

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA**

TÍTULO DEL TRABAJO:

**PROPUESTA DE INTERCAMBIO Y APROVECHAMIENTO
DE RESIDUOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA
ECOLOGÍA INDUSTRIAL EN MÉXICO**

**INFORME TÉCNICO DE LA OPCIÓN CURRICULAR EN LA MODALIDAD DE:
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

PRESENTAN:

**RODRÍGUEZ HERRERA GABRIELA
SOSA GRANADOS ROBERTO DANIEL**

ASESORES:

**DR. FABIÁN ROBLES MARTÍNEZ
DRA. GEMMA CERVANTES TORRE - MARÍN**

México, D. F. Mayo 2008

Índice

1. Introducción	4
2. Antecedentes de la Ecología Industrial	5
3. Marco teórico	7
3.1 Definición de Ecología Industrial	7
3.2 Metas de la Ecología Industrial	8
3.3 Criterios de la Ecología Industrial	9
3.4 Ejemplos de implementación de Ecología Industrial	9
3.4.1 La Ecología Industrial en el mundo	9
3.4.2 La EI en México	12
3.5 Estrategias de implementación de EI	14
3.6 Implementación de la EI	15
3.6.1 Factores preliminares para la implementación de la EI	15
3.6.2 Barreras para la implementación de la EI	16
3.6.3 Herramientas de la EI	17
3.7 Indicadores de sustentabilidad	17
3.8 Sustentabilidad en el sector agrícola	18
4. Justificación	22
5. Objetivos	24
5.1 Objetivos generales	24
5.2 Objetivos específicos	24
6. Metodología	25
6.1 Primera parte: Estudio de ejemplos de EI	25
6.2 Segunda parte: Aplicación de la estrategia de EI implementación adaptada en un caso seleccionado	27
6.2.1 Materiales y métodos	30
6.3 Tercera parte: Propuesta de continuidad	31
7. Resultados y análisis	33
7.1 Primera parte: estudio de ejemplos de EI	33
7.2 Segunda parte: Aplicación de la estrategia de	39

implementación de EI adaptada en un caso seleccionado	
7.2.1 Selección del caso de estudio	39
7.2.2 Obtención de información cualitativa y cuantitativa del sistema	39
7.2.3 Construcción de diagramas de flujo y descripción general del sistema	42
7.2.3.1 Descripción del diagrama de flujo cuantitativo	42
7.2.3.2 Descripción del diagrama de información	43
7.2.4 Pruebas en campo, laboratorio y análisis de resultados	47
7.2.4.1 Selección de los procesos a analizar	47
7.2.4.2 Resultados y análisis de las pruebas de campo y laboratorio	48
7.2.5 Realización de propuestas de mejora	53
7.2.5.1 Propuesta de mejora para el proceso de vermicomposteo	53
7.2.5.2 Propuesta de mejora para el proceso de producción de fertilizante por digestión anaerobia	54
7.2.6 Indicadores de sustentabilidad	56
7.2.6.1 Cálculo de los indicadores de sustentabilidad	57
7.3 Tercera parte: Propuesta de continuidad	64
7.3.1 Resultados y análisis de la propuesta de continuidad	65
7.3.1.1 Generación de biogás a partir de estiércol de conejo y borrego	65
7.3.1.2 Producción de fertilizante por composteo	66
7.3.1.3 Propuesta de mejora para el caso de continuidad	66
8. Actividades complementarias	71
9. Conclusiones	74
10. Bibliografía	76
11. Memoria fotográfica	80

1. Introducción

A nivel social e industrial, la conciencia medioambiental en México es incipiente y es por ello que aún se generan grandes índices de contaminación, malgastando recursos que podrían ser aprovechados, lo que produce altos costos derivados de este sistema de explotación. Estos costos podrían ahorrarse si se actuara según los criterios de desarrollo sustentable y Ecología Industrial (EI).

Sin embargo, alrededor del mundo algunos ejemplos ya están aplicando estos criterios a través del uso de residuos como materia prima, el cierre de ciclos de materia, el ahorro de recursos y la interrelación entre industrias, por mencionar algunos. Desafortunadamente, estos ejemplos no son conocidos en México ni han sido estudiados según los criterios de la EI. Si se quiere promover el desarrollo de la EI en México conviene estudiar, analizar, ayudar a mejorar y difundir estos ejemplos. Este es uno de los aspectos que pretende este trabajo.

Por tanto, en este proyecto se estudió a fondo un caso de estudio situado en la República Mexicana que sirvió como modelo para aplicar sobre él diferentes criterios de EI.

También se estudiaron y describieron otras iniciativas relacionadas con la EI en México, para contribuir a su difusión.

2. Antecedentes de la Ecología Industrial

Hacia la década de los 50s, se dieron los primeros intentos alrededor del mundo por mitigar el impacto causado al ambiente por la industria. No obstante, estas medidas tomadas *al final de la tubería*, como estrategia para controlar las emisiones y descargas de contaminantes al ambiente, tenían grandes desventajas pues solamente canalizaban los daños causados de un medio a otro, sin traer consigo algún ahorro en el consumo de recursos o en el mejoramiento ambiental (Cervantes, 2006).

Posteriormente durante las décadas de los 60s y 70s, con la aparición de diversos movimientos sociales para crear conciencia sobre el cuidado ambiental, surgen las buenas prácticas ambientales, cuyo objetivo era reducir los impactos causados por las actividades humanas al medio ambiente.

A partir de este momento, se introdujeron conceptos como:

Prevención de la Contaminación (P2). Definida por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2008), como la reducción o eliminación de residuos en la fuente a través de la modificación de los procesos de producción, promoviendo el uso de sustancias no tóxicas o menos tóxicas, implementando técnicas de conservación y reutilizando materiales en vez de incorporarlos al flujo de residuos.

Reciclaje. Término que refiere a la reutilización de materiales en su forma original o transformados, en lugar de concebirlos como desechos (EPA, 2008).

Minimización de Residuos. Definido como el uso de métodos de *reducción en la fuente (o prevención de la contaminación)* y de *reciclaje* antes del tratamiento y disposición final de los residuos (EPA, 2008).

Producción más Limpia. Definida como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva para aumentar la eficiencia de productos, procesos y servicios y disminuir los riesgos para el hombre y el medio ambiente (PNUMA).

Ecoeficiencia. Se define como la entrega de bienes y servicios a tasas competitivas que satisfacen las necesidades humanas y brindan calidad de vida, mientras progresivamente reducen el impacto ecológico y la intensidad de los recursos, a lo

largo de todo el ciclo de vida a niveles al menos en línea con la capacidad de recarga estimada de la tierra (CESPEDES, 2008).

Basu y Dirk (2006) encadenan todos estos conceptos a través de una pirámide mostrada en la Figura 1, la cual está encaminada hacia el desarrollo sustentable, donde el escalón más alto es ocupado por el concepto de Ecología Industrial.

