oaxaca/anexocart_sige.pdf

que, en ocasiones se encuentra limitado por las temporadas de lluvia y, como consecuencia de éstas, el crecimiento de los ríos, aunado a la falta de mantenimiento.

2.3 Necesidades energéticas de la Agencia

Con base a los datos de encuestas realizadas durante las visitas realizadas a tres Agencias, San Isidro Siniyuco, San José Sinicahua y Yosocahua; pertenecientes al municipio de San Antonio Sinicahua, se obtuvo la información necesaria para poder estimar el potencial energético de la comunidad. Cabe destacar que debido a que la zona de estudio se encuentra dentro de los 50 municipios más marginados del país, de acuerdo a la lista publicada por la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), los recursos e ingresos económicos de la población son mínimos, motivo por el cual los habitantes se dedican a la agricultura y ganadería pero solo para autoconsumo. En las gráficas siguientes se estimarán los recursos totales para cada Agencia de estudio y de esta forma, de acuerdo al estudio realizado se podrá determinar la Agencia que contará con los recursos necesarios disponibles para desarrollar un sistema energético con uso de biomasa la cual será generada por dicha comunidad.

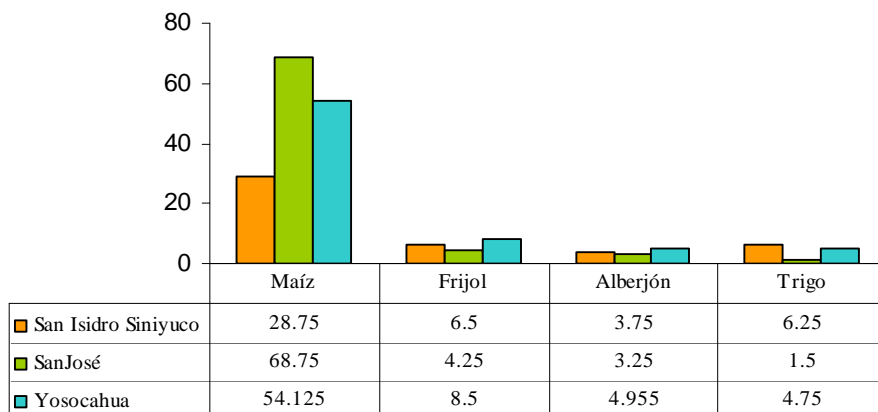


Gráfica 2-1 Total de ganado por Agencia de Estudio
Fuente: Propia

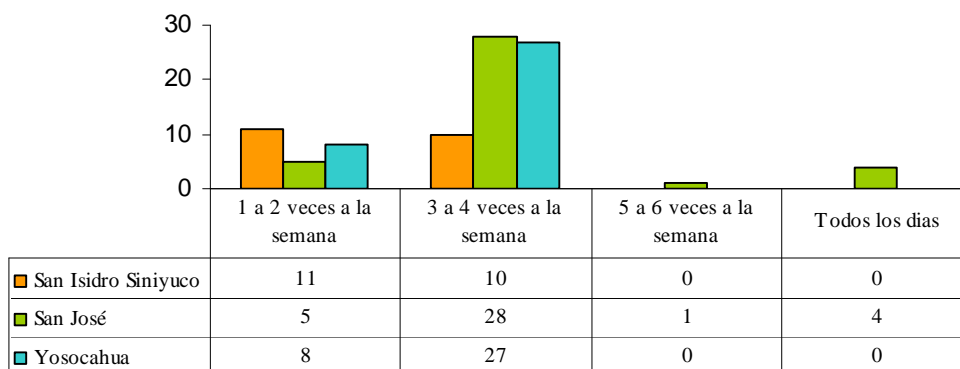
En la gráfica 2-1, se puede observar que la mayor parte de ganado está representada por la cría de aves, cabras y ovejas principalmente. En el Anexo 2 se realizó el conteo total de las encuestas realizadas para cada Agencia de estudio en la comunidad de San Antonio Sinicahua y de acuerdo a este anexo tanto la Agencia de San José y Yosocahua tienen un número considerable de animales que permitirán estimar un potencial energético adecuado de acuerdo a las características del estiércol de las especies animales, datos que se muestran explícitamente en el Anexo 1.

Por otro lado la gráfica 2-2, hace referencia a la agricultura evaluada por hectáreas para cada Agencia estudiada del municipio de San Antonio Sinicahua. Pero para fines prácticos de cálculos, este resultado es descartado, ya que es mínimo y despreciable; ya que debido a las constantes sequías en la comunidad el “zacate” generado por la cosechas es utilizado como alimento para el ganado.

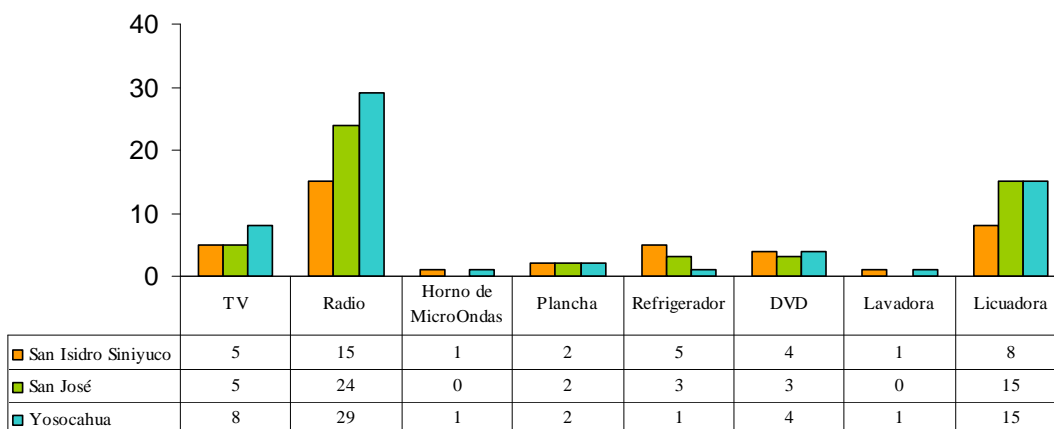
La mayor parte de la población cuenta con una letrina de tipo seca cerca de su vivienda, esto debido a la falta de drenaje en todo el municipio. Para evaluar otro tipo de factores dentro de la comunidad como higiene y salud, se preguntó a la población la frecuencia con que suelen bañarse, los resultados se muestran en la gráfica 2-3. Se puede observar que más de la mitad de la población se baña en promedio de tres a cuatro veces por semana, esto debido a la escasez de agua en la comunidad, ya que para consumo solo cuentan con dos pozos de donde extraen el agua para sus distintas actividades cotidianas.



Gráfica 2-2 Total de siembra por Agencia de Estudio
Fuente: Propia



Gráfica 2-3 Frecuencia de Aseo semanal por Agencia de Estudio
Fuente: Propia

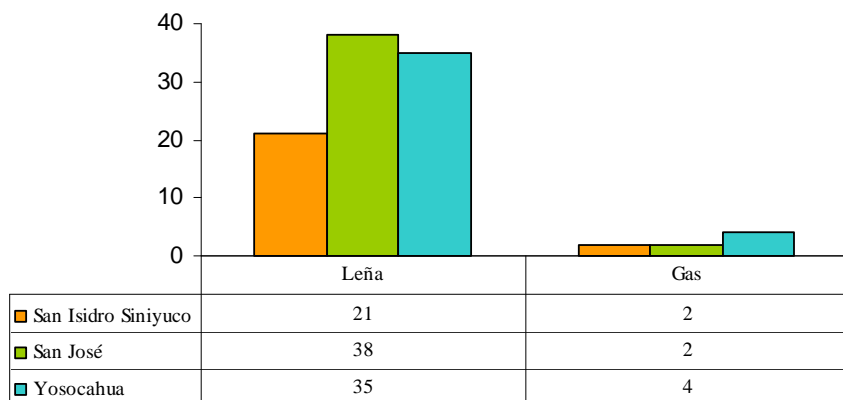


Gráfica 2-4 Equipo Eléctrico por Agencia de Estudio
Fuente: Propia

De las Agencias encuestadas y que cuentan con suministro de energía eléctrica, en su mayoría adquieren este servicio por su propia cuenta ya que por cuestiones económicas no les alcanza para pagar el contrato

y el servicio. Los principales aparatos eléctricos que adquieren los habitantes de la comunidad son en primera instancia radios (prevalciendo grabadoras muy sencillas), televisores, licuadoras, refrigeradores, planchas, hornos de microondas y DVD's, esto lo podemos apreciar en la gráfica 2-4, para cada Agencia donde se realizó en censo.

El combustible que utiliza la mayoría de la población es sin duda, la leña, ya que comprar gas resulta bastante caro y es muy difícil el traslado ya que se tiene que comprar en el distrito de Tlaxiaco y transportarlo, motivo por el cual se encarece más el combustible. La mayoría de los habitantes emplean la leña para calentar agua y cocinar sus alimentos, en la gráfica 2-5 se aprecia el nivel de consumo de leña por las tres Agencias donde se realizaron encuestas. Las principales formas de obtención de la leña son la recolección, realizada en la mayoría de las veces por mujeres y niños, y la compra.



Gráfica 2-5 Combustible empleado para cocinar
Fuente: Propia

En cuanto a la generación de basura dentro de la comunidad, se puede decir que es casi nula, debido a que la mayoría de los habitantes no suelen comprar productos en la tienda comunitaria o bien en el distrito de Tlaxiaco, ya que definitivamente no les alcanza y viven al día consumiendo lo que cosechan. Cabe mencionar que la poca basura que se genera se quema cerca de las viviendas y la ceniza se echa al terreno de siembra.

La principal actividad remunerada de la comunidad es el tejido de sombrero de palma, pero el dinero obtenido por este artesanal trabajo es del orden de \$3 por pieza.



Figura 2-3 Actividades en San Antonio Sinicahua, del lado izquierdo un hombre sembrando, en medio la forma de quemar la basura dentro de la comunidad y del lado derecho mujeres trabajando en la elaboración del sombrero de palma.

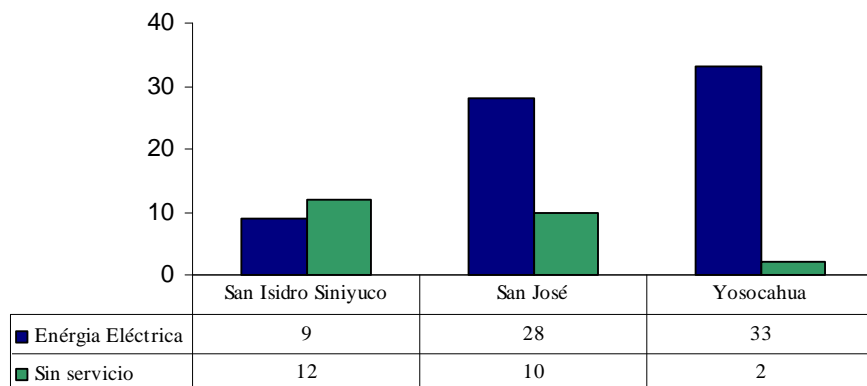
Fuente: Propia

En la comunidad de San Antonio Sinicahua debido a la escasez de recursos económicos repercute considerablemente en las necesidades energéticas de la población. A consecuencia y como se muestra en la gráfica 2-4, se distingue entre las tres agencias encuestadas, que en su mayoría las familias cuentan con radio, televisión y licuadora.

En la grafica 2-6, se describe el número total de casas que cuentan con servicio de energía eléctrica para cada una de las Agencias en que se levantaron encuestas. La agencia de San Isidro Siniyuco cuenta con tan solo 21 viviendas, de las cuales el 57% no cuenta con el servicio de energía eléctrica. En la Agencia de San José el 26% de las viviendas no tienen servicio de energía eléctrica y finalmente la Agencia de Yosocahua solo muestra un 6% de las viviendas sin servicio de energía eléctrica.

Por otra parte, como los recursos económicos resultan ser muy mínimos, en la comunidad dedicarse al campo resulta ser complicado por la adquisición de fertilizantes. En las encuestas y de acuerdo al censo obtenido de la cantidad de ganado por cada Agencia, se buscara la forma de aprovechar el estiércol del ganado para la producción de biogás y obtención de fertilizante. De esta forma se contribuye a la ayuda de obtención de energía eléctrica y térmica por parte del biogás; y el fertilizante para el aprovechamiento de las parcelas de cultivo.

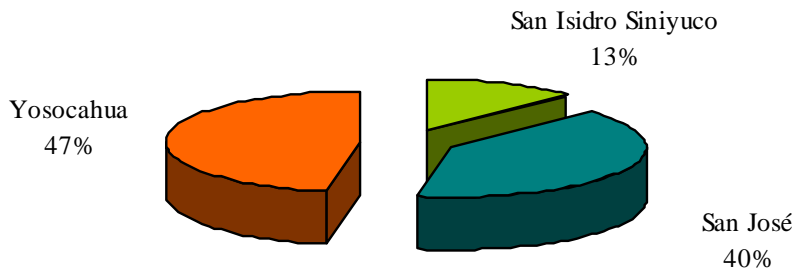
En las Agencias de San Antonio Sinicahua, como se aprecia para algunas viviendas, el suministro de energía es considerable, en especial para las Agencias de San José y Yosocahua, sin embargo debido al bajo nivel de su economía, el consumo resulta ser mínimo ya que los habitantes en su mayoría procuran solo utilizarla para iluminación y para satisfacer las necesidades alimenticias con el uso de la licuadora cuando se requiere. Para mantenerse informados y también como medio de entretenimiento recurren al uso de la televisión o algún tipo de radio. Todo esto, con la finalidad de que sus recibos por consumo de energía eléctrica sean muy bajos en precio.



Gráfica 2-6 Agencias que cuentan con servicio de Energía Eléctrica
Fuente: Propia

Estudio de demanda con base a la carga eléctrica de la comunidad

La demanda eléctrica por cada Agencia de la comunidad de San Antonio Sinicahua se evaluó de acuerdo al total de viviendas por familia, con base al total de aparatos eléctricos e iluminación instalados. En la gráfica 2-4 se describe detalladamente el total de equipos eléctricos para cada Agencia de estudio. A continuación se observan los porcentajes por Agencia que cuentan con el servicio de energía eléctrica.



Gráfica 2-7 Agencias con Energía Eléctrica
Fuente: Propia

Metodología

La realización del estudio de demanda eléctrica se logró a través de una encuesta estructurada en 26 preguntas que se representa en el Anexo 3, en las cuales se obtuvieron características de la demanda y recursos energéticos de la población; con la finalidad de obtener información significativa que permita la interpretación de la situación actual para poder proponer un sistema de aprovechamiento de energía que satisfaga necesidades primarias dentro de la comunidad.

El universo tomado en cuenta para obtener la muestra de la aplicación de las encuestas fue la parte norte del municipio de San Antonio Sinicahua, considerando solo tres de las siete agencias existentes, las cuales fueron: Yosocahua, San José, y San Isidro Siniyuco, cada una de las agencias se estudio de forma individual.

La muestra tomada es de tipo no aleatoria en primera instancia, ya que las agencias seleccionadas, fueron elegidas por un muestreo intencional o de juicio. La idea de este método es que tanto la lógica y el sentido común, pueden usarse para seleccionar una muestra que sea representativa de una población.



Figura 2-4 Levantamiento de datos en Agencias de estudio, del lado izquierdo Armando Hernández con una traductora de mixteco entrevistando a una habitante de la comunidad y del lado derecho Araceli Guadarrama aplicando una entrevista en San Isidro Siniyuco.

Fuente: Propia

Tipo y caracterización de los desechos agrícolas, forestales y orgánicos de la comunidad

Desechos Agrícolas

De acuerdo a los resultados obtenidos en las encuestas aplicadas a la comunidad de San Antonio Sinicahua, los principales productos agrícolas que se siembran son: maíz, frijol, alberjón y trigo. En

general los habitantes de las Agencias de San Isidro Siniyuco, San José y Yosocahua en promedio siembra 1.5 hectáreas, por cada unidad de vivienda.

En la gráfica 2-2 se observa claramente, que para las tres agencias, el producto alimenticio de mayor cultivo es el maíz, seguido del frijol, trigo y alberjon.

Este tipo de recurso representa una fuente de combustible para la biomasa, sin embargo el nivel de producción es mínimo en la región. Su nivel de consumo es por temporada y éste varía de acuerdo al estado climatológico de la zona. El rastrojo generado, que para efectos de estudios, es el que permite obtener un determinado potencial energético, es utilizado para alimentar a su ganado. Por lo tanto, se aprecia claramente que los desechos agrícolas son insuficientes para crear un sistema de generación térmico y eléctrico, a partir de éste recurso.

Desechos Forestales

Los principales recursos forestales con los que cuenta la comunidad son:

Bosque de coníferas. Predominan los Pinus (pinar o bosque de pino) de gran amplitud, Juniperus (bosque de tásate) o Cupressus (cedral o bosque de cedro) y bosque de pino – encino (Pinus-Quercus). Presentan una amplia variedad florística en sus alrededores, entre los 1 500m y 3 000m de altitud sobre suelos de rocas ígneas o cenizas volcánicas; este tipo de vegetación es de transición entre encinares y pinares.

Bosque de encino. Existe una gran variedad de especies Quercus distribuidas dentro de todo el municipio de manera muy extensa. Estas comunidades vegetales son características de algunas zonas de la Mixteca Alta. Se pueden observar en altitudes que van desde los 1 200 – 1 800 msnm. Se cuenta en las partes bajas, con vegetación de pino, cuyo tamaño de crecimiento no rebasa los diez metros, debido a que se desarrolla en suelos pedregosos, una altitud de 2000 msnm. En cuanto a los ocotes, alcanzan alturas de 10 y 15 metros, tienen mayor grosor que los de la parte baja. De este tipo de vegetación, se obtiene leña para la cocina y madera para la construcción, pero se tiene poco aprovechamiento productivo hasta ahora.

En la parte alta se encuentra la vegetación de ocotes y pinos con una altura superior a los 15 metros de donde se puede obtener madera de calidad para la construcción y la fabricación de muebles, sin embargo el aprovechamiento se debe de realizar con un manejo, ya que esta zona permite la filtración de las lluvias al subsuelo.

Otros árboles son: encino amarillo, encino cuchara, cazaguante, tepeguaje, guajes, jacarandas, manzanita, álamo, jarilla, madroño, tuñiñe, sabino, enebro, egresado, oyamel o bretado, crucecilla, sauce. Así mismo variedad de arbustos como huisache, grilla, chamizo apestoso, chamizo de cuete, espino de gato y demás pastizales.

Residuos Orgánicos

De acuerdo a los resultados obtenidos en las encuestas aplicadas a la comunidad de San Antonio Sinicahua, el ganado que predomina en la región es el siguiente: vacuno y bovino, aves, caprino, ovino, mular y porcino. La gráfica 1, muestra a detalle el total de ganado por cada una de las Agencias de estudio.

Para este caso, en las agencias de estudio se decidió emplear como residuo orgánico el estiércol de ganado, el cual, sometido a un proceso de digestión anaerobia permitirá reducir el mal olor y se podrá obtener un combustible llamado biogás, además de la obtención de un lodo que puede ser empleado como fertilizante.

La obtención de los datos para fines de cálculo se describe detalladamente en el siguiente punto a tratar, el cual es la estimación del potencial energético.

2.4 Instalaciones electromecánicas

Una instalación eléctrica se refiere al conjunto de elementos que permiten transportar y distribuir la energía eléctrica desde el punto de suministro hasta los equipos que la utilizan. Entre estos elementos se incluyen: tableros, interruptores, transformadores, bancos de capacitores, dispositivos sensores, dispositivos de control local y remoto, cables, receptáculos, canalizaciones y soportes.

Las instalaciones eléctricas pueden ser abiertas (conductores visibles), aparentes (en ductos o tubos), ocultas (dentro de paneles o falsos plafones), o ahogadas (en muros, techos o pisos).

Una instalación eléctrica debe distribuir la energía eléctrica a los equipos conectados de una manera segura y eficiente. Además debe ser económica, flexible y de fácil acceso.

Las instalaciones eléctricas en la comunidad de San Antonio Sinicahua y así como de las Agencias dependerán esencialmente de alumbrado y uso de aparatos electrodomésticos. Las instalaciones se ajustaran a la cantidad de biogás que se obtenga para el funcionamiento del sistema de generación

Tipos de carga eléctrica

Cuando se inicia el diseño de una instalación eléctrica, es importante que se estime la carga total de consumo, con el objeto de poder planear las áreas requeridas para la instalación. Las cargas eléctricas en una instalación se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- a) Alumbrado
- b) Fuerza para misceláneos, que incluye receptáculos y pequeños motores.
- c) Calefacción, ventilación y aire acondicionado.
- d) Equipo de plomería y sanitario.
- e) Equipo de transportación vertical (elevadores).
- f) Equipo de cocina.
- g) Equipo especial.

Diagrama de instalación eléctrica por unidad de vivienda

Para este estudio se determino que por cada habitación existente, hay dos luminarias con capacidad de 100 [Watts], dos receptáculos dobles con capacidad a 15 Amperes y la suma total (medida en Watts) de los aparatos eléctricos con los que cuente cada familia. Por las características de la región, la mayoría de los habitantes tiene de una a dos habitaciones. El cálculo de la carga eléctrica se determinó de acuerdo en lo establecido en la NOM-001-SEDE-2005 Instalaciones Eléctricas (Utilización).

La capacidad máxima en los receptáculos por condiciones económicas corresponderá entonces a:

$$P = VI = (127) (15) = 1,905 \text{ [W]}$$

El consumo promedio de los aparatos electrodomésticos se tomó de acuerdo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico, conforme lo establece la Comisión Federal de Electricidad. En la siguiente tabla se especifica la potencia de los aparatos con los que cuenta principalmente la comunidad de San Antonio Sinicahua.

Aparatos Electrodomésticos	Potencia [W]
Televisión	120
Radio	40
Horno de Micro Ondas	1200
Plancha	1000
Refrigerador	500
DVD	25
Lavadora	400
Licudadora	400

Tabla 2-1 Consumo promedio de aparatos electrodomésticos

Fuente: <http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/informacionpublica/art7/inforelevpregfrec/paese/paese9/>

Finalmente, los cálculos de potencia eléctrica se efectuaron para cada Agencia de estudio de acuerdo al número de viviendas existentes. Para hacer esto en forma representativa, se procederá a realizar el cálculo para una unidad de vivienda con dos habitaciones, siendo este el promedio en habitaciones de acuerdo a las encuestas realizadas.

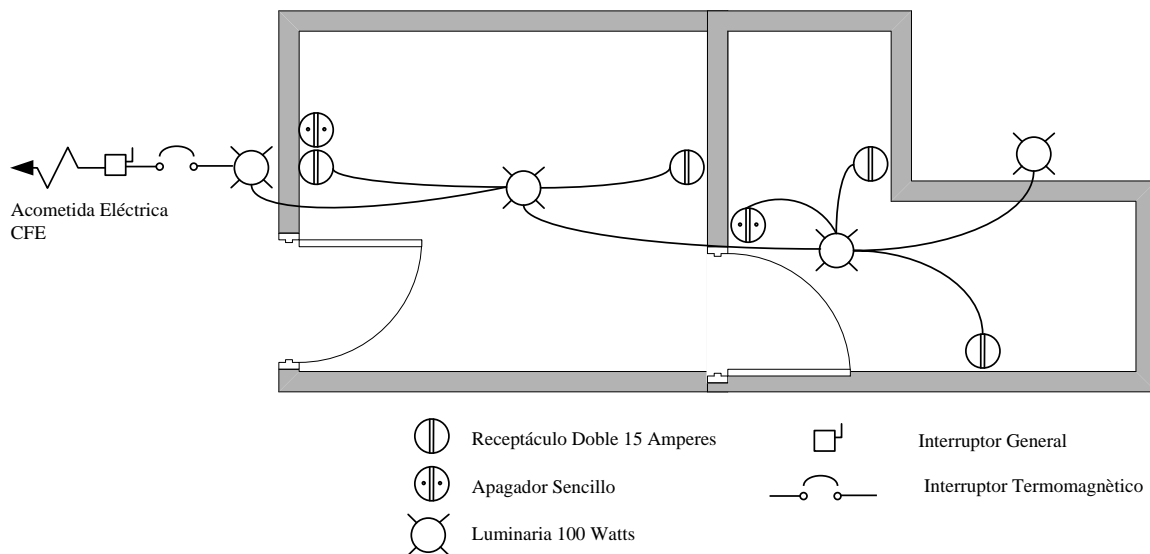


Figura 2-5 Esquema representativo de una Unidad de vivienda en San Antonio Sinicahua

Fuente: Propia

Para esta unidad de vivienda se cuenta con los siguientes aparatos electrodomésticos:

Televisión	120	[W]
Radio	40	[W]
Plancha	1000	[W]
DVD	25	[W]
Licudadora	400	[W]
Total	1585	[W]

De acuerdo a la NOM-001, para aparatos eléctricos fijos, se aplica el 75% de la carga total conectada.

$$1585 \text{ [W]} * 0.75 = 1188.75 \text{ [W]}$$

Al resultado anterior se le agrega la potencia total de cuatro luminarias.

$$4 \text{ Luminarias} = 400 \text{ [W]}$$

Finalmente la potencia total para esta unidad de vivienda sería de:

$$\text{Potencia Total} = 1588.75 \text{ [W]}$$

En el Anexo 5, se indican los cálculos de potencia por unidad de vivienda para las Agencias de San Isidro Siniyuco, San José Sinicahua y Yosocahua. En estos datos se estima el potencial energético, medido en Watts, de la comunidad. Los resultados obtenidos al efectuar la estimación de potencia eléctrica fueron los siguientes:

Agencia de Estudio	Demanda Total [kW]
San Isidro Siniyuco	22.31
San José	33.9
Yosocahua	31.45

Tabla 2-2 Demanda total en [kW] por Agencia de Estudio
Fuente: Propia

Las circunstancias e inconvenientes con los que cuenta cada Agencia, son las distancias existentes entre casa y casa y el difícil acceso, ya que esto origina pérdida en la caída de tensión y aumento en el costo de la instalación. De esta forma se procedió a realizar el cálculo de potencia eléctrica para cada Agencia de estudio y cuyos resultados serán útiles más adelante, para comparar con el potencial energético que puede producirse con el tipo de biomasa que más se genere en dicha región.