Por otro lado, uno de los precedentes más importantes de la Ecología Industrial, se encuentra cimentado bajo los conceptos de *Simbiosis Industrial* y *Sinergia de Subproductos*, nacidos en los años 70's. El principio que se pretende sigan estos conceptos, es que el flujo de residuos de una industria se incorpore a otra convirtiéndose en materia prima para la segunda. Esto trae consigo una considerable reducción en las emisiones contaminantes, así como en los costos de operación de las empresas involucradas (Ayres, 2001).

Más tarde, Robert Ayres desarrolló el concepto de *metabolismo industrial*, definiéndolo como el uso de materiales y energía que fluyen a través de los sistemas industriales para su transformación y posteriormente su disposición como residuos (Garner y Keoleian, 1995). Sin embargo, estos conceptos aún no lograban abarcar la tercia de sectores esenciales para la sustentabilidad: Ambiente, Economía y Sociedad.

Es por ello, que la Ecología Industrial es la puerta hacia una nueva forma de pensar y actuar que nos conduzca hasta la meta del desarrollo sustentable (Ehrenfeld, 1997).

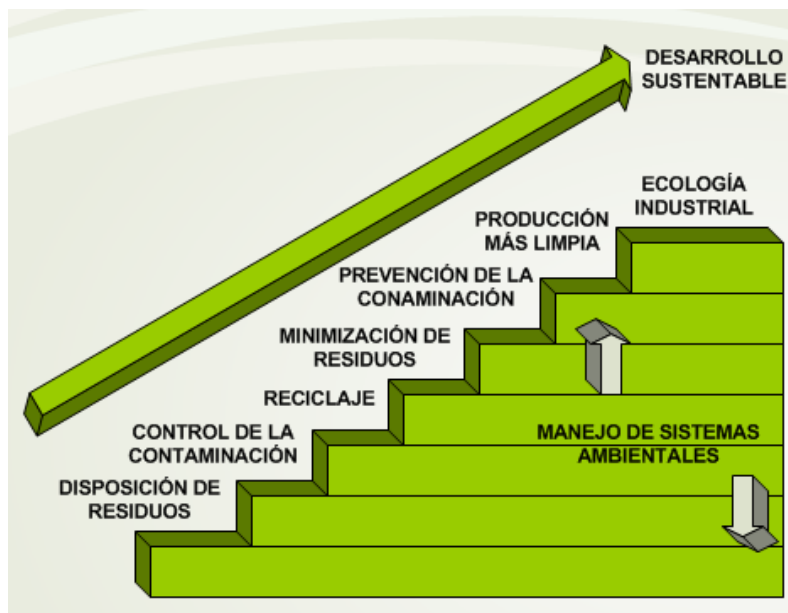


Figura 1. Pirámide hacia la sustentabilidad

3. Marco teórico

3.1 Definición de Ecología Industrial

Los conceptos de Simbiosis Industrial, Sinergia de Subproductos y Metabolismo Industrial, fueron determinantes para que en septiembre de 1989, la publicación científica americana *Managing Planet Earth*, en el artículo *Estrategias para la Producción* de Robert Frosch y Nicholas Gallopoulos se utilizara por primera vez el término *Ecosistema Industrial*, que a la postre sentaría las bases para la definición del concepto de Ecología Industrial.

Este es, sin embargo, un concepto dinámico, por lo que es difícil encontrar una definición absoluta Tibbs (1992) señala que la EI involucra el diseño de infraestructuras industriales considerándolas como una serie de ecosistemas entrelazados hechos por el hombre, que interactúan con los ecosistemas naturales del planeta.

El presente reporte se referirá a la EI como un enfoque en el cual los sistemas industriales tengan un comportamiento similar al de los ecosistemas naturales, transformando el modelo lineal de los sistemas productivos en un modelo cíclico, impulsando las interacciones entre economía, ambiente y sociedad e incrementando la eficiencia de los procesos industriales.

Además, la EI puede describirse también, como el estudio de las interacciones e interrelaciones físicas, químicas y biológicas, dentro de los sistemas industriales, naturales y entre ellos, como se ilustra en la Figura 2.

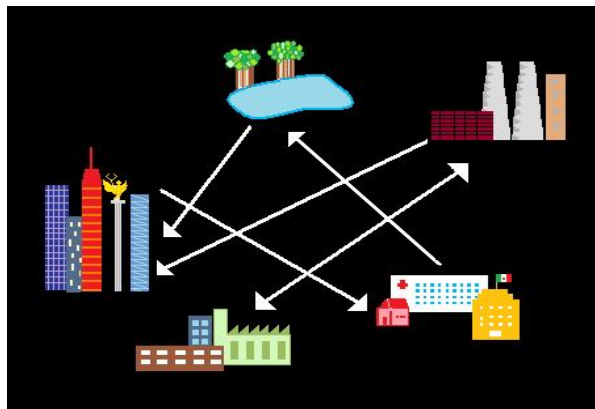


Figura 2. Interacciones propiciadas por la Ecología Industrial

Como consecuencia, pueden observarse tres elementos clave dentro de la Ecología Industrial (Cervantes, 2007):

- 4 Creación una red de industrias o entidades relacionadas con sus alrededores.
- 5 Imitación del funcionamiento de los ecosistemas naturales.
- 6 Inclusión de los tres sectores del desarrollo sustentable (social, económico y ambiental).

3.2 Metas de la Ecología Industrial

El objetivo final al que tiende la Ecología Industrial (EI), es garantizar el desarrollo sustentable a cualquier nivel: global, regional o local, relacionando a sus tres sectores, como se muestra en la Figura 3.

Logrando esta interrelación, es como la EI pretende alcanzar el desarrollo sustentable que proporcione las condiciones ideales para el adecuado desarrollo de la humanidad y de las futuras generaciones.

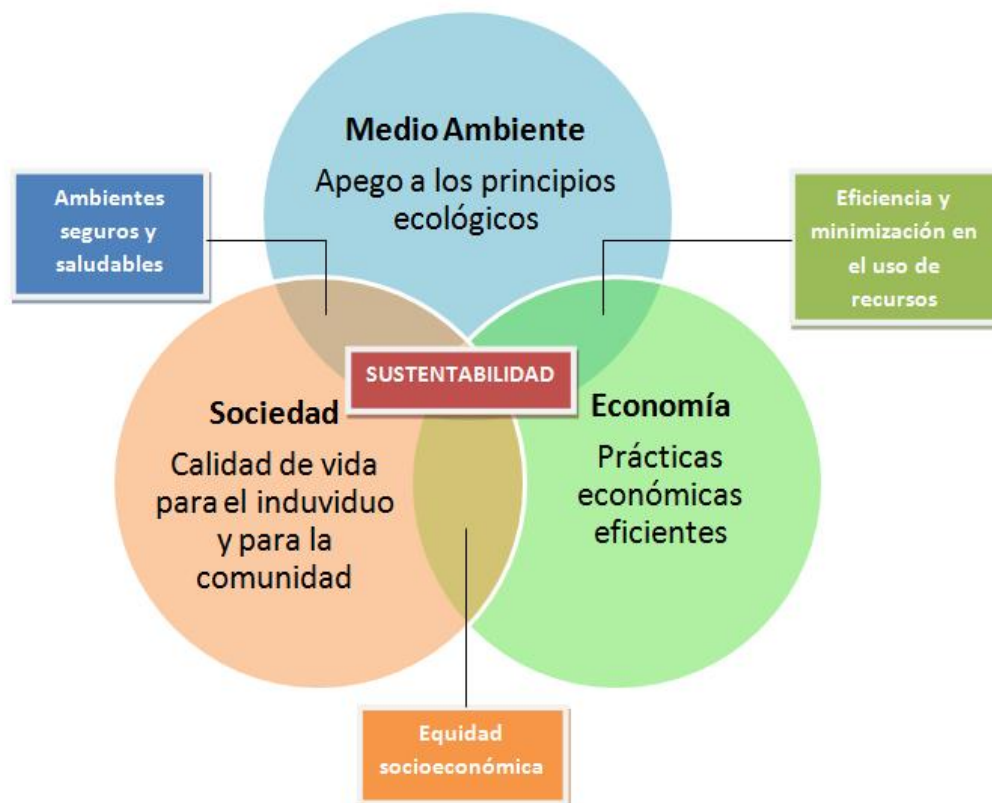


Figura 3. Metas de la Ecología Industrial: Los tres elementos de la sustentabilidad, y las interrelaciones entre sus componentes

3.3 Criterios de la Ecología Industrial

Partiendo de su definición, la EI involucra una amplia gama de criterios que caracterizan a los ejemplos de implementación alrededor del mundo. Entre estos criterios destacan:

- Tendencia a un sistema industrial de ciclo cerrado
- Generación de ciclos de intercambio de información entre los participantes
- Desmaterialización de la economía
- Obtención de energía de fuentes renovables
- Inclusión de costos ambientales en la economía
- Generación y mejora de puestos de trabajo

3.4 Ejemplos de implementación de Ecología Industrial

3.4.1 La Ecología Industrial en el mundo

Una vez que se planteó el concepto de la Ecología Industrial, fue posible desarrollar estrategias de implementación que permitieran poner en marcha este enfoque. A continuación en la Tabla 1, se enlistan los ejemplos más representativos de implementación de EI, alrededor del mundo.

Tabla 1. Ejemplos de implementación de EI en el mundo (Cervantes, 2006).

Europa	Asia	América
<ul style="list-style-type: none"> • Kalundborg (Dinamarca) • MESVAL (España, Italia y Grecia) • Styria (Austria) • Ora Eco-Park (Noruega) • Jyväskylä (Finlandia) • Progetto CLOSED (Italia) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bungangan Baru (Indonesia) • Naroda (India) • Nandeseri IE (India) • Thane-Pelapur IE (India) • Calabarzon (Filipinas) 	<ul style="list-style-type: none"> • By-Product Synergy (México) • Burnside (Canadá) • The Bruce Energy Center (Canadá) • Calgary (Canadá) • Québec (Canadá) • Brownsville (EUA)

Sin embargo, el proyecto más representativo se sitúa en Kalundborg, Dinamarca. Allí nació y se desarrolló un proyecto al que se le dio el nombre de *Simbiosis Industrial* que ha sido hasta la fecha, el programa más completo en cuanto a intercambio de subproductos se refiere. Nació prácticamente por accidente cuando cuatro empresas, tratando de reducir costos y cumplir con la legislación ambiental del país, buscaron nuevas alternativas para el manejo de sus residuos y el aprovechamiento del agua subterránea (Cervantes, 2006).

Los desechos en Kalundborg se venden a través de contratos bilaterales que se llevaban a cabo en cuatro áreas: energía, agua y flujos de materiales, poniendo mayor énfasis en que los beneficios deben ser para ambas partes.

Como tal, el proyecto de *Simbiosis Industrial* se inició en 1972 y en los noventa, el Instituto de Simbiosis Industrial fue creado para coordinar las actividades en este ámbito. Para 1994, 16 contratos regían el proyecto, con una inversión de 40 millones de dólares y con un ahorro estimado anual de 7 millones de dólares. Algunas de las interacciones de este proyecto se muestran de forma simplificada en la Figura 4.

De esta forma, el proyecto *Simbiosis Industrial* de Kalundborg continúa creciendo y modificándose hasta la fecha, estableciendo un modelo que ha sido imitado en numerosas partes del mundo y que a pesar de no haber sido creado bajo el enfoque de EI, sentó las bases de lo que hoy en día conocemos como Ecología Industrial (Estrucplan, 2008).

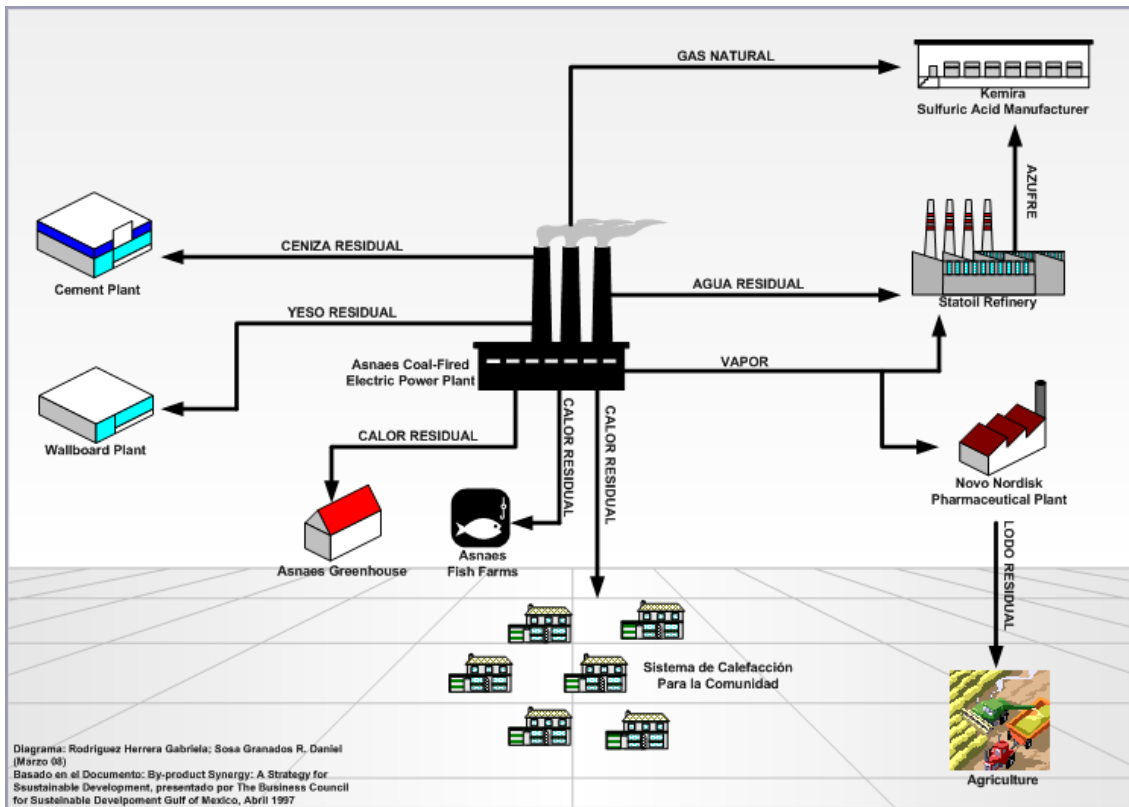


Figura 4. Diagrama simplificado de las interacciones en el proyecto simbiosis industrial de Kalundborg Dinamarca

Otro de los ejemplos de implementación de EI a nivel mundial importante para el desarrollo de este proyecto, es el proyecto MESVAL.