2.5 Estimación del potencial energético de la comunidad

En el Anexo 1, se especifican las características del estiércol para diferentes especies de ganado, en la siguiente tabla se muestra el peso promedio por especie de ganado.

Ganado	Peso promedio (Kg)	Coefficiente de Rendimiento del Estiércol (%)	Deyección (Kg/día)	Densidad (Kg/m ³)	Deyección (m ³ /día)	Sólidos Totales	No. Animales	Kg MO Seca/día	Kg MO Humedad/día	m ³ Biogas/Kg de MO	m ³ de Biogas Seco/día
Bovino	450	8%	36	993.14	0.0362	4.57	60	274.2	2160	0.86	235.812
Caprino	45	8%	3.6	65	0.0554	1.07	130	139.1	468	0.49	68.159
Ovino	50	8%	4	1041.2	0.0038	1	44	44	176	0.49	21.56
Mular	250	8%	20	961.1	0.0208	4.2638	16	68.2208	320	0.365	24.900592
Porcino	150	8%	12	961.1	0.0125	0.3719	26	9.6694	312	1.02	9.862788
Aves	6	8%	0.48	961.1	0.0005	0.024	151	3.624	72.48	0.56	2.02944
TOTALES	951	8%	76.08		0.12926944	11.2997	427	538.8142	3508.48	3.785	362.32382

Tabla 2-3 Potencial energético de la comunidad de San Isidro Siniyuco
Fuente: Propia

En el siguiente ejemplo se muestra como se obtuvieron los cálculos de la tabla anterior, para obtener el volumen en m³ de Biogás Seco/día, se realizó este cálculo para cada especie de ganado en cada una de las agencias estudiadas. La metodología empleada fue la siguiente, tomando como ejemplo la Agencia de San Isidro Siniyuco.

La producción de deyección, $\left(\frac{\text{kg}}{\text{día}}\right)$ por animal, se obtiene de aplicarle al peso promedio de cada especie de animal, el coeficiente de rendimiento del estiércol, el cual es un valor aproximado del 8% por kilogramo de ganado vivo de la misma especie, en un día.

$$\text{Deyección} = \text{Peso Promedio [kg]} \times \text{Coef. de rendimiento del estiércol [\%]} = \left[\frac{\text{kg}}{\text{día}}\right]$$

$$\text{Deyección}_{\text{Bovino}} = 450 [\text{kg}] \times 0.8 = 36 \left[\frac{\text{kg}}{\text{día}}\right]$$

La densidad $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$, se obtiene del Anexo 1, de esta forma podremos obtener la deyección de cada especie de animal en unidades de $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right]$.

La cantidad de sólidos totales por especie de animal, se obtuvieron del Anexo 1, donde se presentan las características del estiércol de las especies animales. Este dato acompañado por el número total especies de ganado, con base al censo obtenido para cada Agencia de San Antonio Sinicahua, permitirá calcular los kilogramos de materia orgánica (MO) seca al día que se encuentra presente en las deyecciones de las especies de ganado.

$$\text{MO seca} = \text{Sólidos Totales} \times \text{No. de Animales} = \left[\frac{\text{kg MO seca}}{\text{día}}\right]$$

$$\text{MO seca}_{\text{Bovino}} = 4.57 \times 60 = 274.2 \left[\frac{\text{kg MO seca}}{\text{día}}\right]$$

$$\text{MO húmeda} = \text{Deyección} \left[\frac{\text{kg}}{\text{día}}\right] \times \text{No. de Animales} = \left[\frac{\text{kg MO húmeda}}{\text{día}}\right]$$

$$\text{MO húmeda}_{\text{Bovino}} = 36 \left[\frac{\text{kg}}{\text{día}}\right] \times 60 = 2160 \left[\frac{\text{kg MO húmeda}}{\text{día}}\right]$$

Finalmente la cantidad de metros cúbicos de biogás que se producen por cada kilogramo de materia orgánica, $\left[\frac{\text{m}^3 \text{ Biogás}}{\text{kg MO}}\right]$, se obtuvieron de la tabla de producción específica de metano para diferentes tipos de desechos, que se encuentra en el Anexo 1. Este valor, permitirá obtener la cantidad de metros cúbicos de biogás seco que se producen al día, $\left[\frac{\text{m}^3 \text{ Biogás seco}}{\text{día}}\right]$. De esta forma podremos calcular la cantidad de biogás seco que produce al día cada especie de animal que se encuentra en dicha comunidad.

$$\text{Biogás seco} = \left[\frac{\text{kg MO seca}}{\text{día}}\right] \times \left[\frac{\text{m}^3 \text{ Biogás}}{\text{kg MO}}\right] = \left[\frac{\text{m}^3 \text{ Biogás seco}}{\text{día}}\right]$$

$$\text{Biogás seco}_{\text{Bovino}} = 274.2 \left[\frac{\text{kg MO seca}}{\text{día}}\right] \times 0.86 \left[\frac{\text{m}^3 \text{ Biogás}}{\text{kg MO}}\right] = 235.812 \left[\frac{\text{m}^3 \text{ Biogás seco}}{\text{día}}\right]$$

Para poder estimar el poder calorífico del biogás se empleó el programa Thermoflow, donde se dio la siguiente composición al biogás: 1% de H₂, 3% de H₂S, 41% de CO₂ y 55% de CH₄. Finalmente al evaluar los parámetros dados se obtiene el resultado mostrado a continuación:

Donde se obtiene que para un 55% de CH₄ el Poder Calorífico Superior del biogás es el siguiente:

$$PCS_{\text{biogás}} = 18262 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \text{ a } 25^\circ \text{ C}$$

Finalmente:

$$PCS_{\text{biogás}} = 20.838 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \text{ a } 25^\circ \text{ C}$$

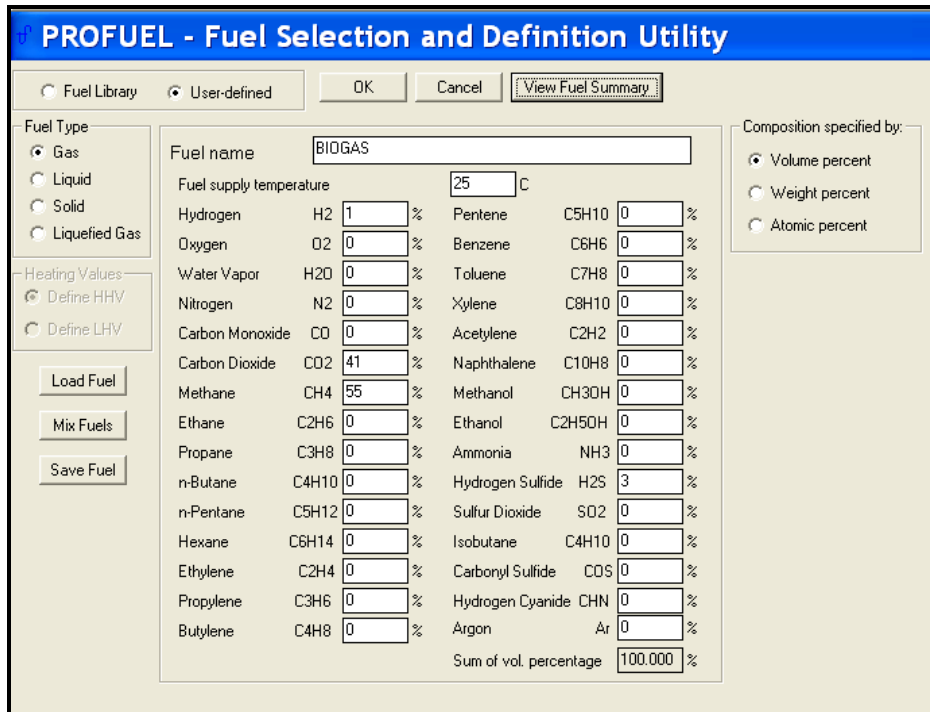


Figura 2-6 Composición química de biogás registrados en el Software Thermoflow
Fuente: THERMOFLEX Version 16.0

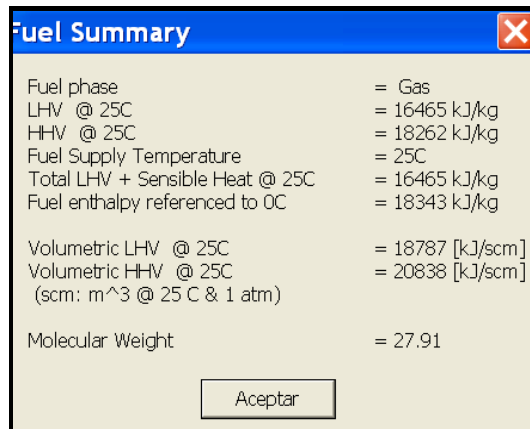


Figura 2-7 Poder Calorífico Superior del biogás
Fuente: THERMOFLEX Version 16.0

De acuerdo con los datos proporcionados en el Anexo 1 y tomando como referencia los valores de producción diaria de biogás seco por cada unidad de ganado, se podrá obtener el potencial energético de cada Agencia del municipio de San Antonio Sinicahua, Oaxaca.

En la siguiente tabla se hace referencia del potencial energético por cada Agencia, como se menciona anteriormente el desglose para dichos cálculos se realiza de la misma forma que el ejemplo anterior.

Agencia de San Isidro Siniyuco

Ganado	m ³ de Biogas Seco/día
Bovino	235.812
Caprino	68.159
Ovino	21.56
Mular	24.900592
Porcino	9.862788
Aves	2.02944
Total	362.3238

$$\text{Poder Calorífico del biogás} = 20.838 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \text{ aprox.}$$

Tabla 2-4 Obtención de metros cúbicos de biogás seco al día; San Isidro Siniyuco
Fuente: Propia

$$\text{Energía} = 362.3238 \left[\frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{día}} \right] \times 20.838 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \right] = 7550.1038 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{día}} \right]$$

$$\text{Potencia} = 7550.1038 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{día}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = 0.08739 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{s}} \right]$$

$$\text{Potencia} = 87.39 \left[\text{kW}_{\text{Químicos}} \right]$$

Agencia de San José Sinicahua

Ganado	m ³ de Biogas Seco/día
Bovino	322.2764
Caprino	123.7348
Ovino	99.47
Mular	49.801184
Porcino	13.27683
Aves	2.5536
Total	611.1128

$$\text{Poder Calorífico del biogás} = 20.838 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \text{ aprox.}$$

Tabla 2-5 Obtención de metros cúbicos de biogás seco al día; San José Sinicahua
Fuente: Propia

$$\text{Energía} = 611.1128 \left[\frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{día}} \right] \times 20.838 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \right] = 12734.3688 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{día}} \right]$$

$$\text{Potencia} = 12734.3688 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{día}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = 0.1474 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{s}} \right]$$

$$\text{Potencia} = 147.4 \left[\text{kW}_{\text{Químicos}} \right]$$

Agencia de Yosocahua

Ganado	m3 de Biogas Seco/día
Bovino	369.4388
Caprino	28.8365
Ovino	99.47
Mular	59.138906
Porcino	7.966098
Aves	4.44864
Total	569.2989

$$\text{Poder Calorífico del biogás} = 20.838 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \text{ aprox.}$$

Tabla 2-6 Obtención de metros cúbicos de biogás seco al día; Yosocahua
Fuente Propia

$$\text{Energía} = 569.2989 \left[\frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{día}} \right] \times 20.838 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \right] = 11863.0514 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{día}} \right]$$

$$\text{Potencia} = 11863.0514 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{día}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = 0.1373 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{s}} \right]$$

$$\text{Potencia} = 137.3 \left[\text{kW}_{\text{Químicos}} \right]$$

De acuerdo a los valores obtenidos en el programa RETSCREEN, se calculó la obtención de m³ de Biogas Seco/día, de la misma manera del método anterior para poder obtener la potencia, la comparación de ambos valores en los métodos se muestra en la tabla 2-7 y el cálculo de potencia se muestra después de ésta.

Ganado	m ³ de Biogás seco/día San Isidro Siniyuco RETSCREEN	m ³ de Biogas seco/día San Isidro Siniyuco	m ³ de Biogás seco/día San José RETSCREEN	m ³ de Biogas seco/día San José	m ³ de Biogás seco/día Yosocahua RETSCREEN	m ³ de Biogas seco/día Yosocahua
Bovino	54.677	235.812	74.726	322.276	85.660	369.439
Caprino	35.101	68.159	63.721	123.735	14.849	28.837
Ovino	19.299	21.560	89.036	99.470	89.036	99.470
Mular	0.321	24.901	0.649	49.801	0.770	59.139
Porcino	10.712	9.863	14.419	13.277	8.652	7.966
Aves	6.997	2.029	8.803	2.554	15.337	4.449
TOTALES	127.11	362.32	251.35	611.11	214.30	569.30

Tabla 2-7 Obtención de metros cúbicos de biogás seco; Comparación entre RETSCREEN y método de coeficiente de rendimiento
Fuente: Propia

Agencia de San Isidro Siniyuco

Ganado	m ³ de Biogás Seco/día
Bovino	54.676
Caprino	35.101
Ovino	19.289
Mular	0.320
Porcino	10.712
Aves	6.997
Total	127.11

$$\text{Poder Calorífico del biogás} = 20.838 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \text{ aprox.}$$

Tabla 2-8 Obtención de metros cúbicos de biogás seco al día; San Isidro Siniyuco.

Fuente: Software Retscreen

$$\text{Energía} = 127.11 \left[\frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{día}} \right] \times 20.838 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \right] = 2648.718 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{día}} \right]$$

$$\text{Potencia} = 2648.718 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{día}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = 0.03065 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{s}} \right]$$

$$\text{Potencia} = 30.65 \left[\text{kW}_{\text{Químicos}} \right]$$

Agencia de San José Sinicahua

Ganado	m ³ de Biogás Seco/día
Bovino	74.726
Caprino	63.720
Ovino	89.035
Mular	0.649
Porcino	14.419
Aves	8.802
Total	251.35

$$\text{Poder Calorífico del biogás} = 20.838 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \text{ aprox.}$$

Tabla 2-9 Obtención de metros cúbicos de biogás seco al día; San José Sinicahua.

Fuente: Software Retscreen

$$\text{Energía} = 251.35 \left[\frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{día}} \right] \times 20.838 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \right] = 5237.6313 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{día}} \right]$$

$$\text{Potencia} = 5237.6313 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{día}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = 0.06062 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{s}} \right]$$

$$\text{Potencia} = 60.62 \left[\text{kW}_{\text{Químicos}} \right]$$

Agencia de Yosocahua

Ganado	m3 de Biogas Seco/día
Bovino	85.660
Caprino	14.849
Ovino	89.035
Mular	0.769
Porcino	8.652
Aves	15.336
Total	214.30

$$\text{Poder Calorífico del biogás} = 20.838 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \text{ aprox.}$$

Tabla 2-10 Obtención de metros cúbicos de biogás seco al día; Yosocahua.
Fuente: Software Retscreen

$$\text{Energía} = 214.30 \left[\frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{día}} \right] \times 20.838 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \right] = 4465.5834 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{día}} \right]$$

$$\text{Potencia} = 4465.5834 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{día}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = 0.05168 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{s}} \right]$$

$$\text{Potencia} = 51.68 \left[\text{kW}_{\text{Químicos}} \right]$$

Reuniendo datos y realizando una metodología propuesta por la FAO, se realizaron las tablas correspondientes donde se muestra el potencial energético, medido en $[\text{kW}_{\text{Químicos}}]$. A diferencia de los métodos anteriores, en éste se obtiene de manera directa el resultado de la potencia química disponible, producto de la producción de biogás generado. Estos resultados se muestran en las tablas siguientes, para cada una de las Agencias de estudio.

Finalmente los datos de la estimación del potencial energético evaluado para las agencias de San Isidro Siniyuco, San José Sinicahua y Yosocahua queda resumido en la siguiente tabla.

Método	Coefficiente de Rendimiento $[\text{kW}_{\text{Químicos}}]$	RETSCREEN $[\text{kW}_{\text{Químicos}}]$	FAO $[\text{kW}_{\text{Químicos}}]$
San Isidro Siniyuco	87.39	30.65	59.96
San José Sinicahua	147.4	60.62	66.0493
Yosocahua	137.3	51.68	69.5015

Tabla 2-11 Comparación de $[\text{kW}_{\text{Químicos}}]$, entre las Agencias de San Antonio Sinicahua³

Fuente: Propia

³ Para la evaluación del potencial de producción de biogás también existen otras metodologías, como por ejemplo: el modelo IPCC (2006).

Simulación de datos: Cabezas de ganado con el programa RETSCREEN.

Agencia de San Isidro Siniyuco

Biogas							
Unidad	Peso promedio por unidad kg	Cantidad	Material seco %	Material seco - sólidos volátiles %	Factor de producción de biogas m³/kg	Producción de biogas - anual m³	Contenido de metano %
Ganado lechero	450	60	8.0%	100.0%	0.33	19,957	60%
Oveja	50	44	21.5%	100.0%	1.02	7,044	64%
Cabra	45	130	20.0%	100.0%	0.60	12,812	70%
Cerdo	150	26	7.0%	100.0%	0.69	3,910	68%
Aves de corral	6	151	32.0%	71.5%	0.54	2,554	69%
Mular	250	16	8.0%	100.0%	0.37	117	60%
Definido por el usuario						0	
Total		427				46,393	65%

Tabla 2-12 Producción de biogás anual de San Isidro Siniyuco
Fuente: Software RETSCREEN

Agencia de San José Sinicahua

Biogas							
Unidad	Peso promedio por unidad kg	Cantidad	Material seco %	Material seco - sólidos volátiles %	Factor de producción de biogas m³/kg	Producción de biogas - anual m³	Contenido de metano %
Ganado lechero	450	82	8.0%	100.0%	0.33	27,275	60%
Oveja	50	203	21.5%	100.0%	1.02	32,498	64%
Cabra	45	236	20.0%	100.0%	0.60	23,258	70%
Cerdo	150	35	7.0%	100.0%	0.69	5,263	68%
Aves de corral	6	190	32.0%	71.5%	0.54	3,213	69%
Mular	250	32	8.0%	100.0%	0.37	237	60%
Definido por el usuario						0	
Total		778				91,743	65%

Tabla 2-13 Producción de biogás anual de San José Sinicahua; Software RETSCREEN
Fuente: Software RETSCREEN

Agencia de Yosocahua

Biogas								
Unidad	Peso promedio por unidad kg	Cantidad	Material seco %	Material seco - sólidos volátiles %	Factor de producción de biogas m³/kg	Producción de biogas - anual m³	Contenido de metano %	
Ganado lechero	450	94	8.0%	100.0%	0.33	31,266	60%	
Oveja	50	203	21.5%	100.0%	1.02	32,498	64%	
Cabra	45	55	20.0%	100.0%	0.60	5,420	70%	
Cerdo	150	21	7.0%	100.0%	0.69	3,158	68%	
Aves de corral	6	331	32.0%	71.5%	0.54	5,598	69%	
Mular	250	38	8.0%	100.0%	0.37	281	60%	
Definido por el usuario						0		
Total		742				78,221	63%	

Tabla 2-14 Producción de biogás anual de Yosocahua
Fuente: Software RETSCREEN

Metodología propuesta por la FAO

Agencia de San Isidro Siniyuco

Ganado	Cabezas	Producción de estiércol t/año	Índice de producción estiércol t/cabezas/año	Índice de estiércol disponible	Estiércol disponible t/año	Estiércol disponible t/año	Materia orgánica digerible 10% sv (0.1 t sv/año)	Digestión Anaerobia 500 m³ biogás/ t sv 500 m³/año	Poder del gas 65% CH4 24.8 MJ/m³ 24.8/MJ/año	Energía Química disponible MWh/año	Potencia Química disponible KW
Bovino	60	989.3	16.488	0.750	742.0	742.0	74.2	37098	920030.4	255.6	29.1739
Caprino	130	255.3	1.964	0.300	76.6	76.6	7.7	3830	94979.04	26.4	3.0117
Ovino	44	101.3	2.303	0.300	30.4	30.4	3.0	1520	37695.504	10.5	1.1953
Mular	16	961.1	15.3	0.650	624.7	624.7	62.5	31236	774646.6	215.2	24.5638
Porcino	26	49.2	1.891	0.850	41.8	41.8	4.2	2090	51820.964	14.4	1.6432
Aves	151	10.6	0.07	0.900	9.5	9.5	1.0	476	11796.12	3.3	0.3740
TOTAL	427	2366.768	38.016	3.75	1524.9747	1524.9747	152.4974	76248.735	1890968.628	525.2690	59.9622

Tabla 2-15 Obtención del Potencial Energético de San Isidro Siniyuco
Fuente: Metodología de la FAO

Agencia de San José

Ganado	Cabezas	Producción de estiércol t/año	Índice de producción estiércol t/cabezas/año	Índice de estiércol disponible	Estiércol disponible t/año	Estiércol disponible t/año	Materia orgánica digerible 10% sv (0.1 t sv/año)	Digestión Anaerobia 500 m3 biogás/ t sv 500 m3/año	Poder del gas 65% CH4 24.8 MJ/m3 24.8/MJ/año	Energía Química disponible MWh/año	Potencia Química disponible KW
Bovino	82	1352.0	16.488	0.750	1014.0	1014.0	101.4	50701	1257374.88	349.3	39.8710
Caprino	236	463.5	1.964	0.300	139.1	139.1	13.9	6953	172423.488	47.9	5.4675
Ovino	203	467.5	2.303	0.300	140.3	140.3	14.0	7013	173913.348	48.3	5.5147
Mular	32	489.6	15.3	0.650	318.2	318.2	31.8	15912	394617.6	109.6	12.5132
Porcino	35	66.2	1.891	0.850	56.3	56.3	5.6	2813	69758.99	19.4	2.2120
Aves	190	13.3	0.07	0.900	12.0	12.0	1.2	599	14842.8	4.1	0.4706
TOTAL	778	2852.114	38.016	3.75	1679.7831	1679.7831	167.9783	83989.1575	2082931.106	578.5919	66.0493

Tabla 2-16 Obtención del Potencial Energético de San José
Fuente: Metodología de la FAO

Agencia de Yosocahua

Ganado	Cabezas	Producción de estiércol t/año	Índice de producción estiércol t/cabezas/año	Índice de estiércol disponible	Estiércol disponible t/año	Estiércol disponible t/año	Materia orgánica digerible 10% sv (0.1 t sv/año)	Digestión Anaerobia 500 m3 biogás/ t sv 500 m3/año	Poder del gas 65% CH4 24.8 MJ/m3 24.8/MJ/año	Energía Química disponible MWh/año	Potencia Química disponible KW
Bovino	94	1549.9	16.488	0.750	1162.4	1162.4	116.2	58120	1441380.96	400.4	45.7059
Caprino	55	108.0	1.964	0.300	32.4	32.4	3.2	1620	40183.44	11.2	1.2742
Ovino	203	467.5	2.303	0.300	140.3	140.3	14.0	7013	173913.348	48.3	5.5148
Mular	38	581.4	15.3	0.650	377.9	377.9	37.8	18896	468608.4	130.2	14.8595
Porcino	21	39.7	1.891	0.850	33.8	33.8	3.4	1688	41855.394	11.6	1.3272
Aves	331	23.2	0.07	0.900	20.9	20.9	2.1	1043	25857.72	7.2	0.8199
TOTAL	742	2769.682	38.016	3.75	1767.5801	1767.5801	176.7580	88379.0025	2191799.262	608.8331	69.5015

Tabla 2-17 Obtención del Potencial Energético de Yosocahua
Fuente: Metodología de la FAO

2.6 Cálculo del biodigestor y su ubicación

Con los datos recabados de la comunidad de San José Sinicahua y de acuerdo a las condiciones de operación de los distintos tipos de digestores. Se determinará el tipo óptimo de digestor, condiciones de operación y sus dimensiones.

1. Se identifica el tipo de residuos para la digestión anaerobia, el cual es el estiércol de ganado bovino, ovino, caprino, mular, porcino y aves con un 20-40% de TS. Los cuales se diluyen en agua en un tanque de mezcla hasta tener un 11-13% de TS. Con este proceso se permite que la arena o tierra y piedras se sedimenten.
2. Se considera que para este caso el digestor más adecuado es el de tipo pistón, con agitación por recirculación de gas a presión durante cinco horas al día. La mezcla estiércol- agua del digestor, se calienta con vapor saturado el que se hace pasar a través de un intercambiador de calor en forma de serpentín que se encuentra sumergido en está mezcla. El vapor es generado en un recuperador de calor, al aprovechar la energía de los gases producto de la combustión del sistema de generación eléctrica. Este tipo de digestor es muy comúnmente empleado en granjas que no usan lavado a presión o mucha agua para remover el estiércol, además de que son fáciles de construir.
3. Las condiciones de operación comunes de este tipo de digestor son las siguientes:
 - Tiempo de retención: 15 días
 - Velocidad de carga: 4 kg /m³ día
 - Temperatura de operación: 35 °C (Zona Mesófila)

De acuerdo a datos teóricos bajo estas condiciones de operación, el biogás recuperado tendrá un poder calorífico medio de 21 980.7 kJ/ m³ que corresponde a una concentración de 65 % metano obtenido por digestión. De acuerdo a los resultados presentados por la Haunbenschild Farms (19).

4. Para obtener las dimensiones del digestor se procederá al siguiente cálculo:

$$V = [C * R (1+D) tF]/(Y * d)$$

Donde:

C es la capacidad deseada en biogás por día

R es la relación estiércol húmedo/estiércol seco, comúnmente 5

D es el peso de agua añadida a cada unidad de peso de estiércol

tF es el tiempo de fermentación en días

Y es el gas producido por unidad de peso de estiércol seco

d es la densidad de la mezcla estiércol-agua

El volumen del digestor V es proporcional a la relación tF/Y, por lo que un aumento en la temperatura de fermentación, dentro de cierto rango, aumenta el rendimiento del gas Y, permitiendo reducir el tiempo de retención tF o disminuir V.