MESVAL es una iniciativa que ha creado una red de centros tecnológicos y otras instituciones para estimular la cooperación entre proyectos de EI en la región del Mediterráneo. Esta red está compuesta por seis organizaciones (centros tecnológicos, universidades) en Cataluña (España), dos en Toscana (Italia) y una en Peloponeso (Grecia) y es coordinada por el Centro Tecnológico de Manresa-Universidad Técnica de Cataluña.

Las iniciativas de MESVAL apuntan hacia los siguientes aspectos:

- Valorización y ensayos experimentales
- Desarrollo y aplicación de indicadores de desarrollo sustentable
- Desarrollo y comunicación de la red

Se identificaron 13 posibles intercambios de residuos entre los sectores industriales implicados. De estos se eligieron nueve que se muestran en la Figura 5 y se realizaron los respectivos ensayos de valorización resultando en que todos estos intercambios son técnicamente factibles.

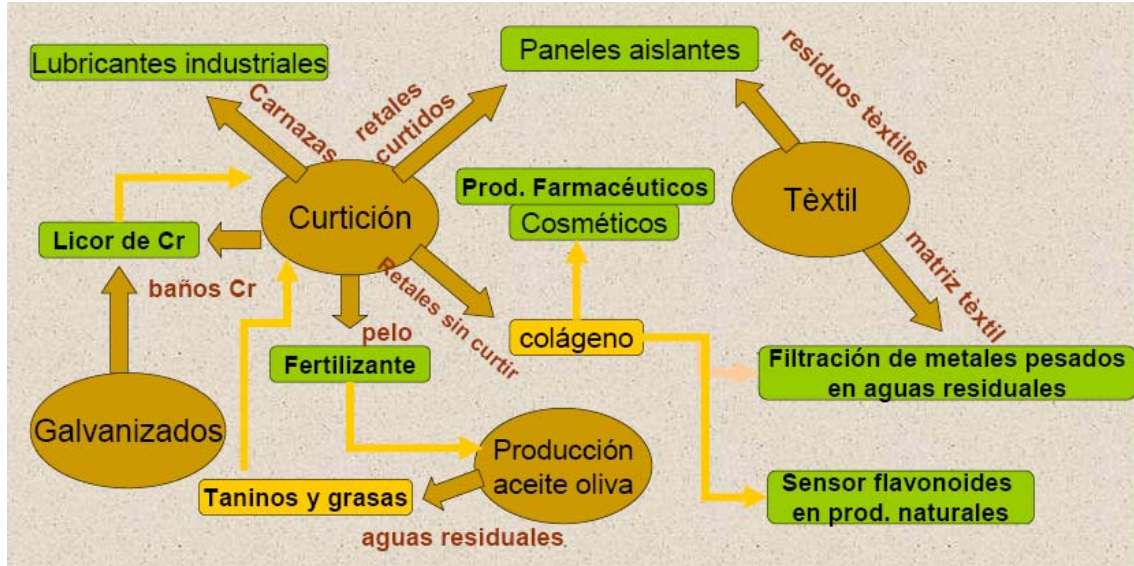


Figura 5. Intercambios desarrollados por el proyecto MESVAL (Cervantes, 2006)

Los resultados de la iniciativa de MESVAL contribuyeron al diseñar estrategias regionales para el desarrollo Ecoindustrial y a planear el manejo colectivo de flujos residuales dentro de una región (Cervantes, 2006).

3.4.2 La Ecología Industrial México

En octubre de 1997, el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable a través del Consejo Empresarial para el Desarrollo Sustentable - Golfo de México. (CEDES - GM), puso en marcha en la ciudad de Tampico, la demostración del proyecto Sinergia de Subproductos que se había implementado en Brownsville Texas. La participación del sector industrial fue amplia, iniciando con un grupo de 21 industrias locales teniendo como meta promover el desarrollo comercial junto con los sectores económicos, de tal manera que los residuos de una industria, fueran las entradas o materias primas de otra trabajando en conjunto para maximizar las propiedades potenciales de algunos materiales a los que se les pueda dar otro uso, una vez sometidos a un proceso de tratamiento (Cervantes, 2007).

Desde el inicio, los resultados fueron alentadores, se reutilizaron subproductos que anteriormente eran materiales dispuestos como residuos, lo que trajo como resultado

que las compañías ahorraran energía, reduciendo el daño ambiental y ganando oportunidades potenciales de comercio. Las empresas participantes, también lograron reducir sus emisiones de gases de invernadero de tal forma que el beneficio fue integral. En la Tabla 2, se enlistan algunas de las sinergias llevadas a cabo, así como los actores que participaron en cada una de ellas.

Tabla 2. Relación de sinergias conocidas en el proyecto By-product Synergy (Business Council for Sustainable Development, 1997).

EMPRESA	SUB-PRODUCTO	DESTINO	SINERGIA
INDELPRO	Polipropileno, PVC	Johns Manville	Producción de Membranas impermeables
INDELPRO	Aluminio	Planta de Tratamiento de Aguas	Auxiliar en el proceso de coagulación-floculación
GE PLASTICS	ABS	Johns Manville	Producción de Membranas impermeables
GE PLASTICS	ABS	Grupo Tampico	Reciclaje de plástico para botellas
GRUPO PRIMEX	PVC	INSA Solución	Suelas de zapatos
GRUPO PRIMEX	Contenedores de Sustancias peligrosas	Centro de Reciclaje de residuos peligrosos	Reciclaje de residuos peligrosos
POLICYD	PVC	Johns Manville	Producción de Membranas impermeables
PECTEN POLIESTERS	Polietileno	Johns Manville	Producción de Membranas impermeables
PECTEN POLIESTER	Contenedores de Sustancias peligrosas	Centro de Reciclaje de residuos peligrosos	Reciclaje de residuos peligrosos
CRYOINFRA	Nitrógeno	Industrias de Inyección de Plásticos	(Con criogénia recupera las propiedades de los polímeros).
CRYOINFRA	Contenedores de Sustancias peligrosas	Centro de Reciclaje de residuos peligrosos	Reciclaje de residuos peligrosos
PEMEX	CO2	Cryoinfra	Utilización para gases industriales
MINERA AUTLAND	Contenedores de Sustancias peligrosas	Centro de Reciclaje de residuos peligrosos	Reciclaje de residuos peligrosos

Hasta ahora, el caso Tampico es el único ejemplo de EI que existe en México. Sin embargo, en base a las actuales problemáticas ambientales, económicas y sociales que enfrentamos, resulta necesario retomar dicho ejemplo e implementarlo en el resto del país.