Para nuestro caso, si C=611.1128 m³/día, R=4, D=1; tF=15 días, Y=0,12926944 m³/kg, d=830.44 kg/m³, el volumen del digestor sería 424.22 m³. Sin embargo, suele ser sobredimensionado en un 40% y el volumen final es 273.24 m³. Estos cálculos se adjuntan en el Anexo 4.

Características del digestor:

Volumen: 273 m³

Dimensiones:

Longitud (L): 13.13 m

Ancho (A): 5.2 m

Profundidad: 4 m (por debajo del nivel de piso terminado)

El material de las paredes del digestor se propone sean de hormigón armado de aproximadamente 30.5 cm de espesor, aisladas con espuma de poliuretano y la cubierta flexible de éste también, es poliuretano con un espesor de 2.5 cm. (El espesor de las paredes del digestor se estableció de acuerdo con las recomendaciones hechas por la Academia de Control para la Contaminación de Minnesota, (19)).

Ya que se determinó la cantidad de biogás recuperado y la energía proporcionada por éste, se tiene que evaluar el sistema de generación eléctrica que satisfaga la demanda de la comunidad, además también se contempla la posibilidad de proporcionar agua caliente, ya que se propondrá la creación de unos baños comunitarios que cuenten con dicho servicio.

2.7 Conclusión

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente capítulo se puede describir que la comunidad de San Antonio Sinicahua se encuentra a una altitud de 2100 msnm, y sus coordenadas geográficas son: 17° 09' latitud norte y 97° 34' longitud oeste. El clima predominante del municipio es templado subhúmedo con lluvias en verano.

El municipio es muy marginado, las principales actividades de los habitantes son la agricultura y la ganadería, pero solo para autoconsumo. Otra actividad por la que reciben alguna percepción económica es el tejido de sombrero de palma pero es muy mal pagado, la paga es de tan solo \$3 por sombrero. La mayoría de las familias cuentan con aparatos eléctricos como radios muy sencillos, televisores y licuadoras básicamente.

El combustible que se emplea principalmente en el municipio es la leña, ya que resulta más barato. En cuanto al suministro de energía eléctrica se puede apreciar que en Yosocahua se abastece al 47% de los habitantes, en San José al 40% y en San Isidro Siniyuco solo al 13%. Por otro lado para obtener un dato aproximado de demanda total en kW por agencias se propuso un esquema representativo de una unidad de vivienda para realizar el cálculo de consumo eléctrico por familia. Los datos obtenidos fueron los siguientes: San Isidro tiene una demanda de 22.31 kW, San José Sinicahua 33.9 kW y finalmente Yosocahua 31.45 kW.

De acuerdo a los valores obtenidos de la encuesta aplicada a la comunidad, se realizaron los cálculos a partir de un análisis en un proceso de digestión anaerobia, teniendo como base los residuos orgánicos de la comunidad; para este caso en específico el estiércol de ganado.

Al realizar la estimación del potencial energético por agencia se obtuvo una potencia de 87.39 kW_{Químicos} para San Isidro Siniyuco, para San José Sinicahua una potencia de 147.4 kW_{Químicos} y finalmente para Yosocahua el valor obtenido fue de: 137.3 kW_{Químicos}. Los resultados anteriores partiendo de un Poder

Calorífico del biogás de: 20.838 MJ/ m³ y obtenidos a partir del método de coeficiente de rendimiento del estiércol.

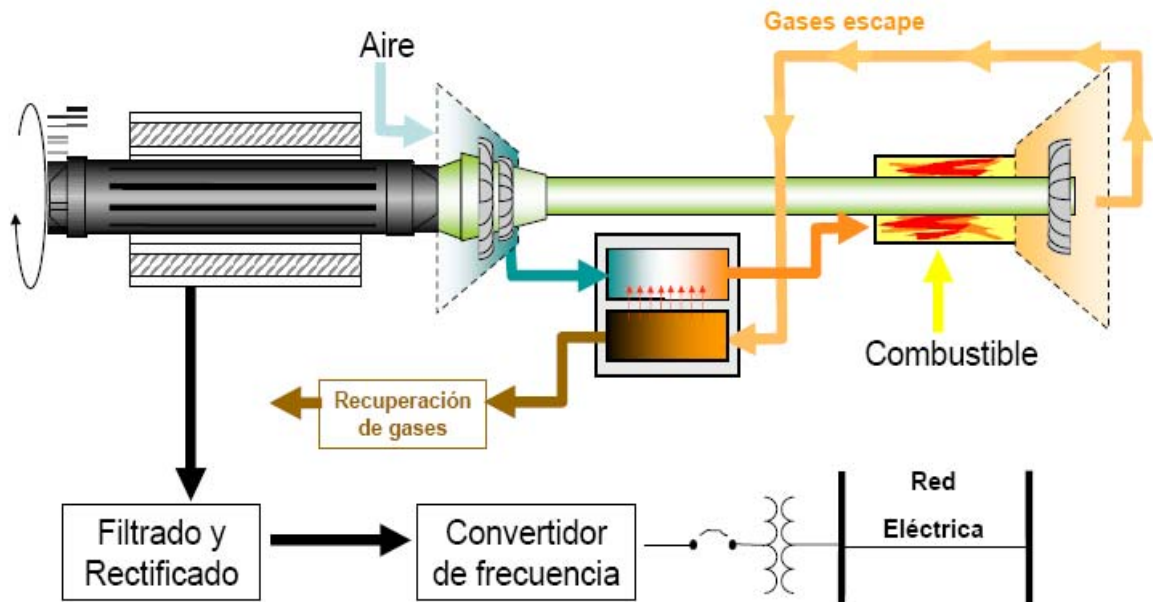
Para el método de RETSCREEN se obtuvieron los siguientes valores: una potencia de 30.65 kW_{Químicos} para San Isidro Siniyuco, para San José Sinicahua una potencia de 60.62 kW_{Químicos} y finalmente para Yosocahua el valor obtenido fue de: 51.68 kW_{Químicos}

Y por el método de la FAO: una potencia de 59.96 kW_{Químicos} para San Isidro Siniyuco, para San José Sinicahua una potencia de 66.04 kW_{Químicos} y finalmente para Yosocahua el valor obtenido fue de: 69.50 kW_{Químicos}

Como se puede apreciar existen grandes variaciones entre los distintos escenarios pero para fines teóricos todos son válidos y para no causar falsas expectativas se decidió optar por el método de simulación del software RETSCREEN.

Finalmente con estos datos se decidió que la agencia que cuenta con las mejores características para la instalación del sistema de generación es la de San José Sinicahua debido al potencial energético con el que cuenta y también se puede acceder de manera más sencilla a dicha zona.

El digestor adecuado para este trabajo es el de tipo pistón con agitación por recirculación de gas a presión durante cinco horas al día, y finalmente de acuerdo a los datos obtenidos en el punto 2.6 el volumen final del digestor es de 273.24 m³ con las siguientes dimensiones: Longitud de 13.13 m, Ancho de 5.2 m y una profundidad de 4 m.



CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA

3.1 Introducción

Los factores más importantes que influirán en la selección del esquema de cogeneración y su evaluación preliminar serán:

Tipo de combustible
Cantidad Inversión
Protección ambiental
Disponibilidad tecnológica

Como el objetivo de esta tesis es analizar la viabilidad para la conversión de energía eléctrica y térmica de una comunidad rural, se debe realizar un estudio que determine si el proyecto es técnica y económicamente factible, para ello es importante dimensionar, diseñar y comparar la eficiencia operativa de los sistemas de generación propuestos, en este caso debemos evaluar tanto la generación mediante un motor de combustión interna como la generación mediante una turbina de gas.

Para dicho sistema de generación se pretende emplear biogás como combustible, este biogás se pretende recuperar mediante el proceso de digestión anaerobia. La capacidad de los equipos tanto del M.C.I. como la T.G. se elegirá de acuerdo a la demanda de energía promedio de la comunidad de San José Sinicahua.

Para incrementar la eficiencia del sistema se pretende recuperar el calor y este utilizarlo para calentar agua, que pueda servir a los habitantes para bañarse. Como se puede apreciar este proyecto al obtener tanto energía eléctrica como térmica se convierte en proceso de cogeneración.

Al final de este capítulo podremos tener las herramientas necesarias para proponer el sistema más eficiente y que represente la mejor opción desde el punto de vista tanto técnico como económico.

3.2 Análisis de las alternativas de aprovechamiento de la biomasa y del biogás

Para alcanzar los objetivos de un sistema de generación que sea técnica y económicamente factible, y pueda cubrir los requerimientos energéticos de la Agencia de San José Sinicahua, es necesario dimensionar, diseñar y comparar la eficiencia operativa del sistema de generación.

La propuesta es emplear biogás como combustible, se pretende que este biogás sea recuperado mediante el proceso de digestión anaerobia del estiércol de los animales existentes en la agencia, para la cual se estimo la cantidad diaria de estiércol producido y por lo tanto la cantidad de biogás seco que puede recuperarse. Posteriormente se elige el biodigestor apropiado y su dimensionamiento de acuerdo a sus condiciones de operación.

Además se plantea que para este sistema de generación a base de biogás se tiene la posibilidad de quemar el gas recuperado ya sea en una turbina de gas o en un motor de combustión interna para determinar cual de los ciclos representa la mayor eficiencia. La capacidad de estos equipos se considerará de acuerdo a la demanda promedio de energía de la comunidad.

En ambos casos se pretende, aprovechar los gases del producto de combustión de los equipos para generar vapor en un recuperador de calor, y éste utilizarlo para calentar agua para los baños propuestos comunitarios, de esta forma este proyecto de generación de energía se transforma en un proceso de

cogeneración, ya que obtendremos de la misma manera energía eléctrica y energía térmica, lo que hará que la eficiencia del proyecto se incremente.

En la imagen siguiente, se muestra un esquema representativo, donde se indica el recurso o materia prima que permitirá obtener el biogás necesario para la obtención de un sistema eléctrico y térmico. Por otra parte, el residuo sólido generado en el contenedor, técnicamente llamado biodigestor; recibe el nombre de bioabono, el cual puede ser utilizado como fertilizante para los periodos de cultivo.

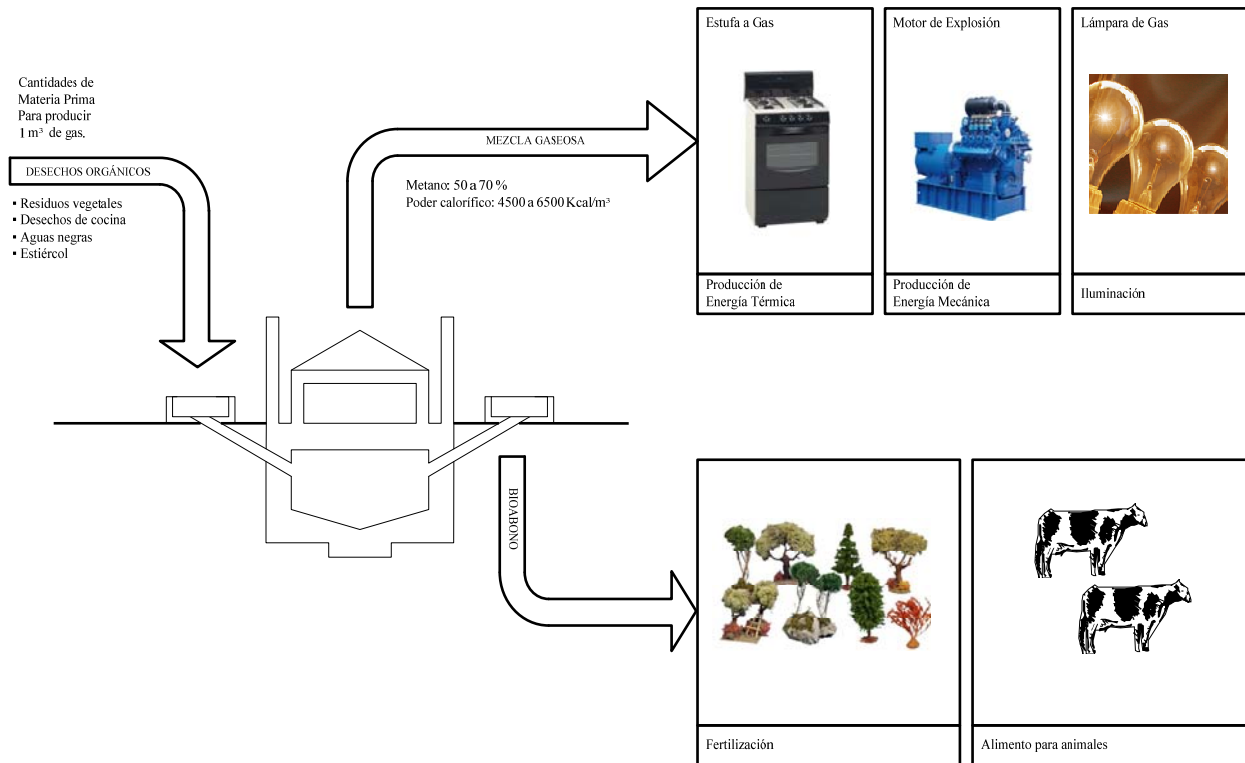


Figura 3-1 Aprovechamiento de la biomasa y del biogás
Fuente: Propia

En la práctica la mayoría de los casos el biogás ha sido empleado para cocinar por combustión directa en estufas. Pero otra de las aplicaciones como se ha mencionado anteriormente son la iluminación, calefacción y como reemplazo de la gasolina o diesel en motores de combustión interna (MCI) y turbinas a gas (TG).

• El biogás como combustible en motogeneradores:

- Motores con combustible dual
- Motores especiales para biogás (incluyen el pretratamiento del gas)

• Generadores a Gas

- Son versátiles para funcionar con biogás y otras gases alternativos (al funcionar con biogás se pierde un 10% de potencia en el motor, lo que conlleva el mismo nivel de pérdidas en la generación de electricidad)

– Motores Diesel adaptados para funcionar con biogás

Con respecto a los MCI algunos fabricantes utilizan el diseño del motor básico para el funcionamiento con gas natural y diesel, solo le implementaron los dispositivos para adaptar los motores para la utilización de biogás: Filtro para la captación del sulfuro de hidrógeno en el biogás, Sistema de encendido electrónico, Sistema de tratamiento de gases de escape, Control de combustión y Mezclador de Aire-Biogás.



Generador con motor diesel adaptado



Generador para motor con biogás

Figura 3-2 Motor de Combustión Interna y Generador para motor con biogás

Fuente: www.capstone.com

Otra de las aplicaciones en la generación de energía eléctrica con biogás es el empleo de TG que son las máquinas motrices de combustión más fiables. Sus aplicaciones en el campo aeronáutico e industrial son ampliamente conocidas. El concepto de microturbina es el mismo que el de la turbina de gas convencional pero de un tamaño muy reducido. Su potencia eléctrica para el uso con biogás va desde los 200 kW a menor escala.



C30 MicroTurbine

Figura 3-3 Microturbina Capstone

Fuente: www.capstone.com

3.3 Selección del esquema energético y su evaluación

De acuerdo a los datos obtenidos en el punto 2.5 se procederá a evaluar la potencia eléctrica que se generará para cada agencia. Los resultados son los siguientes para el método de coeficiente de rendimiento del estiércol:

Agencia de San Isidro Siniyuco

Se evaluó para grupos electrógenos de eficiencias de 29% para un M.C.I. y 26% para una T.G. obteniéndose los siguientes resultados.

Para una eficiencia del 29% se tiene que:

$$\text{Potencia} = 87.39 [\text{kW}_{\text{Químicos}}] \times 0.29$$

Finalmente:

$$\text{Potencia} = 25.34 [\text{kW}_e]$$

Para una eficiencia del 26% se tiene que:

$$\text{Potencia} = 87.39 [\text{kW}_{\text{Químicos}}] \times 0.26$$

Finalmente

$$\text{Potencia} = 22.72 [\text{kW}_e]$$

Agencia de San José Sinicahua

Para una eficiencia del 29% se tiene que:

$$\text{Potencia} = 147.4 [\text{kW}_{\text{Químicos}}] \times 0.29$$

Finalmente:

$$\text{Potencia} = 42.74 [\text{kW}_e]$$

Para una eficiencia del 26% se tiene que:

$$\text{Potencia} = 147.4 [\text{kW}_{\text{Químicos}}] \times 0.26$$

Finalmente

$$\text{Potencia} = 38.32 [\text{kW}_e]$$

Agencia de Yosocahua

Para una eficiencia del 29% se tiene que:

$$\text{Potencia} = 137.3 [\text{kW}_{\text{Químicos}}] \times 0.29$$

Finalmente:

$$\text{Potencia} = 39.81 [\text{kW}_e]$$

Para una eficiencia del 26% se tiene que:

$$\text{Potencia} = 137.3 \left[\text{kW}_{\text{Químicos}} \right] \times 0.26$$

Finalmente:

$$\text{Potencia} = 35.69 \left[\text{kW}_e \right]$$

Resultados obtenidos considerando un grupo electrógeno cuya eficiencia es de 29% y 26%.

Agencia de Estudio	Volumen [m ³ de Biogás Seco/día]	Potencia [kWe] Eficiencia 29%	Potencia [kWe] Eficiencia 26%
San Isidro Siniyuco	362.3238	25.34	22.72
San José Sinicahua	611.1128	42.74	38.32
Yosocahua	569.2989	39.81	35.69

Tabla 3-1 Estimación del potencial energético de las Agencias de Estudio
Fuente: Propia

Por otro lado la evaluación de los resultados por agencia mediante el método de la simulación del software RETSCREEN son los siguientes:

Agencia de San Isidro Siniyuco

Se evaluó para grupos electrógenos de eficiencias de 29% para un M.C.I. y 26% para una T.G. obteniéndose los siguientes resultados.

Para una eficiencia del 29% se tiene que:

$$\text{Potencia} = 30.65 \left[\text{kW}_{\text{Químicos}} \right] \times 0.29$$

Finalmente:

$$\text{Potencia} = 8.89 \left[\text{kW}_e \right]$$

Para una eficiencia del 26% se tiene que:

$$\text{Potencia} = 30.65 \left[\text{kW}_{\text{Químicos}} \right] \times 0.26$$

Finalmente

$$\text{Potencia} = 7.969 \left[\text{kW}_e \right]$$

Agencia de San José Sinicahua

Para una eficiencia del 29% se tiene que:

$$\text{Potencia} = 60.62 \left[\text{kW}_{\text{Químicos}} \right] \times 0.29$$

Finalmente:

$$\text{Potencia} = 17.58 [\text{kW}_e]$$

Para una eficiencia del 26% se tiene que:

$$\text{Potencia} = 60.62 [\text{kW}_{\text{Químicos}}] \times 0.26$$

Finalmente:

$$\text{Potencia} = 15.76 [\text{kW}_e]$$

Agencia de Yosocahua

Para una eficiencia del 29% se tiene que:

$$\text{Potencia} = 51.68 [\text{kW}_{\text{Químicos}}] \times 0.29$$

Finalmente:

$$\text{Potencia} = 14.98 [\text{kW}_e]$$

Para una eficiencia del 26% se tiene que:

$$\text{Potencia} = 51.68 [\text{kW}_{\text{Químicos}}] \times 0.26$$

Finalmente

$$\text{Potencia} = 13.43 [\text{kW}_e]$$

Por otro lado la evaluación de los resultados por agencia mediante el método de la FAO son los siguientes:

Agencia de San Isidro Siniyuco

Se evaluó para grupos electrógenos de eficiencias de 29% para un M.C.I. y 26% para una T.G. obteniéndose los siguientes resultados.

Para una eficiencia del 29% se tiene que:

$$\text{Potencia} = 59.9622 [\text{kW}_{\text{Químicos}}] \times 0.29$$

Finalmente:

$$\text{Potencia} = 17.39 [\text{kW}_e]$$

Para una eficiencia del 26% se tiene que:

$$\text{Potencia} = 59.9622 [\text{kW}_{\text{Químicos}}] \times 0.26$$

Finalmente

$$\text{Potencia} = 15.59 [\text{kW}_e]$$

Agencia de San José

Para una eficiencia del 29% se tiene que:

$$\text{Potencia} = 66.0493 [\text{kW}_{\text{Químicos}}] \times 0.29$$

Finalmente:

$$\text{Potencia} = 19.15 [\text{kW}_e]$$

Para una eficiencia del 26% se tiene que:

$$\text{Potencia} = 66.0493 [\text{kW}_{\text{Químicos}}] \times 0.26$$

Finalmente

$$\text{Potencia} = 17.17 [\text{kW}_e]$$

Agencia de Yosocahua

Para una eficiencia del 29% se tiene que:

$$\text{Potencia} = 69.5015 [\text{kW}_{\text{Químicos}}] \times 0.29$$

Finalmente:

$$\text{Potencia} = 20.15 [\text{kW}_e]$$

Para una eficiencia del 26% se tiene que:

$$\text{Potencia} = 69.5015 [\text{kW}_{\text{Químicos}}] \times 0.26$$

Finalmente

$$\text{Potencia} = 18.07 [\text{kW}_e]$$

En la tabla 3-2 se representa el potencial de generación eléctrico obtenido a partir de los escenarios descritos anteriormente. Los cuales se evaluaron a partir del biogás.

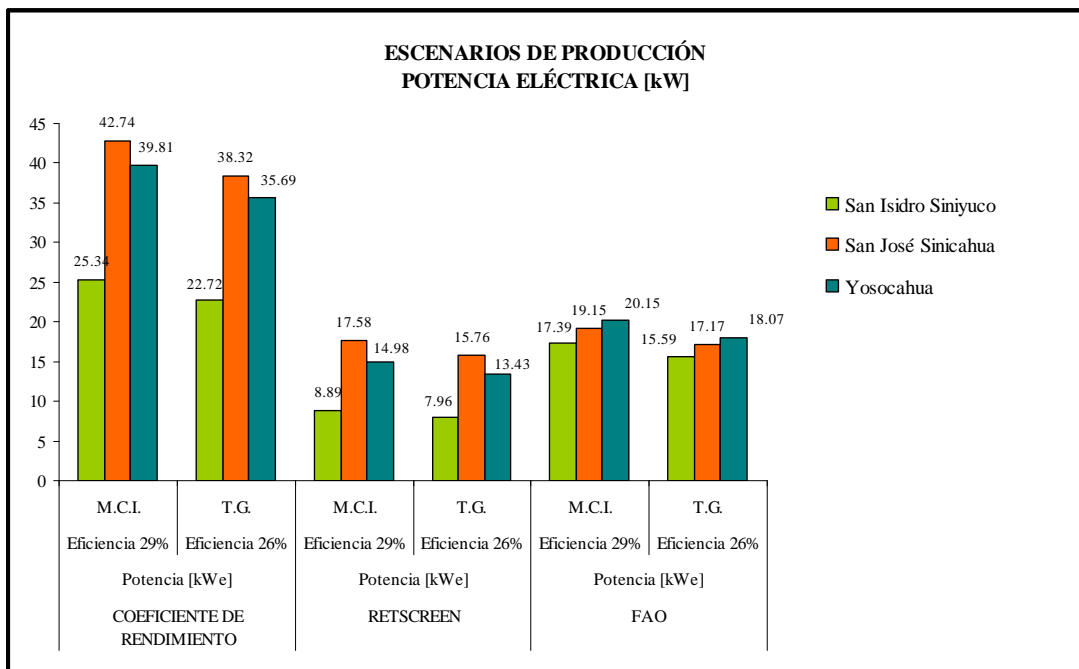
De la gráfica 3-1 se puede observar que existen grandes variaciones entre los distintos escenarios pero todos son válidos para fines teóricos, debido a esto y para no causar falsas expectativas se decidió optar por el método de simulación del software RETSCREEN. En donde podemos apreciar que la potencia eléctrica esperada es de 17.58 kWe, en el caso de optar por la tecnología de un motor de combustión interna y de 15.76 kWe para el una microturbina de gas.

Al comparar los tres métodos empleados para la estimación de los cálculos tenemos lo siguiente:

Método	COEFICIENTE DE RENDIMIENTO		RETSCREEN		FAO	
	Potencia [kWe]		Potencia [kWe]		Potencia [kWe]	
Agencia de Estudio	Eficiencia 29%	Eficiencia 26%	Eficiencia 29%	Eficiencia 26%	Eficiencia 29%	Eficiencia 26%
	M.C.I.	T.G.	M.C.I.	T.G.	M.C.I.	T.G.
San Isidro Siniyuco	25.34	22.72	8.89	7.96	17.39	15.59
San José Sinicahua	42.74	38.32	17.58	15.76	19.15	17.17
Yosocahua	39.81	35.69	14.98	13.43	20.15	18.07

Tabla 3-2 Comparativo de los diversos escenarios, para la obtención del potencial energético
Fuente: Propia

Los datos mencionados pertenecen a la agencia de estudio seleccionada, es decir para San José Sinicahua; posteriormente se procederá a la descripción de los esquemas de generación mostrados a continuación.



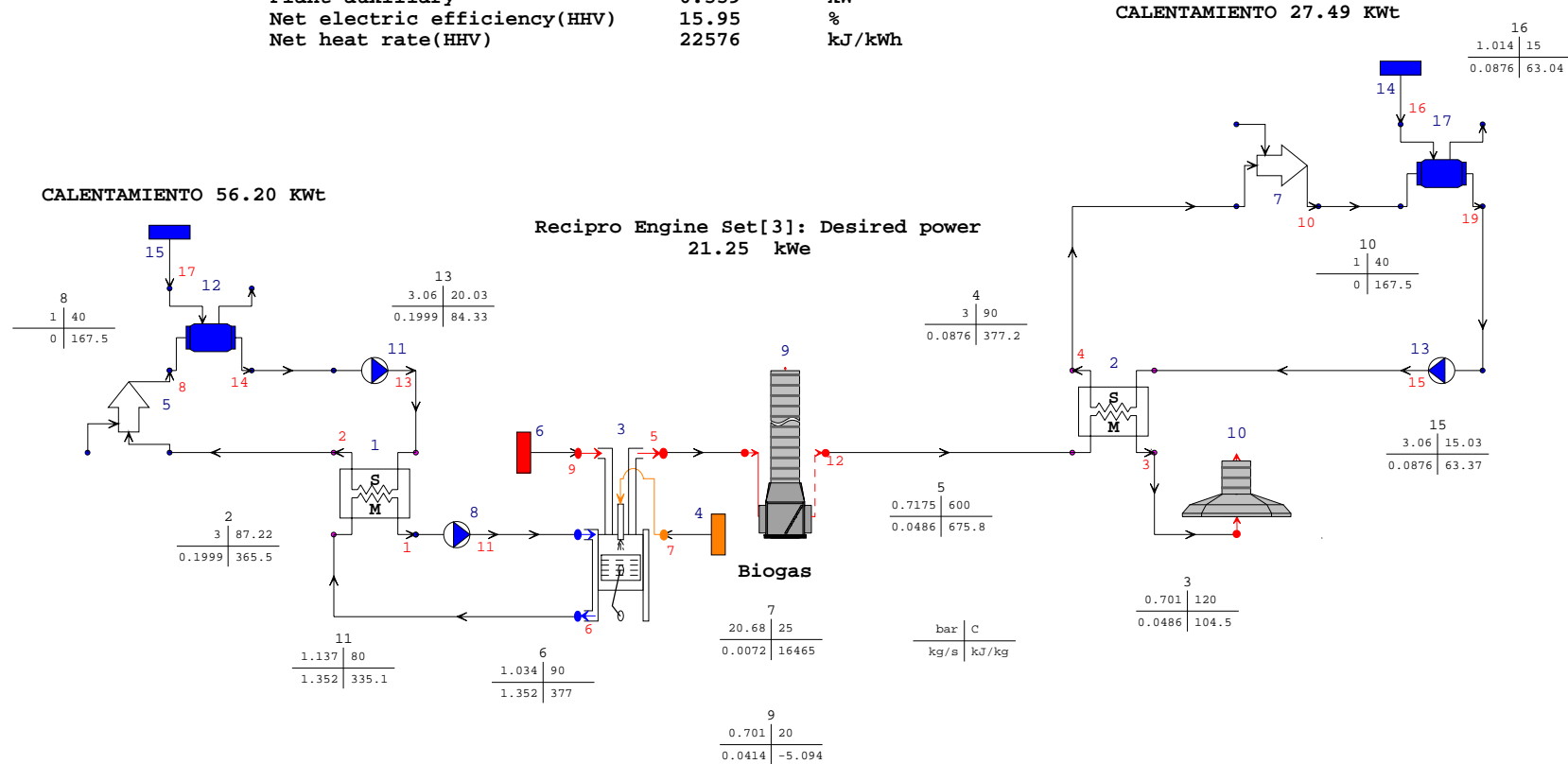
Gráfica 3-1 Escenarios de producción de potencia eléctrica por Agencia de estudio
Fuente: Propia

SIMULACIÓN DEL ESQUEMA ENERGETICO EN BASE A UN GRUPO ELECTROGENO QUE OPERA CON BIOGAS, SE GENERAN 21.25 KW ELECTRICOS Y SE RECUPERA CALOR PARA OBTENER AGUA CALIENTE 83.7 Kwt. PARTIENDO DEL SUMINISTRO DE 118.54 KWq DE BIOGAS, PARA LOGRAR UNA EFICIENCIA BRUTA DE 92.3%

Site Menu: Site altitude
3000 m

bar	C
kg/s	kJ/kg

Ambient pressure	0.701	bar
Ambient temperature	20	C
Gross power	21.25	kW
Gross electric efficiency(LHV)	17.97	%
Net power	20.91	kW
PURPA efficiency	92.3	%
Plant auxiliary	0.339	kW
Net electric efficiency(HHV)	15.95	%
Net heat rate(HHV)	22576	kJ/kWh



THERMOFLEX Version 16.0 SISTENER2 Universidad Nacional Autonoma de Mexico - UNAM
1532 File = C:\Documents and Settings\Gabo\Mis documentos\CIA\2008\POSGRADO\TRABAJO\TESIS\ARACEL\SIMULACIÓN THERMOFLOW\ESQUEMA chp 19 AGOSTO.tfx 08-19-2008

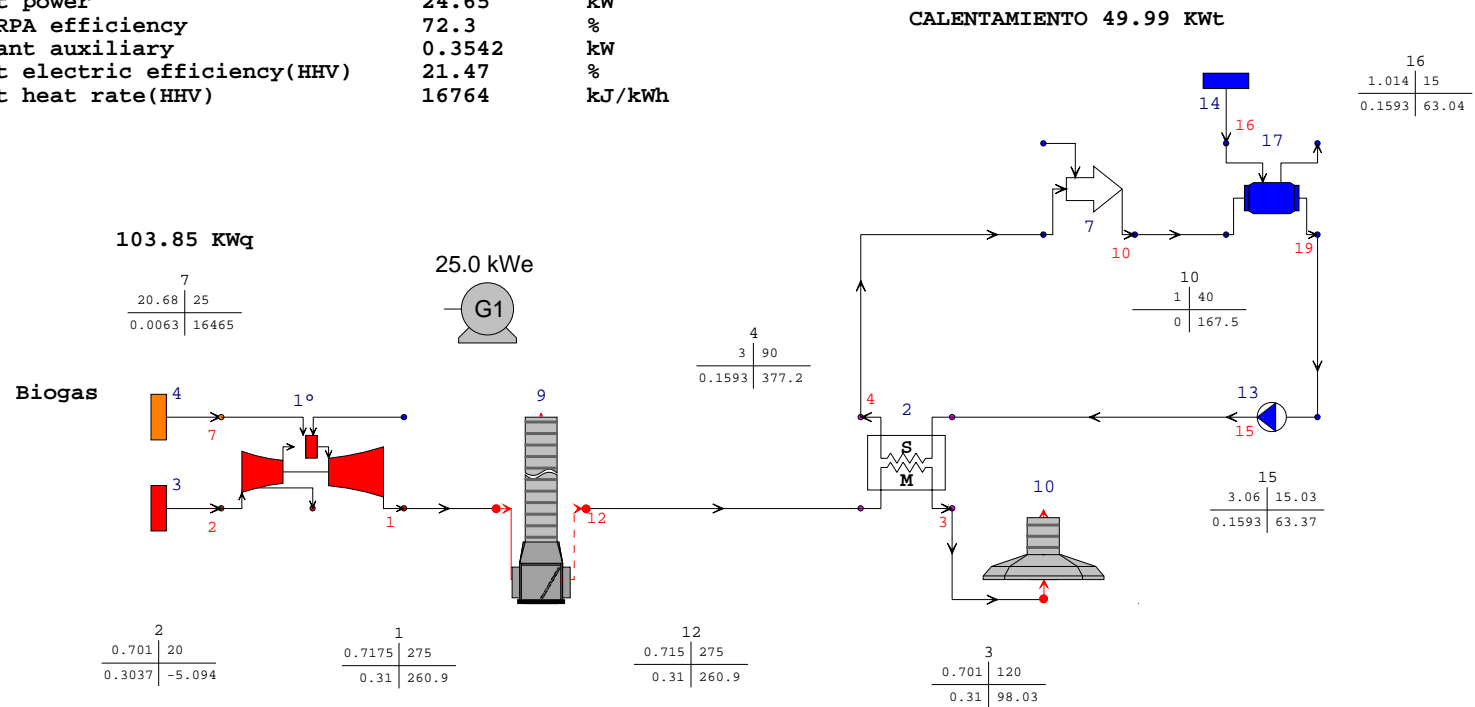
Figura 3-4 Simulación del esquema energético en base a un grupo electrógeno que opera con biogás (Motor de Combustión Interna)
Fuente: Thermoflex Versión 16.0

SIMULACIÓN DEL ESQUEMA ENERGETICO EN BASE A UNA MICROTURBINA DE GAS QUE OPERA CON BIOGAS, SE GENERAN 25 KW ELECTRICOS Y SE RECUPERA CALOR PARA OBTENER AGUA CALIENTE (49.99 KWt). PARTIENDO DEL SUMINISTRO DE 103.54 KWq DE BIOGAS, PARA LOGRAR UNA EFICIENCIA BRUTA DE 72.3%

Site Menu: Site altitude
3000 m

bar	C
kg/s	kJ/kg

Ambient pressure	0.701	bar
Ambient temperature	20	C
Gross power	25	kW
Gross electric efficiency(LHV)	24.16	%
Net power	24.65	kW
PURPA efficiency	72.3	%
Plant auxiliary	0.3542	kW
Net electric efficiency(HHV)	21.47	%
Net heat rate(HHV)	16764	kJ/kWh



THERMOFLEX Version 16.0. SISTENER2. Universidad Nacional Autonoma de Mexico - UNAM
1532 File = C:\Documents and Settings\Gabo\Mis documentos\CIA\2008\POSGRADO\TRABAJO\TESIS\ARACEL\SIMULACIÓN THERMOFLOW\ESQUEMA TG-EXCHANGER chp 1!

Figura 3-5 Simulación del esquema energético en base a un grupo electrógeno que opera con biogás (Turbina de Gas)
Fuente: Thermoflex Versión 16.0

3.4 Evaluación económica

El estudio de la evaluación económica permitirá obtener resultados que demuestren la viabilidad del proyecto mediante los indicadores de rentabilidad empleados para la evaluación de proyectos.

El valor energético de biogás varía dependiendo la concentración de CH₄ y CO₂, por lo tanto su valor oscila entre 4 y 7 kWh/m³ biogás. Entre más alto sea el contenido de CH₄, más alto será su valor energético.

Los resultados que permitirán obtener los parámetros económicos se derivan de un análisis técnico, representado en las figuras 3-4 y 3-5; el primer caso para un motor de combustión interna y el segundo para una turbina de gas.

Indicadores de rentabilidad empleados en la evaluación de proyectos de inversión.

- Valor Actual neto.
- Relación costo / beneficio (B/C).
- Tasa Interna de rendimiento. (TIR)
- Período de recuperación del capital. (PRC).

Elementos metodológicos asumidos por la técnica de valor presente o valor actual

El costo de adquisición de un activo de inversión se puede expresar como un flujo de inversiones dada la siguiente formula:

$$P_I = \frac{P_0}{(1+i)^0} + \frac{P_1}{(1+i)^1} + \frac{P_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{P_n}{(1+i)^n} \quad \text{Ecuación 3-1}$$

Donde P₀ es la inversión realizada durante el período de instalación, P₁, P₂, P_n son las inversiones realizadas anualmente.

La contraparte de las inversiones realizadas en el proyecto está presentada por los beneficios generados por dichas inversiones durante el período de operación del proyecto.

$$P_B = \frac{B_1}{1+i} + \frac{B_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{B_n}{(1+i)^n} \quad \text{Ecuación 3-2}$$

Donde B₁, B₂, B₃,..... B_n representa una serie de beneficios recibidos al final de cada año de operación y P es la suma de todos los flujos de efectivo anuales, descontando la tasa de descuento, "i".

La ecuación 3-1 define la función de los costos implicados en la adquisición de activos, la ecuación 3-2 define términos de los beneficios que dicha inversión producirá.

En la ecuación 3-1 el segundo miembro representa el flujo actualizado de las inversiones al que se denominará Valor Actual de la Inversión (VAI), mientras la ecuación 3-2, el segundo miembro representa el flujo actualizado de los beneficios, al cual se le denominará Valor Actual de los Beneficios (VAB).

- **Valor Presente Neto (VPN)**

Está dado por la diferencia del Valor Actual de los Beneficios y el Valor Actual de la Inversión:

$$VAN = VAB - VAI \quad \text{Ecuación 3-3}$$

Si el VAN es positivo o cero, el proyecto de acepta.

- **Relación Beneficio / Costo**

A diferencia del VAN, cuyos valores son en términos absolutos, este indicador financiero se expresa en términos relativos. Está dada por el cociente que hay entre VAN y el VAI.

$$\frac{B}{C} = \frac{VAN}{VAI} \quad \text{Ecuación 3-4}$$

Si $\frac{B}{C} \geq 1$, el proyecto de acepta

Si $\frac{B}{C} < 1$, el proyecto se rechaza.

- **Tasa Interna de Rendimiento (TIR)**

La TIR expresa la rentabilidad anual en términos porcentuales, es decir, si la TIR de un proyecto es de 15%, eso significa un rendimiento de 15% anual sobre el monto de la inversión.

La TIR no requiere de una tasa de descuento solamente requiere de una tasa denominada Tasa mínima Atractiva (TREMA).

- 1) La TIR Se puede definir de dos maneras: la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. Esto, en términos empleados, se traduce así:

TIR es la "i" que hace que la $VAN = 0$

TIR es la "i" que hace que la $VAB - VAI = 0$

- 2) Como la tasa de descuento que hace equivalente el Valor actual de los costos de adquisición de la inversión con el valor actual del flujo de beneficios generados por dicha inversión. O sea:

La TIR que hace que la $VAI = VAB$

Si el VAN es negativo, el proyecto se rechaza.

La formula de la TIR se puede comprobar volviendo a las ecuaciones 3-1 y 3-2. Si se igualan ambas ecuaciones, se observa un equilibrio entre los costos de adquisición de los activos y los beneficios generados por éstos.

Esta apreciación permite determinar la formula general de la TIR.

$$\frac{P_0}{(1+i)^0} + \frac{P_1}{(1+i)^1} + \dots + \frac{P_{(n-1)}}{(1+i)^{(n-1)}} = \frac{B_1}{(1+i)^1} + \frac{B_2}{(1+i)^2} + \frac{B_n}{(1+i)^n} \quad \text{Ecuación 3-5}$$

Si la TIR es mayor o igual que la TREMA, el proyecto se acepta.

Si la TIR es menor que la TREMA, el proyecto se rechaza.

A mayor relación TIR, mayor prioridad.

Evaluación Técnica para un Motor de Combustión Interna y una Turbina de Gas

La simulación del esquema energético con base a un grupo electrógeno que opera con biogás, para el caso de un Motor de Combustión Interna a una capacidad deseada de 21.25 kW eléctricos, se baso en los resultados obtenidos a partir del Software Thermoflex Versión 16.0 y se obtuvo el siguiente Balance Energético:

BALANCE DE ENERGIA			
		KW	
Energia quimica	100%	118.54	[kW quimicos]
Energia electrica bruta	18%	21.25	[kW eléctricos]
Energia termica bruta	71%	83.70	[kW térmicos]
Energia termica autoconsumo	21%	17.58	[kW térmicos]
Energia electrica autoconsumo	5%	1.06	[kW eléctricos]
Energia electrica neta	17%	20.19	[kW eléctricos]
Energia termica neta	56%	66.12	[kW térmicos]
Eficiencia bruta	89%		
Eficiencia neta	73%		
Condiciones de operación			
Operación		8760 h/año	
Factor de planta		88%	
Generación			
Generación eléctrica		155.621 MWh/año	
Generación Térmica		1,835,024.337 MJ/año	
Costo equivalente sistema convencional			
Tarifa electrica residencial, consumo menos a 250 KWh bimestrales		0.8 \$/KWh	
Costo del recibo electrico equivalente		124 \$/año	
Tarifa del kg de gas LP.		10 \$/Kg	
PCI L.P.		49200 KJ/Kg	
Eficiencia del boiler convencional		62%	
Consumo equivalente del L.P. De la generación termica		60.16 Kg/año	
Costo de la factura del L.P. Equivalente		602 \$/año	
Costo total equivalente sistema convencional		726 \$/año	

Tabla 3-3 Motor Ciclo Diesel.

Fuente: Propia

En seguida se mostrará el esquema energético en base a un grupo electrógeno que opera con biogás, pero ahora para una Turbina de Gas que opera a una Potencia Eléctrica Total de 25 [kW] con carga al 100 %. Los resultados se obtuvieron al igual que para el MTC, a partir del Software Thermoflex Versión 16.0, el Balance Energético se presenta a continuación:

BALANCE DE ENERGIA			
		KW	
Energia quimica	100%	103.54	[kW químicos]
Energia electrica bruta	24%	25.00	[kW eléctricos]
Energia termica bruta	48%	49.99	[kW térmicos]
Energia termica autoconsumo	21%	10.50	[kW térmicos]
Energia electrica autoconsumo	5%	1.25	[kW eléctricos]
Energia electrica neta	23%	23.75	[kW eléctricos]
Energia termica neta	38%	39.49	[kW térmicos]
Eficiencia bruta	72%		
Eficiencia neta	61%		
Condiciones de operación			
Operación		8760 h/año	
Factor de planta		88%	
Generación			
Generación eléctrica		183.084 MWh/año	
Generación Térmica		1,095,972.122 MJ/año	
Costo equivalente sistema convencional			
Tarifa electrica residencial, consumo menos a 250 KWh bimestrales		0.8 \$/KWh	
Costo del recibo electrico equivalente		146 \$/año	
Tarifa del kg de gas LP.		10 \$/Kg	
PCI L.P.		49200 KJ/Kg	
Eficiencia del boiler convencional		62%	
Consumo equivalente del L.P. De la generación termica		35.93 Kg/año	
Costo de la factura del L.P. Equivalente		359 \$/año	
Costo total equivalente sistema convencional		506 \$/año	

Tabla 3-4 Microturbina de Gas.

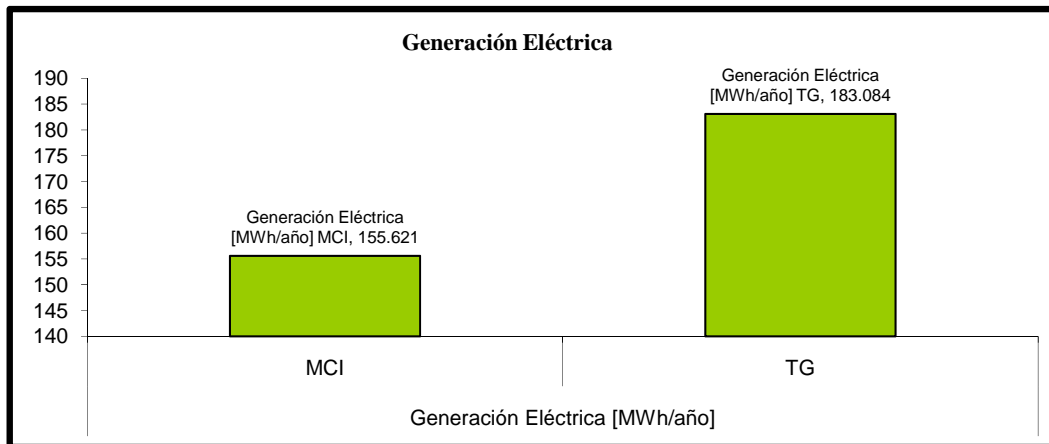
Fuente: Propia

De tal forma que al realizar los cálculos para el MCI y la TG los resultados los podemos resumir en la siguiente tabla:

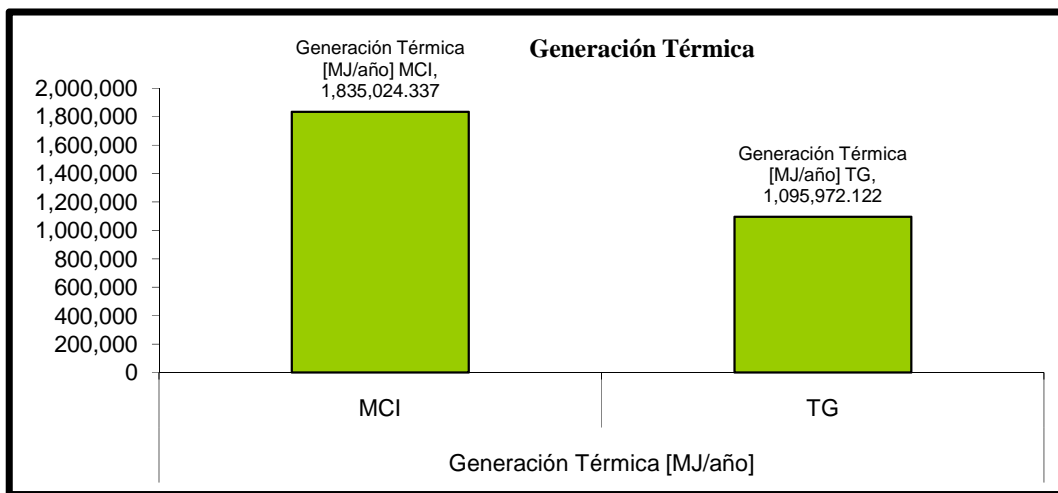
Generación Eléctrica [MWh/año]		Generación Térmica [MJ/año]	
MCI	TG	MCI	TG
155.621	183.084	1,835,024.337	1,095,972.122

Tabla 3-5 Tabla comparativa de Generación Eléctrica-Térmica

Fuente: Propia



Gráfica 3-2 Generación Eléctrica del MCI y TG.
Fuente: Propia



Gráfica 3-3 Generación Térmica del MCI y TG.
Fuente: Propia

Para obtener la generación eléctrica deseada en la localidad de San José Sinicahua, se tiene que comprar equipo de mayor capacidad, ya que la eficiencia de ambos equipos disminuye debido a la altitud.

Por tal motivo para este caso particular se propone el motor de combustión interna, ya que económicamente resulta ser más viable.

• **Inversión Inicial**

Inversión del Sistema de Generación		
Equipo de Generación	\$ en dólares 2009	Tipo de cambio al 19 Sep. 2009 13.26 pesos p/d
MCI de 25 kW	\$11,500.00	\$152,490.00
Recuperador de Calor	\$110.00	\$1,458.60
Compresores de Gas	\$1,380.00	\$18,298.80
Equipo Eléctrico	\$2,300.00	\$30,498.00
Subtotal	\$17,250.00	\$228,735.00
Costos varios		
Instalación	\$2,300.00	\$30,498.00
Ingeniería de Detalle	\$1,150.00	\$15,249.00
Administración y costos de proyecto	\$1,150.00	\$15,249.00
Puesta en marcha	\$1,150.00	\$15,249.00
Subtotal	\$5,750.00	\$76,245.00

Tabla 3-6 Inversión del Sistema de Generación
Fuente: Propia

Inversión para el Sistema de Recuperación de Biogás	Tipo de cambio al 19 Sep. 2009 13.26 pesos p/d
Tanque de Mezcla	
Escavación	\$1,326.00
Trabajo de albañilería	\$11,005.80
Bomba de estiércol	\$149,838.00
Otros (tuberías e instalación)	\$30,498.00
Subtotal	\$192,667.80
Digestor	
Escavación	\$4,641.00
Tanque del digestor	\$116,263.68
Sistema de calentamiento	\$15,646.80
Cubierta	\$12,358.32
Bomba de extracción de sedimentos	\$12,941.76
Subtotal	\$161,851.56
Otros equipos	
Tuberías de gas	\$17,901.00
Intercambiadores	\$10,608.00
Bomba de gas/metro	\$9,282.00
Subtotal	\$37,791.00

Asumiendo 750 cabezas de ganado promedio
Considerando 32 dólares por metro cúbico del digestor

Tabla 3-7 Inversión para el Sistema de Recuperación de biogás
Fuente: Propia

Para una Trema del 18% y una inversión de \$ 697, 290 se obtienen los siguientes parámetros económicos:

Pesos de 2009					
Análisis Económico					
AÑO	Costos CHP	Costos convencional	Resultado neto anual	Inversión inicial	18%
BASE					Flujo neto sin pagos F
2010				-\$ 697,290	-\$697,290
2011	\$ 111,566	\$ 758,738	\$ 647,172		-\$50,118
2012	\$ 116,587	\$ 792,882	\$ 676,295		\$626,176
2013	\$ 121,833	\$ 828,561	\$ 706,728		\$1,332,905
2014	\$ 127,316	\$ 865,847	\$ 738,531		\$2,071,435
2015	\$ 133,045	\$ 904,810	\$ 771,765		\$2,843,200
2016	\$ 139,032	\$ 945,526	\$ 806,494		\$3,649,694
2017	\$ 145,289	\$ 988,075	\$ 842,786		\$4,492,480
2018	\$ 151,827	\$ 1,032,538	\$ 880,712		\$5,373,192
2019	\$ 158,659	\$ 1,079,002	\$ 920,344		\$6,293,536
2020	\$ 165,798	\$ 1,127,558	\$ 961,759		\$7,255,295
2021	\$ 173,259	\$ 1,178,298	\$ 1,005,038		\$8,260,334
2022	\$ 181,056	\$ 1,231,321	\$ 1,050,265		\$9,310,599
2023	\$ 189,203	\$ 1,286,731	\$ 1,097,527		\$10,408,126
2024	\$ 197,718	\$ 1,344,633	\$ 1,146,916		\$11,555,042
2025	\$ 206,615	\$ 1,405,142	\$ 1,198,527		\$12,753,568
2026	\$ 215,913	\$ 1,468,373	\$ 1,252,461		\$14,006,029
2027	\$ 225,629	\$ 1,534,450	\$ 1,308,821		\$15,314,851
2028	\$ 235,782	\$ 1,603,500	\$ 1,367,718		\$16,682,569
VPN				-\$590,924	\$15,776,655

Económica		
Trema		18.00%
VPN en 2009		\$15,776,655
AE		\$3,020,997
B/C		26.70
TIR		97.31%
TIRM		38.92%
PR simple		1.07

Tabla 3-8 Análisis Económico del Proyecto

Fuente: Propia

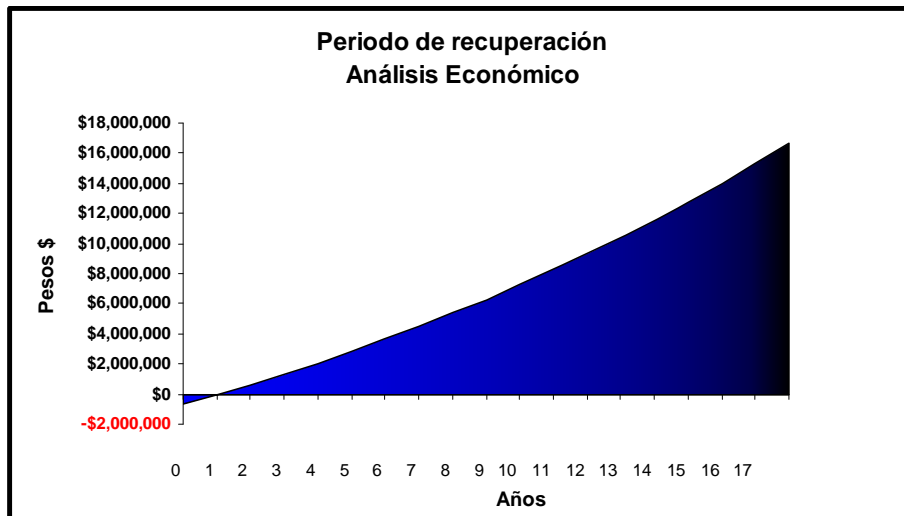
Debido a que la TIR resulta muy alta se opto por recalcular mediante la TIRM, ya que ésta es más real ya que implica que los beneficios del proyecto son reinvertidos a una tasa de inversión más común en el mercado para este caso del 13%.