3.5 Estrategias de Implementación de Ecología Industrial

Se ha detectado que los proyectos de EI implementados alrededor del mundo, comparten aspectos en común que los identifican como ejemplos de EI. Sin embargo, las estrategias desarrolladas en cada caso, han de adaptarse a las necesidades y características de cada ejemplo, diferenciándose así unas de otras.

Para ejemplificar estas diferencias, se describen a continuación dos estrategias de EI: la implementada en el proyecto MESVAL (donde participaron España, Italia y Grecia en el año 2006), y la desarrollada en el proyecto *By-product Synergy* (Tampico, México 1997).

La estrategia correspondiente al proyecto MESVAL (España, Italia, Grecia, 2006), consta de seis etapas esenciales:

1. Creación y actualización de un sitio web para el proyecto donde pudieran estrecharse las interrelaciones entre los participantes.
2. Desarrollo de diagramas de flujo y análisis e integración de éstos.
3. Ensayos de valorización en laboratorio.
4. Diseño de un grupo de indicadores de sustentabilidad e implementación de éstos en los resultados de las pruebas de laboratorio para la elección de la opción más sustentable.
5. Contacto con firmas para el desarrollo de una planta piloto para la valorización elegida.
6. Redacción del documento de estrategias de valorización y contribución a los planes regionales de manejo de residuos (MESVAL, 2006).

En el caso del proyecto *By-product Synergy*, la estrategia implementada consta de 5 fases fundamentales:

1. Concientización, a través de un taller inicial donde los participantes firman una declaración de intenciones.
2. Recopilación de datos, a través de encuestas y visitas complementarias.
3. Análisis e identificación de las sinergias a cargo de una consultoría especializada.
4. Implementación.
5. Evaluación por parte del equipo coordinador (Business Council for Sustainable Development, 1997).

3.6 Implementación de la Ecología Industrial: factores preliminares, barreras y herramientas

Una implementación integral de la EI precisa diversos cambios en las estructuras de las organizaciones participantes y de los sistemas de información. Hay factores que favorecen esta implementación, así como elementos que pueden dificultarlas. Es importante conocer estos elementos, así como las estrategias y herramientas con las que se cuenta para establecer un sistema de EI.

3.6.1 Factores preliminares para la implementación de la EI

La implementación de la Ecología Industrial depende de varios factores, entre ellos se encuentran unos de tipo preliminar que deben ser considerados, estos son:

Motivación

Es cierto que la Ecología Industrial consigue tener éxito, en parte, gracias a la tecnología, pero en gran medida lo es también gracias al factor humano implicado. Esto se debe a que se requiere un intercambio exhaustivo de información lo que provoca en algunos casos, desconfianza de parte de los involucrados. De esta forma y para que la colaboración sea exitosa, todos los proyectos acordados y todos los niveles de las organizaciones deben estar motivados para sostenerlo.

Comunicación

Es esencial que todos los acuerdos llevados a cabo mantengan una buena comunicación entre los participantes. Esto permite identificar, evaluar e implementar la Ecología Industrial. Siendo necesario que la información sea libremente intercambiada por los participantes potenciales del proyecto. La comunicación es un elemento que ayuda a librar más rápidamente las barreras que se interponen en la sinergia de subproductos.

Innovación

La innovación es regularmente requerida, desde la invención de nuevas conversiones de tecnología hasta la creación de estrategias para ir superando los desánimos y otras barreras.

Participación

Para el éxito de la EI, se requiere de una activa participación a través de las organizaciones colaboradoras, de las industrias, de la plantilla de trabajadores, etc. Todas los niveles de las organizaciones deben estar involucrados e identificados, evaluando e implementando el proyecto para asegurar que todas las potenciales barreras sean identificadas y superadas.

3.6.2 Barreras para la implementación de la EI

La implementación de la EI proporciona beneficios ambientales, económicos y sociales, pero esto no es siempre fácil de lograr ya que en la implementación de la EI, se identifican barreras, entre las que destacan:

Barreras técnicas

Este tipo de barrera, cuestiona específicamente la conversión de un subproducto como recurso de un nuevo proceso, a través de la evaluación de las modificaciones al proceso que sean necesarias realizar para llevar a cabo la sinergia de subproductos, en caso de que estas sean necesarias.

Barreras económicas

El cuestionamiento principal en este tipo de barrera, es analizar si la conversión del subproducto como recurso es económicamente factible, basándose en los beneficios monetarios que este aprovechamiento traerá consigo, desde el ahorro en inversiones para obtención de materia prima, como los costos por la conversión de algunos de sus procesos que permitan maximizar el aprovechamiento del subproducto.

Barreras geográficas

Estas pueden ser factores determinantes en la implementación de la sinergia de subproductos, ya que hay que plantearse que tan sencillo será el transporte y almacenamiento del subproducto desde su fuente generadora hasta la empresa destino, ya que esto podría representar un gasto económico extra para poder llevar a cabo el aprovechamiento.

Cada proyecto tiene su propio grupo de barreras, sin embargo, para que estas puedan ser superadas, es importante desarrollar los factores preliminares de la mejor forma posible, entre los cuales, la comunicación resulta ser uno de los principales factores para librar los obstáculos que se presenten y de esta forma superar las barreras en la implementación de la EI (Business Council for Sustainable Development, 1997).

3.6.3 Herramientas de la EI

La EI utiliza muchas y variadas herramientas que le permiten analizar y fomentar de manera exitosa las interacciones e interrelaciones existentes entre los sistemas industriales y también otras que se desarrollan al interior de una sola empresa o sistema. Entre ellas podemos mencionar:

- Análisis de Ciclos de Vida (ACV)
- Análisis de Flujo de Materia (AFM)
- Diagramas de flujo
- Análisis de flujo de recursos
- Metabolismo Industrial
- Análisis Económico Ambiental
- Producción más limpia
- Ecoeficiencia, entre otras

Tras la utilización de estas herramientas, es como se puede dar marcha a un proceso de implementación de EI, que tenga como objetivo el beneficio del sector ambiental, económico y social tendiendo al desarrollo sustentable (Cervantes, 2006).

3.7 Indicadores de sustentabilidad

La tendencia al desarrollo sustentable en una región es susceptible de medición. Para ello se utilizan los indicadores de sustentabilidad. Los indicadores se pueden definir como medidas en el tiempo de las variables de un sistema que nos dan información sobre las tendencias de éste, sobre aspectos concretos que nos interesa analizar.

Éstos pueden estar compuestos simplemente por una variable (número de vehículos de un municipio) o por un grupo de ellas, como por ejemplo los metros cuadrados de verde urbano por habitante y también pueden encontrarse interrelacionadas formando índices complejos, como los índices económicos (Antequera, 2007).