Para realizar el análisis de sensibilidad se considera la misma TREMA del 18% y un incremento en la inversión del 20%, 30% y 40%, obteniendo los siguientes resultados.

Inversión inicial + el 20%			Inversión inicial + el 30%		
Trema		18.00%	Trema		18.00%
VPN en 2009		\$14,363,507	VPN en 2009		\$13,656,932
AE		\$2,750,400	AE		\$2,615,101
B/C		20.26	B/C		17.78
TIR		79.15%	TIR		72.16%
TIRM		34.39%	TIRM		33.19%
PR simple		1.32	PR simple		1.46

Inversión inicial + el 40%		
Trema		18.00%
VPN en 2009		\$12,950,356
AE		\$2,479,803
B/C		15.65
TIR		66.15%
TIRM		32.09%
PR simple		1.59

Tabla 3-9 Analisis de Sensibilidad del Proyecto
Fuente: Propia



Gráfica 3-4 Periodo de Recuperación para caso Base
Fuente: Propia

3.5 Conclusión

Al evaluar tanto técnica como económicamente los dos sistemas de generación propuestos se puede observar que técnicamente ambos Sistemas de Generación resultan muy atractivos pero se opto por el MCI debido a que económicamente es más viable.

Asumiendo éstos datos se estimo una inversión total de \$ 697, 290.36, para generar los indicadores de rentabilidad del proyecto. Para el análisis económico se considero una Tasas de Rendimiento Económica Mínima Atractiva del 18%, observándose que el VPN es de \$15,776,655 una AE de \$3,020,997, la relación B/C es de 26.70, una TIRM de 38.92% y un PR_{simple} de 1.07.

Para el aumento en la inversión del 20% se tiene: que el VPN es de \$14, 363,507 una AE de \$2, 750,400, la relación B/C es de 26.26, una TIRM de 34.39% y un PR_{simple} de 1.32.

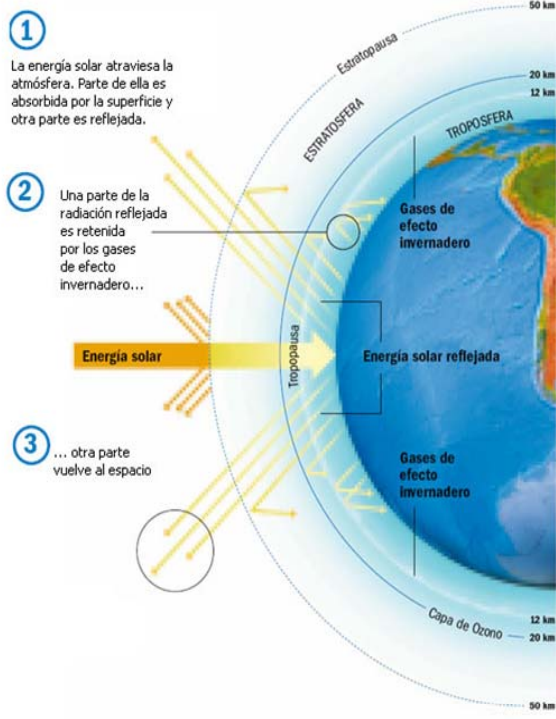
Para el aumento en la inversión del 30% se tiene: que el VPN es de \$13, 656,932 una AE de \$2, 615,101, la relación B/C es de 17.78, una TIRM de 33.19% y un PR_{simple} de 1.46.

Para el aumento en la inversión del 40% se tiene: que el VPN es de \$12,950, 356 una AE de \$2, 479,803, la relación B/C es de 15.65, una TIRM de 32.09% y un PR_{simple} de 1.59.

En todos los casos el proyecto resulta ser muy atractivo. Cabe destacar que en el presente trabajo sale del alcance de la tesis el análisis financiero.

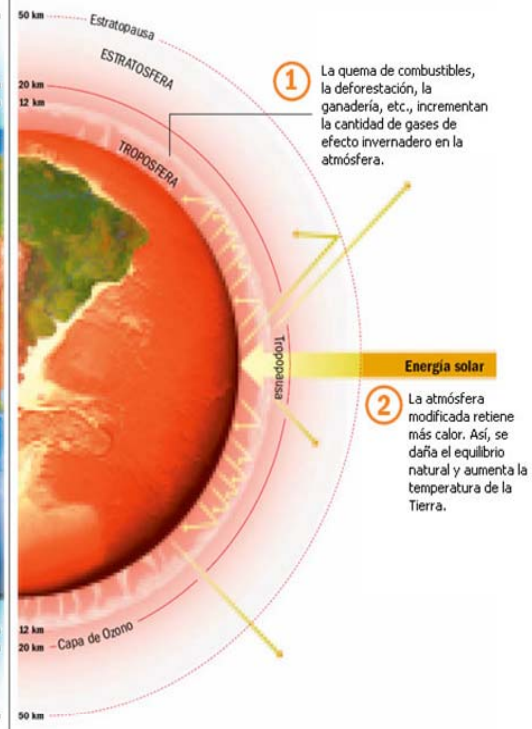
EL EFECTO INVERNADERO

Es el calentamiento natural de la Tierra. Los gases de efecto invernadero, presentes en la atmósfera, retienen parte del calor del Sol y mantienen una temperatura apta para la vida.



EL CALENTAMIENTO GLOBAL

Es el incremento a largo plazo en la temperatura promedio de la atmósfera. Se debe a la emisión de gases de efecto invernadero que se desprenden por actividades del hombre.



CAPÍTULO 4

CONSIDERACIONES AMBIENTALES Y SOCIALES

4.1 Introducción

En la aplicación de un proyecto en donde se desea aprovechar la biomasa, no se deben dejar pasar todas aquellas consideraciones tanto ambientales como sociales. El propósito de la evaluación ambiental es asegurar, que las opciones de desarrollo bajo consideración sean ambientalmente adecuadas y sustentables, y que toda consecuencia ambiental sea reconocida pronto en el ciclo del proyecto y tomada en cuenta para el diseño del mismo.

La evaluación ambiental identifica maneras de mejorar ambientalmente los proyectos y minimizar los impactos adversos. De esta forma al conocer de forma oportuna la problemática se puede:

- Tratar los problemas ambientales de manera oportuna y práctica.
- A su vez se reduce la necesidad de imponer limitaciones al proyecto, porque se pueden tomar los pasos apropiados con anticipación o incorporarlos dentro del diseño del proyecto.
- También se pueden evitar costos y demoras en la implementación producidos por problemas ambientales no anticipados.

Al igual que los análisis económicos, financieros, institucionales y de ingeniería, la evaluación ambiental forma parte de la preparación de un proyecto. A su vez las consideraciones ambientales son de gran importancia para la toma de decisiones referentes a la selección, ubicación y diseño del proyecto.

4.2 Impacto Ambiental

El desarrollo energético implica la realización de múltiples actividades y generación de productos y residuos que impactan sobre el medio ambiente. Las emisiones al ambiente resultado de estas actividades afectan al aire, el agua y los suelos, e inciden en el cambio climático (emisión de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero), de lo cual se mencionara en los temas siguientes.

Los argumentos sobre el cambio climático global son irrefutables. Ciertamente, se necesita que los países del mundo sean mejores administradores del planeta, aun cuando continúe con el crecimiento y el desarrollo. Encontrar ese equilibrio, desarrollo sustentable, es muy importante para el sector en nuestro país.

Es de vital importancia el uso sustentable de los recursos naturales energéticos, incrementar la eficiencia en el uso de la energía y la utilización de energías renovables para contribuir a atenuar el impacto de las actividades económicas. Así, y de acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo en México, el sector busca proteger, conservar y aprovechar sustentablemente los recursos naturales y el medio ambiente.

Una visión del desempeño ambiental del sector energético mexicano puede obtenerse a través de indicadores tales como el porcentaje de energía de origen relativamente limpio, la diversidad energética de sus fuentes, la intensidad en el uso de energía para producir una unidad del producto y la intensidad de emisiones en el sector. Estos indicadores muestran el porcentaje en que el sector energético mexicano emplea combustibles con un menor impacto ambiental, la eficiencia en el uso que hace la energía en sus actividades productivas y el impacto ambiental generado por las emisiones de sus procesos de transformación.

4.3 Efecto de invernadero

Mientras que la atmósfera es relativamente transparente a la radiación solar, pequeñas cantidades de gases que constituyen menos del 1% de la atmósfera – conocidos como Gases de Efecto Invernadero GEI - absorben la radiación infrarroja emitida por la Tierra, actuando como un manto que impide el escape directo de esta radiación hacia el espacio, provocando entre otros efectos, un incremento del calentamiento de la superficie terrestre. A su vez, procesos climáticos de acción recíproca (como la radiación, las corrientes de aire, la evaporación, formación de nubes y tormentas) transportan finalmente dicha energía hacia altas esferas de la atmósfera y de ahí se libera al espacio.

Este es el denominado Efecto Invernadero, el cual ha operado en la atmósfera de la Tierra por millones de años, debido a la presencia de los GEI naturales: el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y el ozono (O_3). Si no existiesen estos gases, la temperatura promedio de la Tierra sería 30°C más baja que en la actualidad, haciendo la vida imposible en ella.

Debido a la actividad humana, en los últimos 200 años ha aumentado significativamente la emisión de los GEI naturales, además de que el hombre ha producido compuestos no naturales, como son los gases fluorados (CFC, HFC, CF, PFC, SF6), los cuales tienen un mayor potencial de calentamiento global.

Gases de Efecto invernadero (GEI)

El principal gas invernadero es el vapor de agua (H_2O), responsable de dos terceras partes del efecto invernadero natural. En la atmósfera, las moléculas de agua atrapan el calor que irradia la Tierra y la irradian a su vez en todas las direcciones, calentando la superficie terrestre, antes de devolverlo de nuevo al espacio.

El vapor de agua en la atmósfera forma parte del ciclo hidrológico, un sistema cerrado de circulación de agua, del cual existe una cantidad limitada en la Tierra (desde los océanos y la tierra a la atmósfera y vuelta a empezar a través de la evaporación y la transpiración, la condensación y la precipitación).

Las actividades humanas no añaden vapor de agua a la atmósfera, pero el aire calentado puede retener mucha más humedad, por lo que el aumento de las temperaturas intensifica aún más el cambio climático.

Dióxido de carbono: El elemento que más contribuye al efecto invernadero acentuado (artificial) es el dióxido de carbono (CO_2). En general, es responsable de más del 60% del efecto invernadero intensificado. En los países industrializados, el CO_2 representa más del 80% de las emisiones de gases invernadero.

En la Tierra existe una cantidad limitada de carbono que, como el agua, forma parte de un ciclo: el ciclo del carbono. Se trata de un sistema muy complejo en el que el carbono se desplaza por la atmósfera, la biosfera terrestre y los océanos. Las plantas absorben CO_2 de la atmósfera durante la fotosíntesis. Utilizan el carbono para construir sus tejidos y lo vuelven a liberar a la atmósfera cuando mueren y se descomponen. Los cuerpos de los animales (y los de los humanos) también contienen carbono, ya que están compuestos por el carbono obtenido de las plantas digeridas o de los animales que comen plantas. Este carbono se libera como CO_2 cuando respiran (respiración) y cuando mueren y se descomponen.

Los combustibles fósiles son los restos fosilizados de las plantas y animales muertos que se forman a lo largo de millones de años en determinadas condiciones, y por eso contienen una gran cantidad de carbono. En términos generales, el carbono es el resto de los bosques enterrados, mientras que el petróleo es la vida vegetal oceánica convertida. (Los océanos absorben CO_2 , que, en forma disuelta, se usa en la fotosíntesis de la vida marina). Cada año se intercambian miles de millones de toneladas de carbono de forma natural

entre la atmósfera, los océanos y la vegetación terrestre. Parece que los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera variaron menos del 10% durante los 10.000 años anteriores a la Revolución Industrial. Desde 1800, sin embargo, las concentraciones han aumentado aproximadamente un 30% por la quema de cantidades masivas de combustibles fósiles para producir energía – principalmente en los países desarrollados. En la actualidad, emitimos más de 25.000 millones de toneladas de CO₂ a la atmósfera cada año.

El CO₂ puede permanecer en la atmósfera entre 50 y 200 años, en función de cómo se recicle en la tierra o en los océanos.

Metano: el segundo gas que más contribuye al efecto invernadero acentuado es el metano (CH₄). Desde el principio de la Revolución Industrial, las concentraciones de metano en la atmósfera se han duplicado y han contribuido un 20% al incremento del efecto invernadero. En los países industrializados, el metano representa normalmente el 15% de las emisiones de los gases invernadero.

En la atmósfera, el metano retiene el calor y es 23 veces más efectivo que el CO₂. Su ciclo de vida es, sin embargo, más breve, entre 10 y 15 años.

Óxido nitroso: El óxido nitroso (N₂O) se libera de forma natural de los océanos y de las selvas tropicales gracias a las bacterias del suelo. Algunas de las fuentes influidas por el hombre son los abonos a base de nitrógeno, la quema de combustibles fósiles y la producción química industrial que utiliza nitrógeno, como el tratamiento de residuos. En los países industrializados, el N₂O representa aproximadamente el 6% de las emisiones de gases invernadero.

Al igual que el CO₂ y el metano, el óxido nitroso es un gas invernadero cuyas moléculas absorben el calor al tratar de escapar al espacio. El N₂O es 310 veces más efectivo que el CO₂ absorbiendo el calor. Desde el inicio de la Revolución Industrial, las concentraciones de óxido nitroso en la atmósfera han aumentado un 16% aproximadamente y han contribuido entre un 4 y un 6% a acentuar el efecto invernadero.

Gases fluorados de efecto invernadero: Son los únicos gases de efecto invernadero que no se producen de forma natural, sino que han sido desarrollados por el hombre con fines industriales. Representan alrededor del 15% de las emisiones de gases invernadero en los países industrializados, pero son extremadamente potentes - pueden atrapar el calor hasta 22.000 veces más eficazmente que el CO₂ – y pueden permanecer en la atmósfera durante miles de años.

Los gases fluorados de efecto invernadero incluyen los hidrofluorocarbonos (HFC) que se utilizan en la refrigeración, como el aire acondicionado, sulfuro hexafluoruro (SF₆), que se usa, por ejemplo, en la industria de la electrónica; y los perfluorocarbonos (PFC), que se emiten durante la fabricación de aluminio y se emplean también en la industria de la electrónica. Posiblemente los gases más conocidos de este grupo sean los clorofluorocarbonos (CFC), que no sólo son gases fluorados de efecto invernadero, sino que además reducen la capa de ozono.

El cambio climático global

El clima en la Tierra está condicionado por un continuo flujo de energía que proviene desde el Sol. Esta energía llega en forma de radiación, y alrededor del 30% de ella es inmediatamente reflejada por la superficie terrestre y la atmósfera, y el 70% restante pasa a través de la atmósfera y es absorbida por la superficie terrestre, calentándola y entibiando la atmósfera inferior. Esta energía es redistribuida por las circulaciones atmosféricas y oceánicas, y es irradiada nuevamente al espacio.

Para la media anual y para la Tierra en su conjunto, la energía de la radiación solar que ingresa se equilibra con la radiación terrestre saliente. Cualquier factor que altere la radiación recibida del Sol o la radiación liberada al espacio por la Tierra, o que altere la redistribución de energía dentro de la atmósfera y entre la atmósfera, tierra y océano, puede afectar el clima.

El clima global varía naturalmente, pero los científicos concuerdan en que las crecientes concentraciones de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera de la Tierra están conduciendo a un cambio climático, que es considerado como una de las amenazas más serias para el medio ambiente global; según se prevé, tendrá un impacto negativo sobre la salud de los seres humanos, su seguridad alimentaria, la actividad económica, el agua y otros recursos naturales y de infraestructura física.

Gases	Fuentes
Vapor de agua (H ₂ O)	El vapor de agua en la atmósfera forma parte del ciclo hidrológico
Dióxido de carbono (CO ₂)	Quema de combustibles fósiles (carbón, derivados de petróleo y gas), reacciones químicas en procesos industriales (como la producción de cemento y acero), cambio en uso de suelo (deforestación).
Metano (CH ₄).	Descomposición anaerobia (cultivo de arroz, rellenos sanitarios, estiércol), escape de gas en minas y pozos petroleros.
Óxido nitroso (N ₂ O)	Producción y uso de fertilizantes nitrogenados, quema de combustibles fósiles.
Hidrofluorocarbonos (HFCs)	Procesos de manufactura: usados como refrigerantes.
Perfluorocarbonos (PFCs)	Procesos de manufactura: usados como refrigerantes.
Hexafluoruro de Azufre (SF ₆)	Procesos de manufactura donde se usa como fluido dieléctrico.

Tabla 4-1 Gases de efecto invernadero

Fuente: Guía del Mecanismo de Desarrollo Limpio para Proyectos del Sector Energía en Chile

Efectos del cambio climático

Actualmente, existe un fuerte consenso científico que el clima global se verá alterado significativamente, en el siglo XXI, como resultado del aumento de concentraciones de gases invernadero tales como el dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y clorofluorocarbonos (Houghton et al., 1990, 1992). Estos gases están atrapando una porción creciente de radiación infrarroja terrestre y se espera que harán aumentar la temperatura planetaria entre 1,5 y 4,5 °C. Como respuesta a esto, se estima que los patrones de precipitación global, también se alteren. Aunque existe un acuerdo general sobre estas conclusiones, hay una gran incertidumbre con respecto a las magnitudes y las tasas de estos cambios a escalas regionales (EEI, 1997).

Algunos de los efectos del cambio climático serán: grandes alteraciones en los ecosistemas globales. Trabajos científicos sugieren que los rangos de especies arbóreas, podrán variar significativamente como resultado del cambio climático global. Por ejemplo, estudios realizados en Canadá proyectan pérdidas de aproximadamente 170 millones de hectáreas de bosques en el sur Canadiense y ganancias de 70 millones de hectáreas en el norte de Canadá, por ello un cambio climático global como el que se sugiere, implicaría una pérdida neta de 100 millones de hectáreas de bosques (Sargent, 1988).

Aún así, hay una considerable incertidumbre con respecto a las implicaciones del cambio climático global y las respuestas de los ecosistemas, que a su vez, pueden traducirse en desequilibrios económicos (EEI, 1997). Este tema será de vital importancia en países que dependen fuertemente de recursos naturales.

Con respecto al impacto directo sobre seres humanos, se puede incluir la expansión del área de enfermedades infecciosas tropicales (Becker, 1997), inundaciones de terrenos costeros y ciudades, tormentas más intensas, las extinción de incontables especies de plantas y animales, fracasos en cultivos en áreas vulnerables, aumento de sequías, etc. (Lashof, 1997).

4.4 El protocolo de Kyoto

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), se estableció en el año 1992 durante la Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible en Río de Janeiro, y ha sido firmada por 189 países decididos a hacer frente al problema del cambio climático, mediante el control de las emisiones de gases de efecto invernadero que se liberan a la atmósfera.

La CMNUCC divide a los países en dos grupos: las Partes Anexo I, que son los países industrializados que históricamente han contribuido mayormente al cambio climático, y las Partes No Anexo I, que son principalmente los países en desarrollo.

El Protocolo de Kyoto (PK) es un instrumento legal vinculante adoptado por la CMNUCC por el cual se establecen metas para la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que son obligatorias para los países Anexo I. Estas metas de reducción se han establecido para un primer período que va desde el año 2008 al 2012. Los países No Anexo I no tienen obligaciones de reducción de emisiones.

El Protocolo de Kyoto (PK) es un acuerdo internacional asumido en 1997 en el ámbito de Naciones Unidas que trata de frenar el cambio climático. Uno de sus objetivos es contener las emisiones de los gases que aceleran el calentamiento global, y hasta la fecha ha sido ratificado por 166 países, México lo ratificó en el 2000 como país, es decir sin compromisos cuantitativos.

Este acuerdo impone para 39 países que se consideran desarrollados (no afecta a los países en vías de desarrollo como Brasil, India o China) la contención o reducción de sus emisiones de gases de efecto invernadero.

Para llevar a cabo esta reducción de emisiones de acuerdo al Protocolo de Kyoto, se tomaron como base las emisiones generadas en el año 1990, de forma, que los países que acatan el protocolo deberán reducir sus emisiones en un 8%. Para verificar el cumplimiento se medirá la media de emisiones desde el año 2008 hasta el 2012.

La Unión Europea tiene fijada una reducción del 8%, si bien se realizó un reparto entre sus países miembros, de forma, que por ejemplo a España, se le consentiría un aumento en sus emisiones de 15% partiendo como base de sus emisiones en 1990.

El problema para España radica, en que, hasta la fecha, estas emisiones han aumentado en un 53%, lo que complica en gran medida el cumplimiento del protocolo de Kyoto.

España no tomó medidas para cumplir el protocolo de Kyoto hasta 2004, por lo que está en una situación difícil, y muy posiblemente deberá comprar derechos de emisión a otros países que han conseguido reducir sus emisiones más de lo fijado. De este modo se intentará que la unión europea cumpla sus previsiones. En el año 2002, la UE había conseguido reducir en un 2,9% sus emisiones con respecto a 1990.

Estados Unidos es otro de los grandes protagonistas en el protocolo de Kyoto, ya que aunque firmo el acuerdo en 1998, lo rechazó posteriormente, y hasta el momento se niega a ratificarlo. Los miembros del tratado están estudiando nuevas fórmulas para que Estados Unidos y otros países muy contaminantes en vías de desarrollo, firmen el acuerdo y reduzcan sus emisiones.

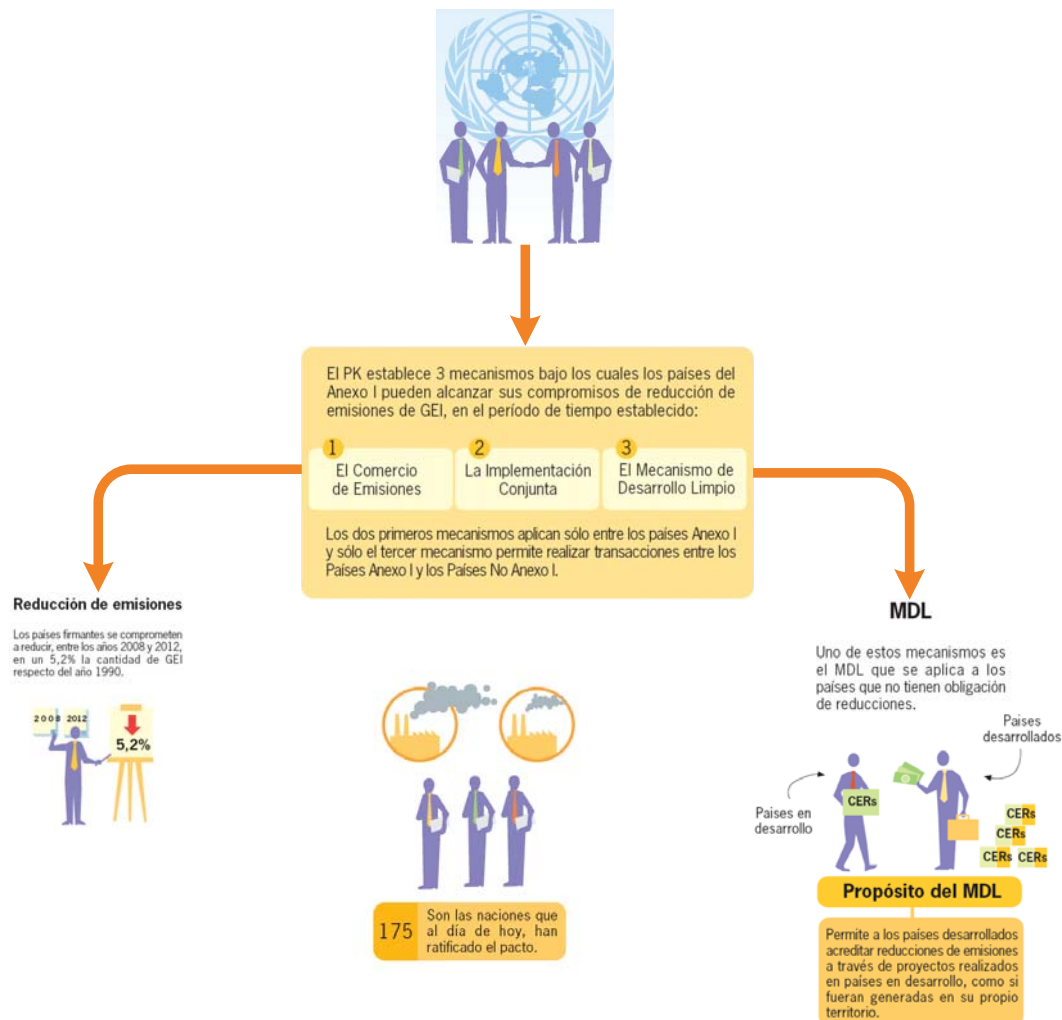


Figura 4-1 Esquema representativo Protocolo de Kyoto

Fuente: Guía del Mecanismo de Desarrollo Limpio para Proyectos del Sector Energía en Chile

MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio)

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) es un mecanismo del Protocolo de Kyoto basado en proyectos, que tiene como objetivo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en países en desarrollo.

El MDL se define en el Artículo 12 del Protocolo de Kyoto:

"El propósito del mecanismo para un desarrollo limpio es ayudar a las Partes no incluidas en el Anexo I a lograr un desarrollo sostenible y contribuir al objetivo último de la Convención, así como ayudar a las

Partes incluidas en el Anexo I a dar cumplimiento a sus compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones contraídos en virtud del Artículo 3."