Un indicador es un signo, típicamente medible, que puede reflejar una característica cuantitativa o cualitativa, y que es importante para hacer juicios sobre condiciones del sistema actual, pasado o hacia el futuro. La formación de un juicio o decisión se facilita comparando las condiciones existentes con un estándar o meta existentes (Quiroga, 2001). En este escrito se calcularán indicadores de índole ambiental, económica y social.

Los indicadores ambientales permiten conocer en qué medida el aprovechamiento de residuos como materia prima resulta favorable para el medio ambiente que rodea al sistema.

Los indicadores económicos dan la pauta para cuantificar los beneficios económicos obtenidos por aprovechamiento de residuos como materia, estableciendo la relación entre la cantidad de dinero ahorrada por obtención de materia prima y la cantidad de dinero obtenida por la venta de sus productos generados.

Por último, los indicadores de tipo social nos ayudan a conocer además de los beneficios propios obtenidos de su sistema de producción, el beneficio que estos aportan a la sociedad a partir de su vinculación con la educación y las diversas actividades en las que el sistema se ve involucrado interactuando directamente con la sociedad.

3.8 Sustentabilidad en el sector agrícola

Para que el sector agrícola pueda cumplir con las demandas sociales y económicas, se requiere una reestructuración en las prácticas involucradas.

Agricultura sostenible es un sistema integrado de prácticas de producción de plantas y animales, con el objetivo de satisfacer la alimentación humana, mejorar la calidad del ambiente y hacer un uso más eficiente de los recursos no renovables e integrarlos con los recursos de la granja, manteniendo la viabilidad económica de las operaciones

agrícolas. Mediante éste sistema, se mejora la calidad de vida de los agricultores y la sociedad como un todo (Fiagro, 2008).

Entre las prioridades que considera un sistema agrícola sustentable están la degradación y pérdida de recursos del suelo, la perforación de pozos profundos y la salinidad asociada con el riego, la coevolución de plagas y patógenos asociados con el uso de controles químicos, el impacto de los cambios globales de clima, y la pérdida de diversidad biológica (Ruttan, 1999).

Una solución planteada para resolver las problemáticas relacionadas con la degradación de suelos y acuíferos debido a la utilización de fertilizantes y plaguicidas químicos es la producción de fertilizantes a partir de residuos orgánicos. Existen diversos métodos para transformar la materia orgánica proveniente de las granjas en abonos asimilables por el suelo: composteo, vermicomposteo, composteo tipo bocashi y digestión anaerobia.

Con este último método, no solamente se consigue la producción de fertilizantes sino también la producción de biogás que puede aprovecharse como combustible, en condiciones adecuadas, a través de un proceso de metanización.

Las etapas que sigue un proceso de metanización, son las siguientes:



Hidrólisis. En esta etapa, una gran variedad de microorganismos aerobios y anaerobios, excretan enzimas hidrolíticas encargadas de fraccionar los enlaces de los polisacáridos que forman la biomasa, en unidades simples de azúcares, grasas y aminoácidos. La hidrólisis presenta un nivel de pH aproximadamente de 5, además de presentar características facultativas, esto quiere decir que puede llevarse a cabo en condiciones de aerobiosis y anaerobiosis.

Acidogénesis. Los Microorganismos asimilan los compuestos de la fase anterior para producir una gran cantidad de ácidos orgánicos, también se producen gases como CO₂, hidrógeno, pequeñas cantidades de amoníaco, ácido sulfhídrico y alcoholes, en especial glicerol. El rango de pH óptimo para esta etapa va de 6.6 – 3.7, siendo también facultativa.

Acetogénesis. En esta etapa, la presencia de bacterias denominadas acetogénicas de lento crecimiento, se encargan de metabolizar los alcoholes y los ácidos de la etapa anterior para dar lugar a la generación de ácido acético e hidrógeno. En esta etapa las condiciones cambian para dar lugar a un proceso estrictamente anaerobio en un nivel de pH aproximadamente de 6.

Metanogénesis. Las bacterias metanogénicas son las encargadas de transformar en esta última etapa, el acetato, hidrógeno y CO₂ carbónico producido en metano, CO₂ y agua. Esta última etapa también se desarrolla únicamente bajo condiciones de estricta anaerobiosis en un rango de pH de 6.45 – 8.0 (GTZ, 2007).

Otro ejemplo de proceso sustentable dentro del sector agrícola, es la producción de vermicomposta, la cual puede definirse como la cría masiva, sistemática y controlada de lombrices encargadas de degradar materia orgánica.

Esta es una técnica que involucra varios procesos biológicos, que aceleran la transformación y mineralización de un residuo orgánico en descomposición y lo convierte en abono fácilmente asimilable para las plantas a través del proceso metabólico llevado a cabo por las lombrices. El vermicomposteo es una ecotecnología sencilla, viable y productiva para la producción intensiva de abono orgánico que por las características del producto que genera, puede hablarse del abono orgánico de mejor presentación, calidad y cotización en el mercado.

El producto resultante conocido como humus, tiene la misma apariencia y olor de la tierra negra y fresca, es un sustrato estabilizado de gran uniformidad, contenido nutrimental y con una excelente estructura física, porosidad, aireación, drenaje y capacidad de retención de humedad.

Durante el proceso no se generan desperdicios, malos olores o atracción de organismos indeseables, además no requiere de equipos costosos, conocimientos profundos o controles (CECyTECH, 2006).

Por último, no puede hablarse de sustentabilidad en el sector agrícola sin mencionar el aprovechamiento de energías alternativas y renovables que permitan a estos sistemas de producción depender cada vez menos del suministro de energía como la eléctrica o la proporcionada por el gas comercial.

Tal es el caso de la energía solar, que hoy en día representa una gran alternativa debido a la variedad de usos que esta presenta.

Puede ser aprovechada a través de sistemas constituidos por celdas, paneles y espejos entre muchos otros materiales y diseños que ofrecen una amplia gama posibilidades para su utilización.

Algunos de los usos más comunes aplicados para el aprovechamiento de la energía solar son:

- Calefacción doméstica
- Refrigeración
- Calentamiento de agua
- Destilación
- Generación de energía
- Hornos solares
- Secado

Como puede observarse la implementación de un equipo que aproveche la energía proporcionada por el sol dentro del sector agrícola, además de ayudar a reducir costos por el pago de energía eléctrica, representa una opción para satisfacer las necesidades de este tipo de sistemas de forma sustentable.

4. Justificación

El desarrollo económico, resultado de la producción de bienes y servicios ha representado desde la Revolución Industrial y especialmente en las últimas décadas el sustento de la sociedad. Esta estructura, sin embargo, ha traído consigo severos daños al ambiente debido a la estrecha relación entre el crecimiento poblacional e industrial y el deterioro ambiental.

Debido a esto, se pretende alcanzar una reforma en los sistemas industriales del planeta, convirtiéndolos en sistemas que transforman recursos en bienes y servicios de una forma sustentable. Para cumplir con estos requerimientos, es necesario contar con un enfoque como el que brinda la EI, donde al tiempo que se busca beneficiar económicamente a las industrias a través del incremento de la eficiencia en el uso de sus recursos, se consigue reducir significativamente la cantidad de residuos destinados a disposición final disminuyendo también el impacto ambiental que estos causan, así como el costo de gestión de éstos, ya que son utilizados como materia prima al incorporarse a nuevos procesos de producción.

A nivel social, la valorización de algunos residuos puede dar lugar a nuevos procesos de transformación que generarán nuevos empleos. Asimismo, los daños al ambiente que se consiguen evitar repercuten en la calidad de vida de la sociedad. La EI fomenta además, el desarrollo científico al vincular al sector académico, que es parte de la sociedad, con el sector industrial, en la búsqueda de nuevas tecnologías que solucionen las deficiencias en el manejo de recursos dentro de los sistemas de producción. Por otro lado, los principios promovidos por la EI pueden contribuir significativamente con el gobierno en la búsqueda de rutas hacia la sustentabilidad.

La importancia de los resultados que arroja la implementación de la EI, radica en que este enfoque ha logrado transformar los sistemas lineales de diversas regiones en sistemas globales donde todos los sectores que conforman a la región se benefician.

Es evidente que nuestro país es una región que enfrenta importantes crisis económicas y ambientales debido al mal manejo de los vastos recursos con los que se cuenta y en algunos casos, a la falta de innovación en tecnología. Por este motivo, es primordial la búsqueda de enfoques como el de la EI que contribuyan a producir de forma sustentable en todos los sectores productivos de la República.

En este aspecto, el sector agrícola es uno de los más desprotegidos del país. Como en la mayor parte de los países de América Latina, el sector agrícola ha forjado las bases de la economía nacional durante siglos. Sin embargo, este ha enfrentado una importante decadencia en las últimas décadas. Por esta razón es necesaria la reactivación de este sector a través de la aplicación de criterios que tiendan a la sustentabilidad en la producción de productos agropecuarios de calidad.

5. Objetivos

Objetivo General

1. Aplicar criterios de implementación de Ecología Industrial en un caso de estudio seleccionado.

Objetivos Específicos

1. Profundizar y describir dos ejemplos relacionados con la EI que ayuden a desarrollar la adaptación de una estrategia de implementación de EI para el caso de estudio seleccionado.
2. Aplicar la estrategia de implementación de Ecología Industrial desarrollada en el caso de estudio seleccionado.
3. Identificar y analizar los aprovechamientos de residuos que se llevan a cabo en el sistema de producción elegido.
4. Seleccionar los procesos que sean susceptibles de mejora para llevar a cabo propuestas que optimicen el aprovechamiento de recursos y promuevan el uso de energías renovables.
5. Crear, identificar y calcular indicadores de sustentabilidad que correspondan al caso seleccionado.
6. Estudiar la reproducción de la estrategia de implementación de EI desarrollada en un sistema similar como propuesta de continuidad.

6. Metodología

La metodología desarrollada para este proyecto está dividida en tres partes que facilitan su entendimiento y relación con los objetivos específicos planteados.

La primera parte de la metodología muestra cómo se desarrollaron las actividades que permitieron estudiar ejemplos de EI para adaptar una estrategia de implementación bajo este enfoque en el caso seleccionado.

La segunda parte de la metodología detalla la aplicación de la estrategia de implementación desarrollada para el caso seleccionado.

La tercera y última parte, muestra cómo se busca enriquecer el caso seleccionado a través del estudio de una propuesta de reproducción de la estrategia de implementación desarrollada en un sistema similar.

6.1 Primera parte. Estudio de ejemplos de EI para la adaptación de una estrategia de implementación en un caso de estudio

Como parte de la investigación llevada a cabo para profundizar sobre ejemplos de implementación de EI, se realizó una visita a la ciudad de Altamira, Tamaulipas (mayo, 2007). Esta ciudad, importante productora de derivados del petróleo dentro del territorio nacional, es la sede del proyecto By-product Synergy (BPS), primer caso de implementación de EI en México.

Durante esta visita se recorrió parte de la zona industrial involucrada en el proyecto desarrollado por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable a través del Consejo Empresarial para el Desarrollo Sustentable - Golfo de México (CEDE S - GM).

Preliminarmente, se construyó un diagrama de flujo cualitativo sobre los intercambios de residuos llevados a cabo en Altamira en base a la información recabada. Tras una reunión concertada con industriales y catedráticos de la zona en la Asociación de Industriales del Sur de Tamaulipas (AISTAC) pudo discutirse, de manera general, cómo ha ido evolucionando el proyecto a lo largo de diez años, los factores que han influido en la implementación y desarrollo de este proyecto, así como los obstáculos a los que BPS se ha enfrentado a lo largo de una década. Con la colaboración de los

asistentes, entre quienes destacan Eduardo Prieto, pionero en la implementación de la Ecología Industrial en México y Salvador Salazar, presidente de la AISTAC, se modificó el diagrama de flujo diseñado previamente.

Debido a las experiencias adquiridas, la información recabada durante la visita y el diseño de los diagramas para el caso Tampico, se consideró al proyecto By-product Synergy como una fuente adecuada para la adaptación de una estrategia de implementación para el caso de estudio seleccionado, ya que estudiar un ejemplo cercano brinda la posibilidad de conocer una estrategia que se ha creado en torno a la realidad de México, la cual se ha comprobado y actualmente se sigue desarrollando exitosamente en la zona Industrial de Altamira.

Por otro lado se estudió la estrategia desarrollada en el proyecto MESVAL para este mismo objetivo debido a la disponibilidad y acceso a la información con la que se contó.

De las 5 fases que comprenden el proyecto By-Product Synergy, listadas en el apartado 3.5 de este escrito, aquellas que corresponden a recopilación de datos, análisis e identificación de las sinergias, son las que se consideraron para el cumplimiento del objetivo específico número 1, debido a su versatilidad bajo condiciones generales y cuya ejecución puede llevarse a cabo sin mayor dificultad. Las fases restantes responden a necesidades de carácter estrictamente industrial, que difícilmente podrían ser adaptadas a nuestro caso de estudio, debido a que este se lleva a cabo a una escala menor y sin el mismo presupuesto asignado a proyectos de tipo industrial.

Las etapas 1, 5 y 6 del proyecto MESVAL, también mencionadas en el apartado 3.5 de este escrito, detallan actividades que contribuyen a la comunicación entre los participantes de dicho proyecto, sin embargo, se consideró que éstas etapas responden a necesidades específicas del proyecto MESVAL. Por otro lado, las etapas 2, 3, y 4 refieren a actividades realizables bajo circunstancias generales y que, contribuyeron en gran medida al cumplimiento del objetivo específico 1: Adaptar estrategias de Implementación de Ecología Industrial en un caso de Estudio Seleccionado.