La CMNUCC ha diferenciado los proyectos MDL en tres grandes grupos:

a) Proyectos regulares o de gran escala (Large Scale Projects)

Categorías de Proyectos de Gran Escala

- 1) Industrias de energía (de fuentes renovables y no renovables)
- 2) Distribución de energía
- 3) Demanda de energía
- 4) Industrias de manufactura
- 5) Industrias químicas
- 6) Construcción
- 7) Transporte
- 8) Producción de mineral/minería
- 9) Producción de metal
- 10) Emisiones fugitivas de combustibles (sólidos, gaseosos y aceites)
- 11) Emisiones fugitivas de producción y consumo de halocarbonados y hexafluoruro de azufre
- 12) Uso de solventes
- 13) Manejos y disposición de residuos
- 14) Forestación y reforestación
- 15) Agricultura

b) Proyectos de pequeña escala (Small Scale Projects)

Categorías de Proyectos de Pequeña Escala

- 1) Proyectos con energías renovables.
- 2) Proyectos de mejoras en la eficiencia energética.
- 3) Otros proyectos.

c) Proyectos de forestación y reforestación (Afforestation and Reforestation Projects)

Si bien los proyectos de forestación y reforestación son un subtipo dentro de los proyectos de Gran Escala (a), la forma de desarrollo de este tipo de proyectos (tipo de metodologías, certificación de emisiones, tipo de reducciones, períodos de acreditación, demostración de la adicionalidad, etc.) es sustancialmente diferente al tratarse de proyectos de captura de carbono y no de reducción de emisiones. Es por esta razón que se crea un rubro especial para las Metodologías de Línea Base y Monitoreo específicas para proyectos de forestación y reforestación.

Todo proyecto de reducción de emisiones de GEI, que forme parte del Mecanismo de Desarrollo Limpio (Proyecto MDL) debe cumplir con las siguientes condiciones:

- a) Reducir alguno de los siguientes gases de efecto invernadero indicados en el Anexo A del Protocolo de Kyoto.
 - Dióxido de Carbono (CO₂)
 - Metano (CH₄)
 - Óxido Nitroso (N₂O)
 - Hidrofluorocarbonos (HFC)

- Perfluorocarbonos (PFC)
 - Hexafluoruro de Azufre (SF₆)
- b) Participación voluntaria.
- c) Reducir emisiones consideradas adicionales a las que se producirían en ausencia de la actividad del proyecto.
- d) Demostrar tener beneficios reales, mensurables y de largo plazo en relación con la mitigación de los gases de efecto invernadero.
- e) Contribuir al desarrollo sostenible del país.
- f) Ser desarrollado en un país que haya ratificado el Protocolo de Kyoto (PK) y que posea una Autoridad Nacional Designada (DNA) para el MDL.

Comercialización de Bonos de Carbono

El Mercado del Carbono es un sistema de comercio a través del cual los gobiernos, empresas o individuos pueden vender o adquirir reducciones de emisiones de GEI. El Mercado del Carbono se concreta como cualquier otro mercado, es decir, cuando hay un bien transferible que negociar entre un comprador y un vendedor, y se llega a un acuerdo del valor de este bien para cada parte. El comercio de reducciones de emisiones está basado en dos puntos:

- a) No importa en qué parte del planeta se eviten las emisiones de GEI, el efecto global es el mismo, por lo que se permiten transacciones entre países muy distantes geográficamente.
- b) En términos ambientales, no es tan importante si las emisiones se evitan hoy o en unos años. Dado el tiempo de permanencia de los GEI en la atmósfera, el efecto ambiental de evitar las emisiones el día de hoy o en unos años es el mismo, siempre y cuando realmente se evite la emisión.

El Mercado del Carbono comprende dos tipos de transacciones:

Las Transacciones basadas en Proyectos:

Se negocian reducciones cuantificables de un proyecto. Dentro de este tipo de transacciones funciona la Implementación Conjunta (IC) y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Cuando no han sido expedidas las certificaciones de las reducciones de emisiones se negocian reducciones futuras con diferentes riesgos que incluyen la no reducción de las emisiones esperadas, la no realización del proyecto, etc. Cuando las certificaciones ya han sido expedidas, se negocian reducciones que ya han sido realizadas y por tanto son bienes negociables reales y de menor riesgo.

El Comercio de Derechos de Emisión:

Se transan derechos de emisión creados y asignados, los cuales determinan un límite de emisiones para una determinada empresa o entidad (representan cantidades de emisión que se pueden liberar sin incurrir en una falta legal). El emitir menos de lo permitido, deja un margen de permisos de emisión (o derechos de emisión) que pueden ser vendidos a entidades, que por razones diversas, no consiguieron emitir menos del límite establecido. Estos derechos pueden ser por ejemplo, los determinados por el Sistema Europeo de Comercio de Emisiones (EU ETS), creado para cumplir las obligaciones de reducción de emisiones europeas ante el PK.

La participación de los países sudamericanos en este mercado se da por medio del MDL, el cual, como ya se explicó, permite vender las reducciones a los países desarrollados.

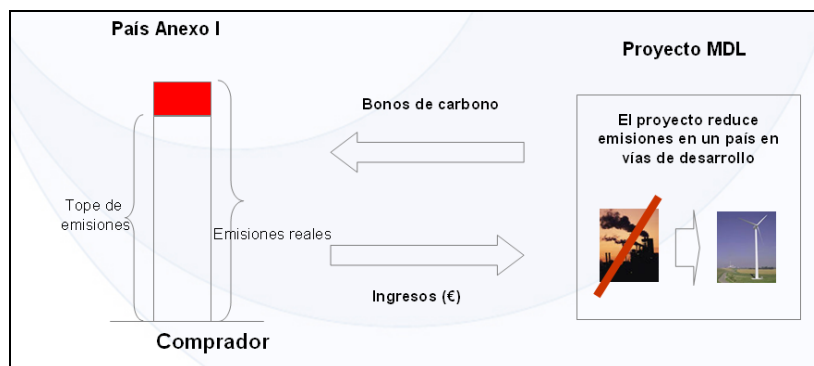


Figura 4-2 Diagrama esquemático. Bonos de carbono - Proyectos MDL

Fuente: Guía del Mecanismo de Desarrollo Limpio para Proyectos del Sector Energía en Chile

Los CERs son las Reducciones Certificadas de Emisiones (Certified Emission Reductions) y son también conocidos como "Bonos de Carbono". Los CERs se generan durante la fase de ejecución de un proyecto y constituyen derechos o créditos negociables dentro del Mercado del Carbono.

El CER es la unidad con la que trabaja el MDL y corresponde a una tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente.

1 CER = 1 Bono de Carbono = 1 Tonelada de dióxido de carbono equivalente (ton CO₂e)

Usualmente los GEI son contabilizados en ton de CO₂ equivalente, tomando como referencia su Potencial de Calentamiento Global, lo que se presenta en el siguiente cuadro.

Potencial de Calentamiento Global de GEI	
Gases de Efecto Invernadero (GEI)	Equivalencia en CO ₂ (CO ₂ e) de una medida de gas
Dióxido de Carbono CO ₂	1
Metano CH ₄	21
Óxido Nitroso N ₂ O	310
Hidrofluorocarbonos HFC	740
Perfluorocarbonos PFC	1.300
Hexafluoruro de azufre SF ₆	23.900

Tabla 4-2 Potencial de Calentamiento Global

Fuente: Guía del Mecanismo de Desarrollo Limpio para Proyectos del Sector Energía en Chile

Los CERs son únicamente expedidos después de la certificación de la reducción de emisiones que propone un Proyecto MDL.

Emisiones equivalentes del sistema propuesto en toneladas de CO₂ equivalentes/año.

Se estimaron 91,743 m³ de biogás anual en la Agencia de San José Sinicahua mediante el Software RETSCREEN de los cuales, la composición del biogás simulado en el programa de Thermoflex fue de 55% Metano y 41% de CO₂. Para el cálculo de las toneladas equivalentes de CO₂ en cuanto a la composición del metano se empleo el software que se muestra en la Figura 4-3.

$$(0.55 \text{ CH}_4) \times (91,743 \text{ m}^3) = 50,468.65 \text{ m}^3 \text{ de CH}_4$$

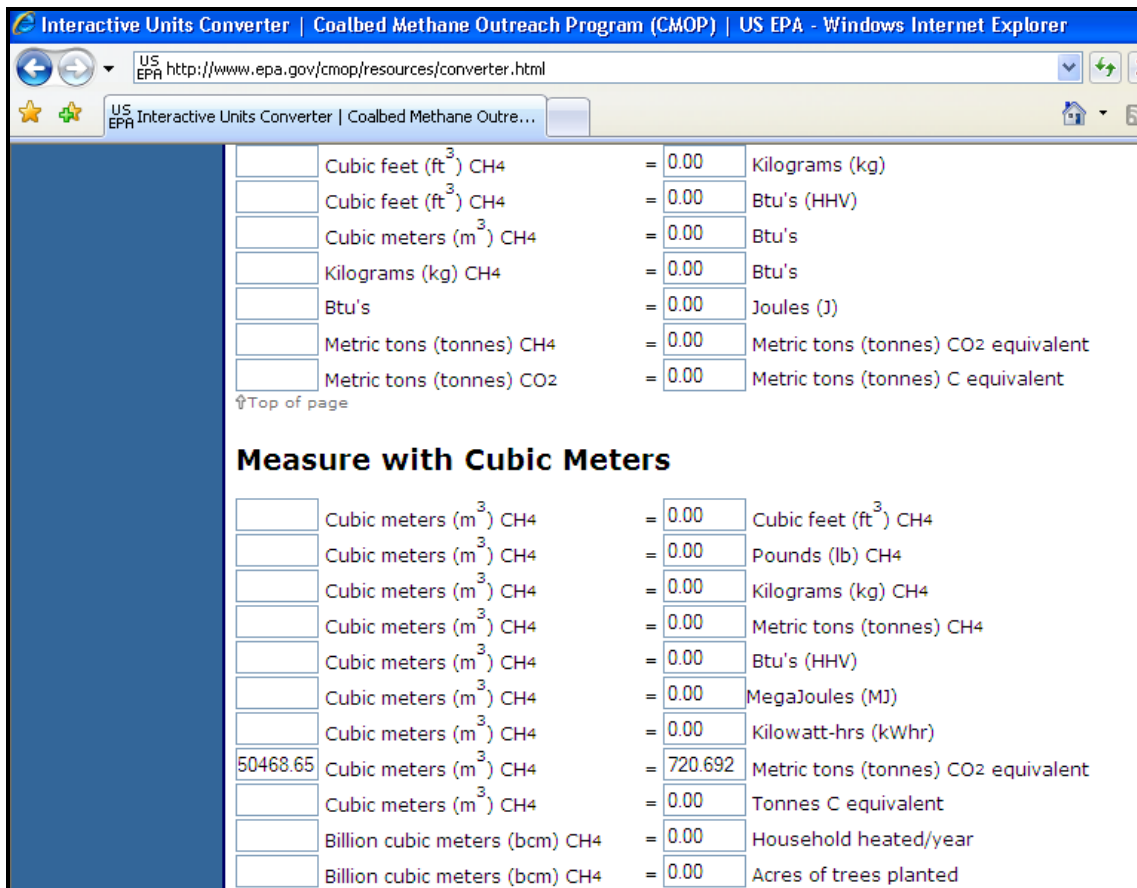


Figura 4-3 Conversión de Unidades
Fuente: www.epa.gov/cmop/resources/converter.html

Para el metano se tiene un valor de 720.692 Ton equivalentes de CO₂ / anuales. Para el cálculo del porcentaje de CO₂ restantes se efectúa la siguiente operación.

$$(0.41 \text{ CO}_2) \times (91,743 \text{ m}^3) = 37,614 \text{ m}^3 \text{ de CO}_2 / \text{anuales.}$$

$$\rho_{CO_2} = \frac{P}{R_{CO_2} T} = \left(1.033 \frac{Kg_F}{cm^2} \right) \left(\frac{Kg_m \text{ } ^\circ K}{19.26 Kg_F} \right) \left(\frac{1}{393^\circ K} \right) \left(\frac{100^2 cm^2}{m^2} \right)$$

$$\rho_{CO_2} = 1.3647 \frac{Kg_m}{m^3}$$

Finalmente se tiene que:

$$(37, 614 m^3 \text{ de } CO_2 / \text{ anuales}) \times (1.3647 \frac{Kg_m}{m^3}) = 51, 331.82 \text{ Kg de } CO_2 / \text{ anuales.}$$

Lo que es lo mismo: 51.3 Ton de CO₂ / anuales.

El total de emisiones por año de CO₂, será:

$$(51.3 \text{ Ton equivalentes de } CO_2 / \text{ anuales}) + (720.692 \text{ Ton equivalentes de } CO_2 / \text{ anuales}) =$$

$$(771.99 \text{ Ton equivalentes de } CO_2 / \text{ anuales})$$

4.5 Rezago social y marginación

La marginación es un fenómeno estructural que se origina en la modalidad, estilo o patrón histórico de desarrollo, ésta se expresa, por un lado, en la dificultad para propagar el progreso técnico en el conjunto de la estructura productiva y en las regiones del país, y por el otro, en la exclusión de grupos sociales del proceso de desarrollo y del disfrute de sus beneficios.

Los procesos que modelan la marginación conforman una precaria estructura de oportunidades sociales para los ciudadanos, sus familias y comunidades, y los expone a privaciones, riesgos y vulnerabilidades sociales que a menudo escapan al control personal, familiar y comunitario y cuya reversión requiere el concurso activo de los agentes públicos, privados y sociales.

Como se puede observar en las figuras 4.4 y 4.5, la zona de estudio del presente trabajo de tesis tiene un alto grado de marginación y de acuerdo a los datos de la Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL), es de gran importancia que para erradicar la pobreza el municipio debe contar con los servicios básicos de electricidad, agua potable y drenaje, y así mismo que éstos cuenten con una infraestructura adecuada para satisfacer las necesidades primarias de vivienda. De esta manera se mejoran las condiciones de vida de los habitantes ayudando a la construcción de unidades escolares y servicios médicos.

4.6 Impacto social del proyecto

Dentro de las grandes ventajas del proyecto, no solo encontramos las ambientales sino también las sociales, en donde se pretende que los habitantes de la población tengan acceso a una mejor calidad de vida.

La comunidad al poder contar con electricidad suficiente para sus hogares, mejoraría sus condiciones de vida: por ejemplo: los niños podrían estudiar no solo con la luz del sol sino que podrían llevar tareas a casa y las podrían realizar después de terminar con sus labores en el campo, en casa todos los integrantes de la familia podrían estar al tanto de lo que acontece a diario en el país al mantenerse informados

mediante sus radios, también podrían seguir tejiendo sus sombreros de palma por la tarde o noche, ya que se contaría con la iluminación necesaria en casa..

La salud también es un factor muy importante que se puede mejorar, ya que al contar con baños comunitarios la población aumentaría sus medidas de higiene. Además las mujeres se verían beneficiadas ya que al contar con agua caliente en los baños ya no tendrían que calentarla en casa para bañarse y esto contribuiría a la disminución de enfermedades respiratorias causadas por la continua inhalación del humo proveniente de la combustión de la leña en fogones.

La economía de los habitantes también se vería beneficiada, ya que por ejemplo: se obtendrían fertilizantes de excelente calidad sin costo alguno, tendrían agua caliente para bañarse sin comprar leña o en algunos casos gas, y además su fuente de trabajo que es la elaboración del sombrero de palma podría mejorar al poder seguir realizando dicha labor al contar con iluminación en sus viviendas.

Con las características del proyecto, podrían bañarse aproximadamente de 30 a 35 personas diario, en los baños comunitarios en tiempos aproximados de entre cinco y ocho minutos.

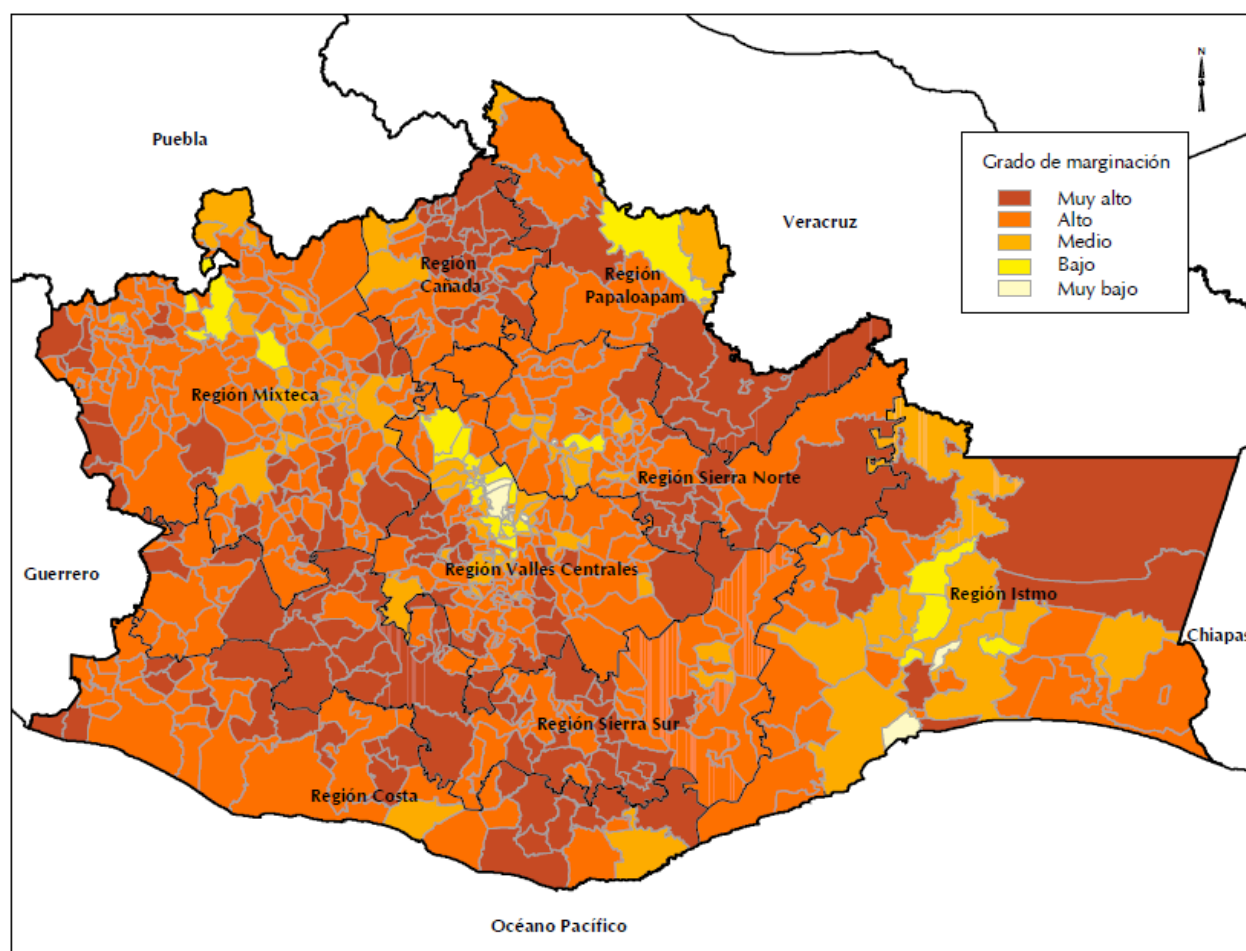


Figura 4-4 Oaxaca: Grado de marginación por municipio, 2005

Fuente: Estimaciones del CONAPO con base en el II Censo de Población y Vivienda 2005, y Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) 2005, IV Trimestre.

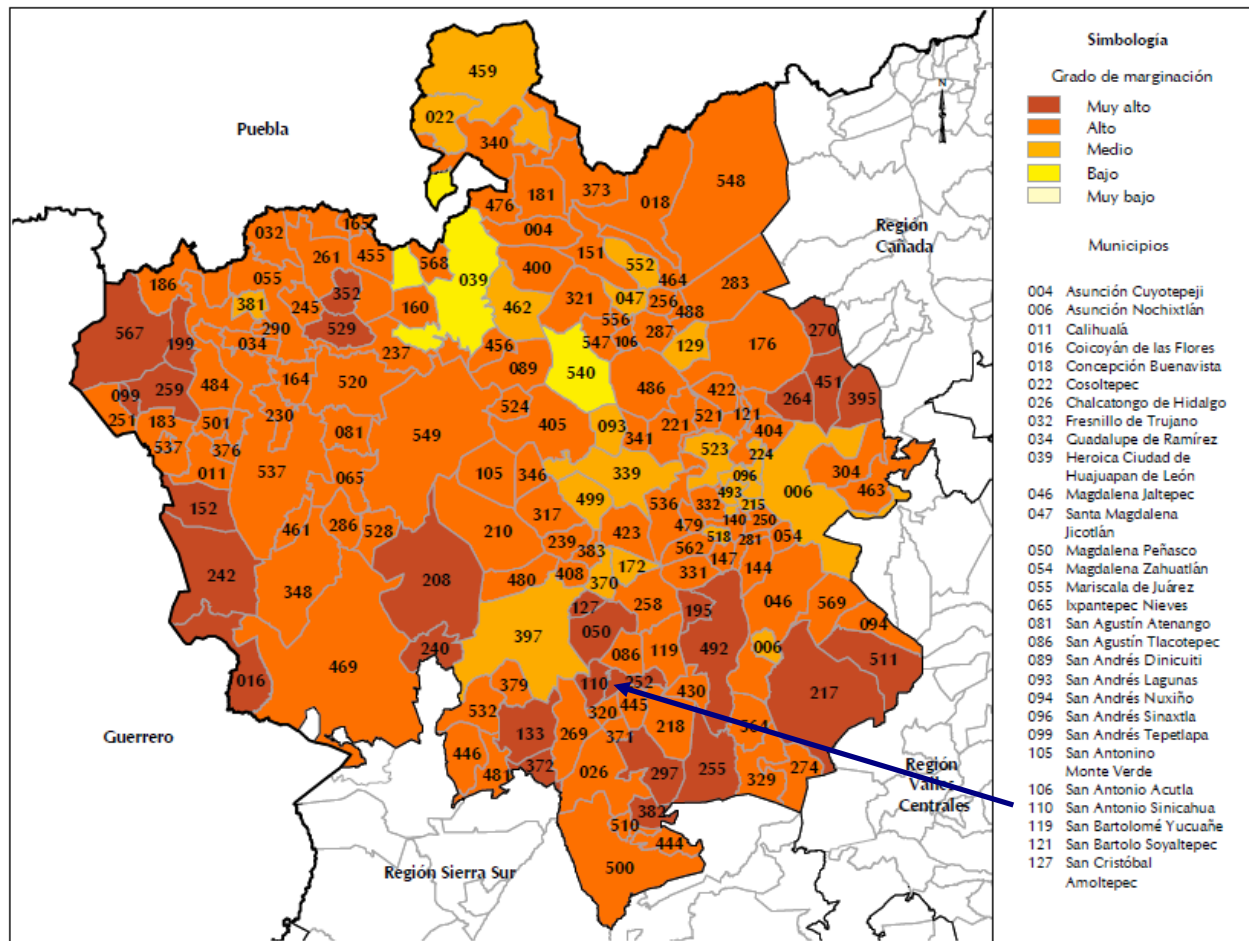


Figura 4-5 Oaxaca. Región Mixteca: Grado de marginación por municipio, 2005

Fuente: Estimaciones del CONAPO con base en el II Censo de Población y Vivienda 2005, y Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) 2005, IV Trimestre.

4.7 Conclusión

De acuerdo con lo que se describió en este capítulo se puede ver que hoy en día las fuentes de energía limpia y renovable se han estado usando como una alternativa a la quema de hidrocarburos cuyas emisiones como ya se ha mencionado con anterioridad ejercen efectos muy negativos sobre el medioambiente.

Por otro lado estas fuentes alternas de energía han demostrado no solo ser más limpias que las convencionales sino también más baratas a la hora de suministrar servicios de energía para cubrir necesidades primarias en áreas que se encuentran alejadas de las redes del suministro eléctrico.

En conclusión podemos decir que una de las grandes ventajas medioambientales de la biomasa es que su uso no contribuye a la aceleración del calentamiento global.

La conversión de los residuos orgánicos para la generación de energía reduce significativamente los problemas que traen los manejos de éstos. Entre las grandes ventajas que se representan mediante el

manejo del estiércol están la de disminuir los gases de efecto invernadero, evitar contaminación ambiental de aguas y malos olores.

Otra de las grandes ventajas de la biomasa es que es un recurso local que no está sujeto a fluctuaciones de precios de la energía, provocadas por las variaciones en el mercado internacional, como es el caso del petróleo.

Como se describió en este capítulo el uso de los recursos de la biomasa puede incentivar las economías rurales e indígenas en nuestro país, así como establecer mejores condiciones de vida para los habitantes.

A su vez la producción de biogás, para ser usado como combustible reduce significativamente el consumo de leña en las poblaciones rurales, con esto se contribuye significativamente a la reducción de la deforestación y a los problemas de salud de los habitantes de las comunidades causados por los gases en la combustión de la leña.

Una de las grandes desventajas que presenta la utilización de la biomasa es que requiere disponibilidad en grandes volúmenes para producir potencia, en comparación con los combustibles fósiles, por lo que el transporte y manejo se encarecen y se reduce la producción de energía neta. Pero la clave fundamental para este problema en definitiva es ubicar el proceso de conversión cerca de las fuentes de producción.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados de este trabajo de tesis podemos concluir que definitivamente para México, las tecnologías de energía renovable a pequeña escala representan una gran alternativa económica y ambiental para la provisión de energía a comunidades rurales remotas y para la expansión de la capacidad eléctrica instalada, ya sea por medio de sistemas aislados o por proyectos conectados a la red eléctrica. Y como se menciono en los capítulos descritos anteriormente este tipo de tecnologías pueden disminuir considerablemente la contaminación del medio ambiente, principalmente las emisiones de gases de los sistemas convencionales que utilizan combustibles fósiles, como el carbón, y productos derivados del petróleo.

Una de las grandes ventajas del empleo de las fuentes de energía RENOVABLES es que son recursos abundantes y son utilizados de forma adecuada respetando sus ciclos naturales podemos garantizar la sustentabilidad.

A su vez en esta investigación pudimos detectar que la producción y uso de la biomasa con fines energéticos puede alentar la participación de las comunidades a través de la creación de fuentes de empleo e inversión en el mercado rural. Lo cual sería un factor importantísimo que podría reducir la pobreza si se aplicara en comunidades rurales marginadas.

Por otro lado el uso de la biomasa puede producir grandes beneficios ambientales, por ejemplo: se puede evitar la erosión del suelo, puede existir una regulación del ciclo hidrológico y un mejor hábitat de la fauna silvestre.

Otra ventaja del usos de la biomasa serían las plantaciones energéticas, las cuales usadas en tierras degradadas pueden rehabilitarlas logrando así una mayor fertilidad en el suelo.

El uso de desechos orgánicos en combustible, no solo genera energía, sino también trae como consecuencia grandes beneficios tales como: reducción de daños ambientales, también contribuye a que las plagas y enfermedades no aumenten, mejora el paisaje y sobre todo la calidad de vida de los habitantes.

Si utilizamos adecuadamente el uso de la bioenergía podemos contribuir a la mitigación del cambio climático actual y también se pueden captar recursos financieros mediante el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

Para nuestra investigación tomamos como objetivo de estudio el municipio de San Antonio Sinicahua, Edo. de Oaxaca el cual presenta un elevado índice de marginación y esta colocado dentro de los 50 municipios más marginados de nuestro país.

Al realizar la evaluación de la zona norte del municipio lo cual corresponde a las agencias de Yosocahua, San Isidro Siniyuco y San José Sinicahua, mediante un muestreo de tipo intencional o de juicio. Se obtuvieron los siguientes resultados:

La comunidad de San Antonio Sinicahua se encuentra a una altitud de 2100 msnm, y sus coordenadas geográficas son: 17° 09' latitud norte y 97° 34' longitud oeste. El clima predominante del municipio es templado subhúmedo con lluvias en verano.

El municipio es muy marginado, las principales actividades de los habitantes son la agricultura y la ganadería, pero solo para autoconsumo. Otra actividad por la que reciben alguna percepción económica es el tejido de sombrero de palma pero es muy mal pagado, la paga es de tan solo \$3 por sombrero. La mayoría de las familias cuentan con aparatos eléctricos como radios muy sencillos, televisores y licuadoras básicamente.

CONCLUSIONES

El combustible que se emplea principalmente en el municipio es la leña, ya que resulta más barato. En cuanto al suministro de energía eléctrica se puede apreciar que en Yosocahua se abastece al 47% de los habitantes, en San José al 40% y en San Isidro Siniyuco solo al 13%. Por otro lado para obtener un dato aproximado de demanda total en kW por agencias se propuso un esquema representativo de una unidad de vivienda para realizar el cálculo de consumo eléctrico por familia. Los datos obtenidos fueron los siguientes: San Isidro tiene una demanda de 22.31 kW, San José Sinicahua 33.9 kW y finalmente Yosocahua 31.45 kW.

De acuerdo a los valores obtenidos de la encuesta aplicada a la comunidad, se realizaron los cálculos a partir de un análisis en un proceso de digestión anaerobia, teniendo como base los residuos orgánicos de la comunidad; para este caso en específico el estiércol de ganado.

Al realizar la estimación del potencial energético por agencia se obtuvo una potencia de 87.39 kW_{Químicos} para San Isidro Siniyuco, para San José Sinicahua una potencia de 147.4 kW_{Químicos} y finalmente para Yosocahua el valor obtenido fue de: 137.3 kW_{Químicos}. Los resultados anteriores partiendo de un Poder Calorífico del biogás de: 20.838 MJ/ m³ y obtenidos a partir del método de coeficiente de rendimiento del estiércol.

Para el método de RETSCREEN se obtuvieron los siguientes valores: una potencia de 30.65 kW_{Químicos} para San Isidro Siniyuco, para San José Sinicahua una potencia de 60.62 kW_{Químicos} y finalmente para Yosocahua el valor obtenido fue de: 51.68 kW_{Químicos}.

Y por el método de la FAO: una potencia de 59.96 kW_{Químicos} para San Isidro Siniyuco, para San José Sinicahua una potencia de 66.04 kW_{Químicos} y finalmente para Yosocahua el valor obtenido fue de: 69.50 kW_{Químicos}.

Como se puede apreciar existen grandes variaciones entre los distintos escenarios pero para fines teóricos todos son válidos y para no causar falsas expectativas se decidió optar por el método de simulación del software RETSCREEN.

Con estos datos se decidió que la agencia que cuenta con las mejores características para la instalación del sistema de generación es la de San José Sinicahua debido al potencial energético con el que cuenta y presenta mayor facilidad de acceso.

El digestor adecuado para este trabajo es el de tipo pistón con agitación por recirculación durante cinco horas al día, y finalmente de acuerdo a los datos obtenidos en el punto 2.6 el volumen final del digestor es de 273.24 m³ con las siguientes dimensiones: Longitud de 13.13 m, Ancho de 5.2 m y una profundidad de 4 m.

Como el objetivo del proyecto de tesis es analizar la viabilidad para la conversión de energía eléctrica y térmica de una comunidad rural, se realizó un análisis que determino si el proyecto es técnica y económicamente factible, los resultados fueron los siguientes:

Al evaluar tanto técnica como económicamente los dos sistemas de generación propuestos se puede observar que técnicamente ambos Sistemas de Generación resultan muy atractivos pero se opto por el MCI debido a que económicamente es más viable.

Asumiendo éstos datos se estimo una inversión total de \$ 697, 290.36, para generar los indicadores de rentabilidad del proyecto. Para el análisis económico se considero una Tasas de Rendimiento Económica Mínima Atractiva del 18%, observándose que el VPN es de \$15,776,655 una AE de \$3,020,997, la relación B/C es de 26.70, una TIRM de 38.92% y un PR_{simple} de 1.07.

CONCLUSIONES

Para el aumento en la inversión del 20% se tiene: que el VPN es de \$14, 363,507 una AE de \$2, 750,400, la relación B/C es de 26.26, una TIRM de 34.39% y un PR_{simple} de 1.32.

Para el aumento en la inversión del 30% se tiene: que el VPN es de \$13, 656,932 una AE de \$2, 615,101, la relación B/C es de 17.78, una TIRM de 33.19% y un PR_{simple} de 1.46.

Para el aumento en la inversión del 40% se tiene: que el VPN es de \$12,950, 356 una AE de \$2, 479,803, la relación B/C es de 15.65, una TIRM de 32.09% y un PR_{simple} de 1.59.

Por lo tanto el proyecto resulta ser tanto técnica como económicamente viable.

Para la aplicación de un proyecto en donde se desea aprovechar la biomasa, no se deben dejar pasar todas aquellas consideraciones tanto ambientales como sociales. El propósito de la evaluación ambiental es asegurar, que las opciones de desarrollo bajo consideración sean ambientalmente adecuadas y sustentables, y que toda consecuencia ambiental sea reconocida pronto en el ciclo del proyecto y tomada en cuenta para el diseño del mismo.

Podemos concluir que fuentes de energías alternas han demostrado no solo ser más limpias que las convencionales sino también más baratas a la hora de suministrar servicios de energía para cubrir necesidades primarias en áreas que se encuentran alejadas de las redes del suministro eléctrico.

En conclusión podemos decir que una de las grandes ventajas medioambientales de la biomasa es que su uso no contribuye a la aceleración del calentamiento global.

La conversión de los residuos orgánicos para la generación de energía reduce significativamente los problemas que traen los manejos de éstos. Entre las grandes ventajas que se representan mediante el manejo del estiércol están la de disminuir los gases de efecto invernadero, evitar contaminación ambiental de aguas y malos olores.

Otra de las grandes ventajas de la biomasa es que es un recurso local que no esta sujeto a fluctuaciones de precios de la energía, provocadas por las variaciones en el mercado internacional, como es el caso del petróleo.

También el uso de los recursos de la biomasa puede incentivar las economías rurales e indígenas en nuestro país, así como establecer mejores condiciones de vida para los habitantes.

A su vez la producción de biogás, para ser usado como combustible reduce significativamente el consumo de leña en las poblaciones rurales, con esto se contribuye significativamente a la reducción de la deforestación y a los problemas de salud de los habitantes de las comunidades causados por los gases en la combustión de la leña.

Una de las grandes desventajas que presenta la utilización de la biomasa es que requiere disponibilidad en grandes volúmenes para producir potencia, en comparación con los combustibles fósiles, por lo que el transporte y manejo se encarecen y se reduce la producción de energía neta. Pero la clave fundamental para este problema en definitiva es ubicar el proceso de conversión cerca de las fuentes de producción.

Finalmente podemos concluir que el estudio de viabilidad para la conversión de biomasa en energía eléctrica y térmica de una comunidad rural e indígena: caso San Antonio Sinicahua, Oaxaca, resulta ser un proyecto ambicioso que en definitiva resulta viable después de la evaluación tanto técnica, económica y ambiental. Y contribuiría en definitiva para que los habitantes de la comunidad puedan satisfacer sus necesidades primarias energéticas, también su economía y salud se vería beneficiadas. En definitiva este

CONCLUSIONES

proyecto no solo pretende generar energía limpia para evitar contaminación sino también pretende proponer una mejor calidad d vida para los habitantes de la comunidad.

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1-1 PROCESOS TERMOQUÍMICOS DE CONVERSIÓN DE LA BIOMASA EN ENERGÍA	8
TABLA 1-2 COMPOSICIÓN DE BIOGÁS	11
TABLA 1-3 TIPOS DE TECNOLOGÍAS EN LOS PROCESOS TERMOQUÍMICOS	18
TABLA 1-4 TIPOS DE TECNOLOGÍAS EN LOS PROCESOS BIOLÓGICOS	19
TABLA 1-5 CLASIFICACIÓN DE PLANTAS ELÉCTRICAS.....	20
TABLA 2-1 CONSUMO PROMEDIO DE APARATOS ELECTRODOMÉSTICOS	33
TABLA 2-2 DEMANDA TOTAL EN [kW] POR AGENCIA DE ESTUDIO	34
TABLA 2-3 POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA COMUNIDAD DE SAN ISIDRO SINIYUCO	34
TABLA 2-4 OBTENCIÓN DE METROS CÚBICOS DE BIOGÁS SECO AL DÍA; SAN ISIDRO SINIYUCO.....	37
TABLA 2-5 OBTENCIÓN DE METROS CÚBICOS DE BIOGÁS SECO AL DÍA; SAN JOSÉ SINICAHUA.....	37
TABLA 2-6 OBTENCIÓN DE METROS CÚBICOS DE BIOGÁS SECO AL DÍA; YOSOCAHUA.....	38
TABLA 2-7 OBTENCIÓN DE METROS CÚBICOS DE BIOGÁS SECO; COMPARACIÓN ENTRE RETSCREEN Y MÉTODO DE COEFICIENTE DE RENDIMIENTO.....	38
TABLA 2-8 OBTENCIÓN DE METROS CÚBICOS DE BIOGÁS SECO AL DÍA; SAN ISIDRO SINIYUCO.....	39
TABLA 2-9 OBTENCIÓN DE METROS CÚBICOS DE BIOGÁS SECO AL DÍA; SAN JOSÉ SINICAHUA.....	39
TABLA 2-10 OBTENCIÓN DE METROS CÚBICOS DE BIOGÁS SECO AL DÍA; YOSOCAHUA.....	40
TABLA 2-11 COMPARACIÓN DE [kW _{Químicos}], ENTRE LAS AGENCIAS DE SAN ANTONIO SINICAHUA	40
TABLA 2-12 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS ANUAL DE SAN ISIDRO SINIYUCO	41
TABLA 2-13 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS ANUAL DE SAN JOSÉ SINICAHUA; SOFTWARE RETSCREEN	41
TABLA 2-14 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS ANUAL DE YOSOCAHUA.....	42
TABLA 2-15 OBTENCIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE SAN ISIDRO SINIYUCO.....	42
TABLA 2-16 OBTENCIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE SAN JOSÉ.....	43
TABLA 2-17 OBTENCIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE YOSOCAHUA	43
TABLA 3-1 ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LAS AGENCIAS DE ESTUDIO	52
TABLA 3-2 COMPARATIVO DE LOS DIVERSOS ESCENARIOS, PARA LA OBTENCIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO.....	55
TABLA 3-3 MOTOR CICLO DIESEL	60
TABLA 3-4 MICROTURBINA DE GAS.	61
TABLA 3-5 TABLA COMPARATIVA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA-TÉRMICA	61
TABLA 3-6 INVERSIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN	63
TABLA 3-7 INVERSIÓN PARA EL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE BIOGÁS	63
TABLA 3-8 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO	64
TABLA 3-9 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL PROYECTO	65
TABLA 4-1 GASES DE EFECTO INVERNADERO	71
TABLA 4-2 POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS

FIGURA 1-1 ORIGEN DE LA BIOMASA	3
FIGURA 1-2 PRODUCTOS FINALES DE LA DESCOMPOSICIÓN DE DESPERDICIOS ORGÁNICOS	9
FIGURA 1-3 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA CORRIENTE DIRECTA Y CORRIENTE ALTERNA	14
FIGURA 2-1 REGIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTADO DE OAXACA	23
FIGURA 2-2 AGENCIAS DEL MUNICIPIO DE SAN ANTONIO SINICAHUA	24
FIGURA 2-3 ACTIVIDADES EN SAN ANTONIO SINICAHUA, DEL LADO IZQUIERDO UN HOMBRE SEMBRANDO, EN MEDIO LA FORMA DE QUEMAR LA BASURA DENTRO DE LA COMUNIDAD Y DEL LADO DERECHO MUJERES TRABAJANDO EN LA ELABORACIÓN DEL SOMBRERO DE PALMA.	28
FIGURA 2-4 LEVANTAMIENTO DE DATOS EN AGENCIAS DE ESTUDIO, DEL LADO IZQUIERDO ARMANDO HERNÁNDEZ CON UNA TRADUCTORA DE MIXTECO ENTREVISTANDO A UNA HABITANTE DE LA COMUNIDAD Y DEL LADO DERECHO ARACELI GUADARRAMA APLICANDO UNA ENTREVISTA EN SAN ISIDRO SINIYUCO.	30
FIGURA 2-5 ESQUEMA REPRESENTATIVO DE UNA UNIDAD DE VIVIENDA EN SAN ANTONIO SINICAHUA	33
FIGURA 2-6 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE BIOGÁS REGISTRADOS EN EL SOFTWARE THERMOFLOW	36
FIGURA 2-7 PODER CALORÍFICO SUPERIOR DEL BIOGÁS	36
FIGURA 3-1 APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA Y DEL BIOGÁS	49
FIGURA 3-2 MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA Y GENERADOR PARA MOTOR CON BIOGÁS	50
FIGURA 3-3 MICROTURBINA CAPSTONE	50
FIGURA 3-4 SIMULACIÓN DEL ESQUEMA ENERGÉTICO EN BASE A UN GRUPO ELECTRÓGENO QUE OPERA CON BIOGÁS (MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA)	56
FIGURA 3-5 SIMULACIÓN DEL ESQUEMA ENERGÉTICO EN BASE A UN GRUPO ELECTRÓGENO QUE OPERA CON BIOGÁS (TURBINA DE GAS)	57
FIGURA 4-1 ESQUEMA REPRESENTATIVO PROTOCOLO DE KYOTO	73
FIGURA 4-2 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO. BONOS DE CARBONO - PROYECTOS MDL	76
FIGURA 4-3 CONVERSIÓN DE UNIDADES	77
FIGURA 4-4 OAXACA: GRADO DE MARGINACIÓN POR MUNICIPIO, 2005	79
FIGURA 4-5 OAXACA. REGIÓN MIXTECA: GRADO DE MARGINACIÓN POR MUNICIPIO, 2005	80
GRÁFICA 1-1 ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO	2
GRÁFICA 2-1 TOTAL DE GANADO POR AGENCIA DE ESTUDIO	26
GRÁFICA 2-2 TOTAL DE SIEMBRA POR AGENCIA DE ESTUDIO	27
GRÁFICA 2-3 FRECUENCIA DE ASEO SEMANAL POR AGENCIA DE ESTUDIO	27
GRÁFICA 2-4 EQUIPO ELÉCTRICO POR AGENCIA DE ESTUDIO	27
GRÁFICA 2-5 COMBUSTIBLE EMPLEADO PARA COCINAR	28
GRÁFICA 2-6 AGENCIAS QUE CUENTAN CON SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	29
GRÁFICA 2-7 AGENCIAS CON ENERGÍA ELÉCTRICA	30
GRÁFICA 3-1 ESCENARIOS DE PRODUCCIÓN DE POTENCIA ELÉCTRICA POR AGENCIA DE ESTUDIO	55
GRÁFICA 3-2 GENERACIÓN ELÉCTRICA DEL MCI Y TG	62
GRÁFICA 3-3 GENERACIÓN TÉRMICA DEL MCI Y TG	62
GRÁFICA 3-4 PERIODO DE RECUPERACIÓN PARA CASO BASE	65

NOMENCLATURA

A	Amperes
ca	Corriente alterna
Btu	Unidad térmica británica
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
cd	Corriente directa
CRE	Certificados de Reducción de Emisiones
HCs	Hidrocarburos
HR	Humedad relativa
Hz	Hertz
HHV	Poder Calorífico Superior
J	Joule
J/s	Joules por segundo
Kcal	kilocalorías
kg	kilogramos
kJ	kilojoules
km/s	Kilómetros por segundo
kW	kilowatts
kWe	kilowatts eléctricos
kWh	kilowatts-hora
kWt	kilowatts-térmicos
lb	libras
LHV	Poder Calorífico Inferior
lts	litros
m	metros
m ²	metro cuadrado
m ³	metro cúbicos
mm	milímetros
m/s	metros por segundo
MCI	Motor de Combustión Interna
MDL	El Mecanismo de Desarrollo Limpio
MTG	Microturbina de Gas
MO	Materia Orgánica
PK	Protocolo de Kyoto
°C	Grados Centígrados
°F	Grados Fahrenheit
TG	Turbina de Gas
US\$	Dólares Americanos
UE	Unión Europea
V	Volts
VS	Sólidos Totales
W	Watts

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar, J. La conversión Bioenergética de la Radiación Solar y las Biotecnologías. ALHAMBRA, S.A., España, 1985. 407p.
2. Barquín Gil, Julián (2004): *Energía: Técnica, Economía y Sociedad*, Universidad Pontificia de Madrid, España, 245-246p y 252-254p.
3. Brown, Robert C. (2003): *Biorenewable resources: engineering new products from agriculture*, Iowa State Press, A Blackwell Publishing Company, 152-156p.
4. Santo Potess E.(1989): *Centrales Eléctricas*, Ed. Gustavo Gili, S.A. , Barcelona, 3-12p.
5. Gamiño Calvillo, Rómulo Benjamín: *Estudio de la viabilidad de cogeneración con biomasa en la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán*.
6. Masera Cerutti, Omar, et. al.: *LA BIOENERGÍA EN MÉXICO. Un catalizador de desarrollo sustentable*. Ed. Red Mexicana de Bioenergía, A. C. y Mundi-Prensa México, S. A de C. V.
7. Masera, Omar R. et al. (2005): *Estimación del Recurso y Prospectiva Tecnológica de la Biomasa como energético Renovable en México*, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM.
8. Pardo Abad, Carlos J. (1995): *Las fuentes de energía*, Editorial Síntesis, Colección: Espacios y sociedades, Serie General, No. 22. 24-39p y 208-213p.
9. Shepherd, W. (2003): *Energy Studies, Second Edition*, Imperial Collage Press, Ohio, USA, 437p.
10. Tippens, Paul E. (1996): *FÍSICA. Conceptos y aplicaciones*, quinta edición, tercera edición en español, Mc GRAW HILL, 249-250p, 165-168p y 964-965p.
11. Viñas Reyes, Blanca Elisa (2005): Tesis “Análisis de Sistemas de Generación de energía a partir de fuentes renovables de energía para una granja”.UNAM, Facultad de Ingeniería. 7p.
12. Balance Nacional de Energía 2005, SENER, México 2006.
13. *MANUAL TÉCNICO de instalaciones eléctricas en baja tensión*, Grupo CONDUMEX, 7-15p y 161-162p.
14. Biogás, Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Bogotá Colombia.
15. *Manuales sobre energía renovable: Biomasa/ Biomasa (2002): Users Network (BUN-CA)*. -1 ed. - San José, C.R. Biomass Users Network (BUN-CA).
16. *Manuales de Energías Renovables. Energía de la biomasa (2007): Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía*, España.
17. María Torres Deluigi y Jorge Follari: *UN BIODIGESTOR DE BOÑIGAS DE CABRA CALEFACCIONADO CON COLECTORES PLANOS*. Laboratorio de Energía Solar, U.N.S.L.
18. Masera Omar R. et al (2005): *Estimación del Recurso y Prospectiva tecnológica de la Biomasa como energético ANEXO 2*. Centro de Investigaciones en Ecosistemas UNAM.

BIBLIOGRAFÍA

19. Nelson C. y Lamb J. “Haunbenschild Farms Anaerobic Digested”, The Minnesota Project, August 2002, 35p.
20. Secretaría de Energía. Energía: Compromiso para el desarrollo social y económico de México. Fondo de Cultura Económica. México 2008.
21. Arvizu F. José L. Biogás de rellenos sanitarios para producción de electricidad. Boletín IIE, Octubre-Diciembre del 2003.
22. Manuales de Energías Renovables 2. Energía de la Biomasa. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. Madrid, Enero de 2007.

Páginas de Internet

<http://www.cipav.org.co/cipav/resrch/energy/alvaro1.htm>
<http://www.renovables-rural.cl/tecnologias/biomasa.php>
http://www.nrel.gov/learning/re_biomass.html
http://ypte.org.uk/docs/factsheets/env_facts/biomass_energy.html
<http://www.fao.org/sd/Egdirect/Egre0022.htm>
http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id_sec=54&id_art=1904&id_ejemplar=75
<http://www.guascor.com/>
<http://www.purdue.edu/envirosoft/manure/spanish/src/char.htm>
<http://www.energias-renovables.com/paginas/index.asp?>
<http://www.chasque.net/frontpage/energy/espanol/Mexico/resumen.html>
<http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/informacionpublica/art7/inforelevpregfrec/paese/paese8/>
<http://www.textoscientificos.com/energia/biomasa>
<http://www.biogas-energy.com/site/index.html>
http://www.energia.gob.mx/webSener/res/168/A2_Biomasa.pdf
<http://materias.fi.uba.ar/6756/Aplicaciones%20del%20Biogas%201C%2007.pdf>
<http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4082/1/franciscomarquez.pdf>
<http://www.iie.org.mx/boletin042003/apli.pdf>
<http://www.greenpeace.org/mexico/>
http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/2962/1/images/22_sener.pdf
<http://www.bancomext.com/Bancomext/aplicaciones/directivos/documentos/CogeneracionBeneficios.pdf>
<http://www.layerlin.com/pdfs/energiabiomasa.pdf>
<http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/index.html>
http://www.ingenieria.unam.mx/informacion/cambio_climatico.php
<http://www.bun-ca.org/publicaciones/BIOMASA.pdf>
<http://www.german-renewable-energy.com/Renewables/Redaktion/PDF/es/es-Power-Expo-2006-Weber-IEU,property=pdf,bereich=renewables,sprache=es,rwb=true.pdf>
<http://www.energia.gob.mx>
<http://www.conae.gob.mx>
<http://www.cre.gob.mx>
<http://www.itdg.org.pe/fichastecnicas/pdf/FichaTecnica8-Biodigestores.pdf>

BIBLIOGRAFÍA

http://biodigestores.org/category/informaciongeneral/http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/qu_e_es_un_biodigestor.html
<http://www.azlom.com/catalogo/varios/>
<http://www.capstone.com/>
http://www.un.org/esa/population/publications/wup2003/2003urban_rural.htm
http://es.wikipedia.org/wiki/Desarrollo_sustentable
[http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_de_proyecto_\(ingenier%C3%ADa\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_de_proyecto_(ingenier%C3%ADa))



ANEXOS

CARACTERÍSTICAS DEL ESTIÉRCOL DE LAS ESPECIES ANIMALES

GANADO LECHERO						
Tamaño del Animal	(Lbs)	150	250	500	1000	1400
Producción Diaria	(Lbs/Día)	12	20	41	82	115
	(Piés Cúbicos/Día)	0.19	0.32	0.66	1.32	1.85
	(Galones/Día)	1.5	2.4	5	9.9	13.9
Contenido de Agua	(%)	87.3	87.3	87.3	87.3	87.3
Densidad	(Lbs/Pié Cúbico)	62	62	62	62	62
Sólidos Totales	(Lbs/Día)	1.6	2.6	5.2	10.4	14.6
Sólidos Volátiles	(Lbs/Día)	1.3	2.1	4.3	8.6	1.7
BOD5	(Lbs/Día)	0.26	0.43	0.86	1.7	2.38
Contenido de Nutrientes						
Nitrógeno	(Lbs/Día)	0.06	0.1	0.2	0.41	0.57
Fosfato	(Lbs/Día)	0.023	0.045	0.082	0.166	0.23
Potasa	(Lbs/Día)	0.048	0.084	0.169	0.325	0.45

GANADO DE CARNE						
Tamaño del Animal	(Lbs)	500	750	1000	1250	Cow
Producción Diaria	(Lbs/Día)	30	45	60	75	63
	(Piés Cúbicos/Día)	0.5	0.75	1	1.2	1.05
	(Galones/Día)	3.8	5.6	7.5	9.4	7.9
Contenido de Agua	(%)	88.4	88.4	88.4	88.4	88.4
Densidad	(Lbs/Pié Cúbico)	60	60	60	60	60
Sólidos Totales	(Lbs/Día)	3.5	5.2	6.9	8.7	7.3
Sólidos Volátiles	(Lbs/Día)	3	4.4	6	7.4	6.2
BOD5	(Lbs/Día)	0.8	1.2	1.6	2	1.7
Contenido de Nutrientes						
Nitrógeno	(Lbs/Día)	0.17	0.26	0.34	0.43	0.36
Fosfato	(Lbs/Día)	0.127	0.191	0.25	0.318	0.27
Potasa	(Lbs/Día)	0.145	0.229	0.289	0.373	0.31
Contenido de Agua	(%)	90.8	90.8	90.8	90.8	90.8
Densidad	(Lbs/Pié Cúbico)	60	60	60	60	60
Sólidos Totales	(Lbs/Día)	0.2	0.39	0.9	0.82	3
Sólidos Volátiles	(Lbs/Día)	0.17	0.31	0.72	0.66	2.4

BOD5. Una prueba estándar para evaluar la fuerza del agua de desperdicio. Es una medida del oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de materia orgánica sobre un periodo de cinco días a una temperatura de 68 grados Fahrenheit.

1 lb =	0.4535924 kg		
1 ft =	0.3048 m	1 ft³ =	0.028316847 m³
1 gal =	3.785412 litros		

GANADO LECHERO						
Tamaño del Animal	(Kg)	68.0389	113.3981	226.7962	453.5924	635.0294
Producción Diaria	(Kg/Día)	5.4431	9.0718	18.5973	37.1946	52.1631
	(m3/Día)	0.0054	0.0091	0.0187	0.0374	0.0524
	(lts/Día)	5.6781	9.0850	18.9271	37.4756	52.6172
Contenido de Agua	(%)	87.3	87.3	87.3	87.3	87.3
Densidad	(Kg/m3)	993.1448	993.1448	993.1448	993.1448	993.1448
Sólidos Totales	(Kg/Día)	0.7257	1.1793	2.3587	4.7174	6.6224
Sólidos Volátiles	(Kg/Día)	4.9210	7.9494	16.2773	32.5545	6.4352
BOD5	(Kg/Día)	0.1179	0.1950	0.3901	0.7711	1.0795
Contenido de Nutrientes						
Nitrógeno	(Lbs/Día)	0.06	0.1	0.2	0.41	0.57
Fosfato	(Lbs/Día)	0.023	0.045	0.082	0.166	0.23
Potasa	(Lbs/Día)	0.048	0.084	0.169	0.325	0.45

GANADO DE CARNE						
Tamaño del Animal	(Kg)	226.7962	340.1943	453.5924	566.9905	Cow
Producción Diaria	(Kg/Día)	13.6078	20.4117	27.2155	34.0194	28.5763
	(Metros Cúbicos/Día)	0.0142	0.0212	0.0283	0.0340	0.0297
	(Litros/Día)	14.3846	21.1983	28.3906	35.5829	29.9048
Contenido de Agua	(%)	88.4	88.4	88.4	88.4	88.4
Densidad	(Kg/Metro Cúbico)	961.1079	961.1079	961.1079	961.1079	961.1079
Sólidos Totales	(Kg/Día)	1.5876	2.3587	3.1298	3.9463	3.3112
Sólidos Volátiles	(Kg/Día)	1.3608	1.9958	2.7216	3.3566	2.8123
BOD5	(Kg/Día)	0.3629	0.5443	0.7257	0.9072	0.7711
Contenido de Nutrientes						
Nitrógeno	(Lbs/Día)	0.1700	0.2600	0.3400	0.4300	0.3600
Fosfato	(Lbs/Día)	0.1270	0.1910	0.2500	0.3180	0.2700
Potasa	(Lbs/Día)	0.1450	0.2290	0.2890	0.3730	0.3100
Contenido de Agua	(%)	90.8	90.8	90.8	90.8	90.8
Densidad	(Kg/Metro Cúbico)	961.1079	961.1079	961.1079	961.1079	961.1079
Sólidos Totales	(Kg/Día)	0.0907	0.1769	0.4082	0.3719	1.3608
Sólidos Volátiles	(Kg/Día)	0.0771	0.1406	0.3266	0.2994	1.0886

CERDOS							
Tipo		Cerdo Amamantand	Cerdo en Crecimiento	Cerdo en Finalización	Cerda Gestante	Cerda y Camada	Verraco
Tamaño del Animal	(Lbs)	35	65	150	275	375	350
Producción Diaria	(Lbs/Día)	2.3	4.2	9.8	8.9	33	11
	(Piés Cúbicos/Día)	0.038	0.07	0.16	0.15	0.54	0.19
	(Galones/Día)	0.27	0.48	1.13	1.1	4	1.4
Contenido de Agua	(%)	90.8	90.8	90.8	90.8	90.8	90.8
Densidad	(Lbs/Pié Cúbico)	60	60	60	60	60	60
Sólidos Totales	(Lbs/Día)	0.2	0.39	0.9	0.82	3	1
Sólidos Volátiles	(Lbs/Día)	0.17	0.31	0.72	0.66	2.4	0.84
BOD5	(Lbs/Día)	0.17	0.31	0.72	0.66	2.4	0.84
Contenido de Nutrientes							
Nitrógeno	(Lbs/Día)	0.016	0.029	0.068	0.062	0.23	0.078
Fosfato	(Lbs/Día)	0.0118	0.0223	0.05	0.048	0.173	0.059
Potasa	(Lbs/Día)	0.012	0.024	0.054	0.048	0.181	0.061

CERDOS							
Tipo		Cerdo Amamantando	Cerdo en Crecimiento	Cerdo en Finalización	Cerda Gestante	Cerda y Camada	Verraco
Tamaño del Animal	(Kg)	15.8757	29.4835	68.0389	124.7379	170.0972	158.7573
Producción Diaria	(Kg/Día)	1.0433	1.9051	4.4452	4.0370	14.9685	4.9895
	(Metros Cúbicos/Día)	0.0011	0.0020	0.0045	0.0042	0.0153	0.0054
	(Litros/Día)	1.0221	1.8170	4.2775	4.1640	15.1416	5.2996
	(Litros/Día)	1.0221	1.8170	4.2775	4.1640	15.1416	5.2996
Contenido de Agua	(%)	90.8	90.8	90.8	90.8	90.8	90.8
Densidad	(Kg/Metro Cúbico)	961.1079	961.1079	961.1079	961.1079	961.1079	961.1079
Sólidos Totales	(Kg/Día)	0.0907	0.1769	0.4082	0.3719	1.3608	0.4536
Sólidos Volátiles	(Kg/Día)	0.0771	0.1406	0.3266	0.2994	1.0886	0.3810
BOD5	(Kg/Día)	0.0771	0.1406	0.3266	0.2994	1.0886	0.3810
Contenido de Nutrientes							
Nitrógeno	(Lbs/Día)	0.0160	0.0290	0.0680	0.0620	0.2300	0.0780
Fosfato	(Lbs/Día)	0.0118	0.0223	0.0500	0.0480	0.1730	0.0590
Potasa	(Lbs/Día)	0.0120	0.0240	0.0540	0.0480	0.1810	0.0610

BORREGOS, CABALLOS, AVES					
Animal		Borregos	Caballos	Aves	
				Ponedoras	Engorda
Tamaño del Animal	(Lbs)	100	1000	4	2
Producción Diaria	(Lbs/Día)	4	45	0.21	0.14
	(Piés Cúbicos/Día)	0.062	0.75	0.0035	0.0024
	(Galones/Día)	0.46	5.63	0.027	0.018
Contenido de Agua	(%)	75	79.5	74.8	74.8
Densidad	(Lbs/Pié Cúbico)	65	60	60	60
Contenido de Sólidos Totales	(Lbs/Día)	1	9.4	0.053	0.036
Contenido de Sólidos Volátiles	(Lbs/Día)	0.85	7.5	0.037	0.025
BOD5	(Lbs/Día)	0.09	N/A	0.014	0.0023
Contenido de Nutrientes					
Nitrógeno	(Lbs/Día)	0.045	0.27	0.0029	0.0024
Fosfato	(Lbs/Día)	0.015	0.105	0.0025	0.00123
Potasa	(Lbs/Día)	0.039	0.205	0.0014	0.0009

BORREGOS, CABALLOS, AVES					
Animal		Borregos	Caballos	Aves	
				Ponedoras	Engorda
Tamaño del Animal	(Kg)	45.3592	453.5924	1.8144	0.9072
Producción Diaria	(Kg/Día)	1.8144	20.4117	0.0953	0.0635
	(Metros Cúbicos/Día)	0.0018	0.0212	0.0001	0.0001
	(Litros/Día)	1.7413	21.3119	0.1022	0.0681
	(Litros/Día)	1.7413	21.3119	0.1022	0.0681
Contenido de Agua	(%)	75	79.5	74.8	74.8
Densidad	(Kg/Metro Cúbico)	1041.2002	961.1079	961.1079	961.1079
Contenido de Sólidos Totales	(Kg/Día)	0.4536	4.2638	0.0240	0.0163
Contenido de Sólidos Volátiles	(Kg/Día)	0.3856	3.4019	0.0168	0.0113
BOD5	(Kg/Día)	0.0408	N/A	0.0064	0.0010
Contenido de Nutrientes					
Nitrógeno	(Lbs/Día)	0.0450	0.2700	0.0029	0.0024
Fosfato	(Lbs/Día)	0.0150	0.1050	0.0025	0.0012
Potasa	(Lbs/Día)	0.0390	0.2050	0.0014	0.0009

PRODUCCIÓN ESPECÍFICA DE METANO PARA DIFERENTES TIPOS DE DESECHOS

Material	Producción de gas por unidad de materia seca (m ³ /kg)	Metano (%)	Tiempo de permanencia (días)
Deyecciones de bovinos	0.33	-	-
Estiercol de ganado	0.23 - 0.50	-	-
Estiercol de bovinos	0.86	58	10
Estiercol de pollos	0.31	60	30
Estiercol de aves	0.56	69	9
Desechos de cerdos	1.02	68	20
Estiercol de ovinos	0.37 a 0.61	64	20

El **biogás** tiene un poder calorífico medio entre 18.8 y 23 MJ/m³ y puede emplearse en motores de conversión interna, para cocción de alimentos, iluminación y calefacción doméstica, entre otros usos.

Poder Calorífico del Biogás 20.838 MJ/m³ aprox.

1 kWh = 3.6 MJ

SAN ISIDRO SINIYUCO

PRODUCCIÓN DIARIA DE BIOGAS SECO

Ganado	Peso promedio (Kg)	Coefficiente de Rendimiento del Estiercol (%)	Deyección (Kg/día)	Densidad (Kg/m ³)	Deyección (m ³ /día)	Sólidos Totales	No. Animales	Kg MO Seca/día	Kg MO Humeda/día	m ³ Biogas/Kg de MO	m ³ de Biogas Seco/día
Bovino	450	8%	36	993.14	0.0362	4.57	60	274.2	2160	0.86	235.812
Caprino	45	8%	3.6	65	0.0554	1.07	130	139.1	468	0.49	68.159
Ovino	50	8%	4	1041.2	0.0038	1	44	44	176	0.49	21.56
Mular	250	8%	20	961.1	0.0208	4.2638	16	68.2208	320	0.365	24.900592
Porcino	150	8%	12	961.1	0.0125	0.3719	26	9.6694	312	1.02	9.862788
Aves	6	8%	0.48	961.1	0.0005	0.024	151	3.624	72.48	0.56	2.02944
TOTALES	951	8%	76.08		0.12926944	11.2997	427	538.8142	3508.48	3.785	362.32382

0.630833333

MJ/m ³	MJ/s	kW termicos	kWe
7550.1038	0.08739	87.38546	30.58491

SAN JOSÉ SINICAHUA

PRODUCCIÓN DIARIA DE BIOGAS SECO

Ganado	Peso promedio (Kg)	Coefficiente de Rendimiento del Estiercol (%)	Deyección (Kg/día)	Densidad (Kg/m ³)	Deyección (m ³ /día)	Sólidos Totales	No. Animales	Kg MO Seca/día	Kg MO Humeda/día	m ³ Biogas/Kg de MO	m ³ de Biogas Seco/día
Bovino	450	8%	36	993.14	0.0362	4.57	82	374.74	2952	0.86	322.2764
Caprino	45	8%	3.6	65	0.0554	1.07	236	252.52	849.6	0.49	123.7348
Ovino	50	8%	4	1041.2	0.0038	1	203	203	812	0.49	99.47
Mular	250	8%	20	961.1	0.0208	4.2638	32	136.4416	640	0.365	49.801184
Porcino	150	8%	12	961.1	0.0125	0.3719	35	13.0165	420	1.02	13.27683
Aves	6	8%	0.48	961.1	0.0005	0.024	190	4.56	91.2	0.56	2.5536
TOTALES	951	8%	76.08		0.12926944	11.2997	778	984.2781	5764.8	3.785	611.112814

0.630833333

MJ/m ³	MJ/s	kW termicos	kWe
12734.3688	0.1474	147.38853	51.58598

YOSOCAHUA

PRODUCCIÓN DIARIA DE BIOGAS SECO

Ganado	Peso promedio (Kg)	Coefficiente de Rendimiento del Estiercol (%)	Deyección (Kg/día)	Densidad (Kg/m ³)	Deyección (m ³ /día)	Sólidos Totales	No. Animales	Kg MO Seca/día	Kg MO Humeda/día	m ³ Biogas/Kg de MO	m ³ de Biogas Seco/día
Bovino	450	8%	36	993.14	0.0362	4.57	94	429.58	3384	0.86	369.4388
Caprino	45	8%	3.6	65	0.0554	1.07	55	58.85	198	0.49	28.8365
Ovino	50	8%	4	1041.2	0.0038	1	203	203	812	0.49	99.47
Mular	250	8%	20	961.1	0.0208	4.2638	38	162.0244	760	0.365	59.138906
Porcino	150	8%	12	961.1	0.0125	0.3719	21	7.8099	252	1.02	7.966098
Aves	6	8%	0.48	961.1	0.0005	0.024	331	7.944	158.88	0.56	4.44864
TOTALES	951	8%	76.08		0.12926944	11.2997	742	869.2083	5564.88	3.785	569.298944

MJ/m ³	MJ/s	kW termicos	kWe
11863.0514	0.1373	137.30384	48.05634

RESULTADO DE LAS ENCUESTAS APLICADAS
SAN ANTONIO SINICAHUA, OAXACA

Región	Yosocahua
--------	-----------

Viviendas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	TOTALES
Ganado																																				
Vacuno y Bovino			3	5	3	4	5	4		3	4		3	2	3	2	4	4	3		4	4		4	2	3	5	5	3		3	4	1	2	2	94
Caprino				5							14													4	7			25			3	4	1	2	2	55
Ovino			15		3	15	25	15		10					20		6	2					4					20		3	10	12	20	3	20	203
Equino																																				0
Mular			1	2	3	1	1	2		2	2		1			1		2	2		2			3		2	3	1	1		2	2	1		1	38
Porcino		1	1				1	2						1			2	1	1	1		1	2		2		1		1	1		1		1		21
Aves		9	8	15	15	13	13	6	5	10	4		18	50		19	4	10	6	2	8	34		1	8	2	12	8	11		5	20		15	331	

Campo	SUPERFICIE EN HECTÁREAS																																			TOTALES	
Maíz	0.5	1.5	1.5	1	3	1	1.5	1	0.5	1	2	0.5	1.5	1.5	2	1.5	1		0.5	0.5	0.63	0.25	1	2	1	1	4	1.5	3	0.25	1.5	8	0.5	3	3	54.125	
Frijol		0.5	0.25	1	0.38	1		0.5			1.5			0.63	0.5	2		0.25																			8.5
Alberjón		1.5	0.25	0.5	0.25								0.38	0.5					0.33		1.25															4.955	
Trijo		0.5	0.5		1.25	1		0.5					0.25	0.5							0.25															4.75	

Basura	BOLSAS A LA SEMANA																																			TOTALES
Plástico																																				0
Unicel																																				0
Papel y Cartón	NO SE GENERA BASURA (TODA SE QUEMA)																																			0
Vidrio																																				0
Aluminio																																				0

Combustible empleado para cocinar																																				TOTALES	
Leña	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	35	
Gas	1						1														1															4	
Gasolina																																					0
Otro																																					0

Tipo de estufa o boiler																																				TOTALES	
Estufa	1				1		1							1							1															8	
Boiler																																					0

Procedencia de agua potable																																				TOTALES	
Pozos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	35	
Rios																																					0
Pipas																																					0
Otros																																					0

Destino de la basura generada																																				TOTALES	
Se quema	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	35	
Se tira																																					0
Otros																																					0

Integrantes por familia																																				TOTALES
Hombres	1	2	1	3	1	2	1	3	2	1	3		3	1		3	1	2		1	4	1	2		2	5	2	2	3		1	1	1	1	1	57
Mujeres	1	1	2		1	3	1	4	3	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	1		2	3	1	2	6	5	4	2	1	3	1	1	1	1	65

ANEXO 3

13. ¿Aproximadamente qué cantidad de residuos agrícolas quedan después de la cosecha?

14. ¿Aproximadamente que cantidad de residuos como paja, pasto, forraje, zacate y hojas de los árboles considera que se puede recolectar para procesarla?

15. El agua potable que utiliza proviene de:

(1) Pozos (2) Ríos (3) Pipas (4) Otro, especificar.

16. Basura generada

Basura	Bolsas a la semana
Plástico	
Unicel	
Papel	
Cartón	
Vidrio	
Aluminio	
Residuos orgánicos	
Otros:	

17. ¿Qué hace o que destino le da a la basura?

III. NÚMERO DE HABITANTES, VIVIENDA, SERVICIOS, HÁBITOS DE HIGIENE Y NÚMERO DE APARATOS ELECTROMÉSTICOS.

18. Integrantes por familia

EDAD	GÉNERO		PARENTESCO				
	F	M	P	M	H	Otro	Cuál

19. ¿Con que frecuencia se baña?

Una a dos veces a la semana (1)
Tres a cuatro veces a la semana (2)
Cinco a seis veces a la semana (3)
Más veces a la semana (4)

20. ¿Cuántos cuartos tiene la vivienda?

Uno a dos (1)
Dos a cuatro (2)
Cuatro a seis (3)
Mas de seis (4)

ANEXO 3

21. ¿La vivienda cuenta con baño?

Si (1) No (2)

22. ¿Qué tipo de baño?

(1) Fosa séptica o letrina

(a) seca (b) agua

(2) WC

(3) Otro, especificar

23. ¿Con que servicios públicos cuenta?

Servicios	Si (1)	No (2)
Energía eléctrica		
Agua potable		
Drenaje		

24. De la siguiente lista con qué número de aparatos eléctricos cuenta:

Aparatos eléctricos	Cantidad
T. V.	
Radio	
Horno de Microondas	
Plancha	
Refrigerador	
DVD	
Lavadora	
Plancha	

25. ¿Qué pensaría de la posibilidad de tener energía eléctrica producida en la misma comunidad?

(1) Esta de acuerdo

(2) No está de acuerdo

(3) No le importa

(4) No sabe

26. ¿Qué pensaría de la posibilidad de tener un baño comunitario para aseo?

(1) Esta de acuerdo

(2) No está de acuerdo

(3) No le importa

(4) No sabe

CÁLCULO PARA EL VOLUMEN DEL DIGESTOR

Leonor Carrillo. 2003. Microbiología Agrícola. Capítulo 5

El volumen de un digestor está dado por la siguiente fórmula:

$$V = [C * R (1+D) tF]/(Y * d)$$

donde:

C es la capacidad deseada en biogas por día.

R es la relación estiércol húmedo/estiércol seco, comúnmente 5.

D es el peso de agua añadida a cada unidad de peso de estiércol.

tF es el tiempo de fermentación en días.

Y es el gas producido por unidad de peso de estiércol seco.

d es la densidad de la mezcla estiércol-agua.

El volumen del digestor V es proporcional a la relación tF/Y, por lo que un aumento en la temperatura de fermentación, dentro de cierto rango, aumenta el rendimiento del gas Y, permitiendo reducir el tiempo de retención tF o disminuir V.

En el siguiente ejemplo, si C=374 m³/día, R=5, D=1; tF=25 días, Y=0,2 m³/kg, d=1102 kg/m³, el volumen del digestor sería 425m³. Sin embargo, suele ser sobredimensionado en un 40% y el volumen final es 170 m³

Constante	Valor	Unidad
C	611.1128	m ³ /día
R	4	
D	1	
tF	15	días
Y	0.12926944	m ³ /kg
d	830.44	kg/m ³

(1+D)	2	
(1+D) tF	30	
R (1+D) tF	120	
C * R (1+D) tF	73333.5360	
(Y * d)	107.3505	
V = [C * R (1+D) tF]/(Y * d)	683.1224	m ³
Sobredimensionado en un 40%	424.2287	m ³

Por lo tanto, finalmente:	273.2489	m³
----------------------------------	-----------------	----------------------

CALCULOS DE POTENCIA ELÉCTRICA POR UNIDAD DE VIVIENDA

San Isidro Siniyuco																							
Habitaciones por vivienda	Potencia [W]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
2	400					1																	
4	800	1	1	1	1																		
6	1200						1																
ILUMINACIÓN		800	800	800	800	400	1200	400	800	400	800	400	400	1200	400	400	400	400	400	400	800	800	
Habitaciones por vivienda	Potencia [W]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
2	7620					1																	
4	15240	1	1	1	1																		
6	22860						1																
RECEPTACULOS		15240	15240	15240	15240	7620	22860	7620	15240	7620	15240	7620	22860	7620	7620	7620	7620	7620	7620	15240	15240		
Vivienda con baño	Potencia [W]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
SI	100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
NO	0																						
ILUMINACIÓN		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Aparatos Eléctricos	Potencia [W]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
TV	120	1	1	1																			
Radio	40	1	1	1	1	1	1							1	1		1	1	1	1	1	1	
Horno de MicroOndas	1200	1																					
Huancha	1000	1																					
Refrigerador	250	1		1										1							1	1	
DVD	25	1	1	1																			
Lavadora	400				1																1	1	
Licudadora	400	1	1				1							1	1						1	1	
POTENCIA DE A. ELECT.		2276.3	438.75	626.25	30	30	1188.8	0	30	0	0	0	0	517.5	330	0	120	30	30	330	517.5	517.5	
POTENCIA TOTAL		3176.3	1338.8	1526.3	930	530	2488.8	500	930	500	900	500	500	1817.5	830	500	620	530	530	830	1417.5	1417.5	
																					POTENCIA TOTAL [W]		22,313

San José Sinichua																																										
Habitaciones por vivienda	Potencia [W]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38			
2	400	1																																								
4	800	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
6	1200																																									
ILUMINACIÓN		400	800	800	400	400	400	400	800	400	800	400	800	400	800	400	800	800	800	800	400	800	800	400	400	400	400	400	400	400	800	800	800	800	400	800	400	800	400	400		
Habitaciones por vivienda	Potencia [W]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38			
2	720	1																																								
4	1440	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
6	2160																																									
RECEPTACULOS		7620	15240	15240	7620	7620	7620	7620	7620	15240	7620	15240	7620	15240	7620	15240	7620	15240	15240	15240	7620	15240	15240	7620	7620	7620	22860	15240	15240	7620	7620	7620	15240	15240	15240	7620	15240	7620	15240	7620		
Vivienda con baño	Potencia [W]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38			
SI	100	1																																								
NO	0																																									
ILUMINACIÓN		100	0	100	0	100	100	100	0	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	
Aparatos Eléctricos	Potencia [W]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38			
TV	120																																									
Radio	40	1			1	1																																				
Horno de MicroOndas	1200																																									
Huancha	1000																																									
Refrigerador	250				1																																					
DVD	25																																									
Lavadora	400																																									
Licudadora	400	1		1																																						
POTENCIA DE A. ELECT.		330	0	517.5	30	0	0	30	1188.75	30	0	0	330	517.5	300	120	0	90	438.75	330	0	30	330	0	0	30	330	0	30	0	0	330	30	30	30	30	438.75	1267.5	330	330		
POTENCIA TOTAL		830	800	1417.5	430	500	500	530	1588.75	930	400	900	830	1417.5	800	1020	500	990	1338.8	1230	500	930	1230	400	400	1330	1230	900	430	500	500	1230	930	930	530	1338.8	1767.5	1230	730			
																																				POTENCIA TOTAL [W]		33,989				

CALCULOS DE POTENCIA ELÉCTRICA POR UNIDAD DE VIVIENDA

Yosocahua																																						
Habitaciones por vivienda	Potencia [W]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35		
2	400	1	1		1		1		1	1	1		1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	
4	800			1		1		1							2								1			1		1										
6	1200											1																										
ILUMINACIÓN		400	400	800	400	800	400	800	400	400	400	1200	400	400	1600	400	400	400	400	400	400	400	800	400	400	800	400	800	800	1200	400	400	400	400	400	400	400	
Habitaciones por vivienda	Potencia [W]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35		
2	720	1	1		1		1		1	1	1		1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	
4	1440			1		1		1							2								1			1		1										
6	2160											1																										
RECEPTACULOS		7620	7620	15240	7620	15240	7620	15240	7620	7620	7620	22860	7620	7620	30480	7620	7620	7620	7620	7620	7620	7620	15240	7620	7620	15240	7620	15240	15240	22860	7620	7620	7620	7620	7620	7620	7620	
Vivienda con baño	Potencia [W]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35		
SI	100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
NO	0																																					
ILUMINACIÓN		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	100	0	100	100	0	100	100	100	100	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Aparatos Eléctricos	Potencia [W]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35		
TV	120					1					1											1					1	1	1									
Radio	40	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1		2	1	1	1			1	1		1		
Horno de MicroOndas	1200																																					
Plancha	1000																																					
Refrigerador	250																																					
DVD	25																																					
Lavadora	400																																					
Licuada	400	1		1	1	1	1	1	1	1	1																											
POTENCIA DE A. ELECT.		420	30	330	300	420	330	330	330	330	420	30	0	30	30	30	30	330	330	30	0	1357.5	330	30	30	0	468.75	138.75	1338.8	30	0	1188.8	30	0	30	0		
POTENCIA TOTAL		920	530	1230	800	1320	830	1230	830	830	920	1330	400	430	1730	430	530	830	730	530	500	2257.5	830	430	830	400	1368.8	1038.8	2638.8	530	500	1688.8	530	500	530	500		
POTENCIA TOTAL [W]																																		31.453				