Como se explicó anteriormente, aunque los diversos casos de EI posean rasgos en común que los caractericen a todos como ejemplos de implementación de EI alrededor

del mundo, estos no comparten una misma estrategia de implementación de EI debido a las distintas propiedades y necesidades de cada caso. El nuevo caso de estudio para la implementación de EI, tendrá su propia estrategia, de esta manera y en base al análisis que se ha hecho de las dos estrategias escogidas anteriormente para su estudio, se ha conseguido complementar ambas y adaptarlas a las necesidades del caso de estudio seleccionado, a partir los criterios detallados anteriormente.

6.2 Segunda parte. Aplicación de la estrategia de implementación de Ecología Industrial adaptada

La estrategia de implementación producto de la adaptación descrita en el apartado anterior, permite aplicar los criterios de la EI señalados en el apartado 3.3. La estrategia desarrollada es la siguiente.

1. Selección del caso de estudio

Para iniciar el proyecto en EI, se define el sistema de producción con el cual se trabajará, buscando que la información de éste se encuentre disponible.

2. Obtención de información cuantitativa y cualitativa

A través de diversos medios (entrevistas, visitas, consultas), se obtiene la mayor cantidad de datos cualitativos del sistema con el objetivo de analizar los procesos y conocer los flujos de materia, energía e información a través de todo el sistema, es decir, identificar el origen y destino de cada uno de los elementos involucrados en los procesos que se llevan a cabo dentro del sitio seleccionado. Para ello, se establecerán entidades. Cada entidad es un nodo que involucra uno o más procesos a partir del cual entran y salen recursos.

Además, se recopila el mayor número de datos cuantitativos relacionados con el flujo de materia dentro del mismo sistema. Esta información se vacía en una tabla diseñada a partir de cuatro columnas:

- En la primera de ellas se enlista cada una de las entidades identificadas a lo largo de todo el sistema, nombrándolas a partir de algún elemento distintivo o citando algún proceso que caracterice a la entidad.

- En la segunda columna, se identifican las materias involucradas en cada una de las entidades. Esta columna de materia se divide a su vez en otras cuatro columnas encargadas de enlistar:
 - El nombre de la materia que provee a dicha entidad
 - El origen de la materia utilizada para el proceso
 - El destino o uso que se le dará a la materia utilizada en el proceso
 - La cantidad empleada de materia para satisfacer las necesidades del proceso

- La tercer columna enlista los residuos generados en los procesos pertenecientes a cada entidad, distribuida a su vez en cuatro columnas más que identifican:
 - El nombre del residuo generado
 - El origen del residuo, ubicándolo por el nombre de la entidad que lo está generando
 - El destino de dicho residuo, citando el nombre de la entidad a la que el residuo está destinado para su aprovechamiento
 - La cantidad en la que el residuo es generado

- La cuarta columna indica los productos obtenidos en cada uno de los procesos llevados a cabo dentro de las entidades que conforman el sistema. A su vez está dividida en cuatro columnas más que enlistan:
 - El nombre del producto obtenido
 - El origen del producto, citando el nombre del proceso perteneciente a la entidad que lo genera
 - El destino que tiene el producto obtenido, especificando por medio de un nombre el sector al que está destinado
 - La cantidad en la que este producto es generado

3. Construcción de los diagramas de flujo y descripción general del sistema

Con base a la información cualitativa y cuantitativa reunida, se construye diagramas que muestren cómo y en qué proporción fluyen los recursos y la información dentro del sistema. Cada entidad, esta esquematizada por un rectángulo. Puede ocurrir que más de un proceso se lleve a cabo dentro de una entidad, pero al ser afines o complementarios, se representan por un solo rectángulo. La materia que circula dentro del sistema, está representada por líneas dirigidas desde la entidad que la origina hasta la entidad a la que está dirigida. Es recomendable distinguir a través de distintos colores o estilos de línea si ésta esquematiza un residuo, una materia prima, agua o un producto. Para el caso de los diagramas de flujo cuantitativos, se coloca sobre la línea que representa el flujo del elemento en cuestión, la cantidad en que éste elemento es transportado de una entidad a otra.

Tras la construcción de los diagramas de flujo a partir de la información obtenida, se realiza la descripción que permita comprender el funcionamiento del sistema de forma global haciendo énfasis en las interacciones generadas a partir del intercambio y aprovechamiento de materia, energía e información.

4. Pruebas en campo, laboratorio y análisis de resultados

Basándose en los diagramas de flujo y la descripción del sistema se identifican los puntos susceptibles de mejora tomando en cuenta las necesidades del sistema, posteriormente se toman muestras y se realizan una serie de pruebas químicas sobre ellas cuyos resultados son analizados.

5. Realización de propuestas de optimización

Una vez analizados los resultados arrojados por las pruebas de laboratorio, se realizan diversas propuestas para optimizar la utilización y aprovechamiento de materia y residuos dentro del sistema, promoviendo la interacción entre las diversas entidades involucradas.

6. Identificación y cálculo de indicadores de sustentabilidad

Para identificar los indicadores de sustentabilidad del sistema, se plantean los objetivos de sustentabilidad. Estos expresan las tendencias de sustentabilidad hacia las cuales se quiere llegar. Para cada objetivo de sustentabilidad existe al menos un tema que concrete de forma específica estos objetivos. Es indispensable que cada tema responda a un objetivo. Cada tema debe ser expresado por al menos un indicador y desde luego cada indicador está relacionado con un objetivo de sustentabilidad. En algunos casos es necesario establecer relaciones entre dos distintos indicadores. Estas relaciones permiten percibir de forma más clara si se alcanza el objetivo de sustentabilidad planteado y también comparar los resultados con otros ejemplos similares.

Considerando un sistema global, se calculan dentro de éste diversas medidas económicas, ambientales y sociales representadas por indicadores.

Materiales y Métodos

Para este proyecto, los materiales y métodos a utilizar para el punto número 4 de la estrategia adaptada son:

Materiales

- Flexómetro
- Bolsas negras de plástico
- Etiquetas para el registro de las muestras
- Pala
- Potenciómetro marca: OAKTON

Métodos

Se lleva a cabo la toma de una muestra de aproximadamente 500g de cada una de las clases de humus de vermicomposta a comparar.

Para la determinación de pH en los bidones de digestión anaerobia, se toman las lecturas de pH en cada uno con ayuda del potenciómetro.

La determinación de los análisis establecidos se lleva a cabo de acuerdo con la norma correspondiente.

Las pruebas realizadas al humus de vermicomposta fueron:

- Contenido de Humedad
- Contenido de Cenizas
- Contenido de Materia Orgánica
- Nivel de pH
- Contenido de Nitrógeno Total
- Contenido de Fósforo Total

La prueba realizada para el Proceso de Producción de fertilizante por digestión anaerobia fue:

- Nivel de pH

Como parte de la Identificación de alternativas para la utilización de energía solar se realizó:

- Cotización de sistemas de calentamiento por paneles solares actualmente disponibles en el mercado.

6.3 Tercera parte. Propuesta de Continuidad

Cumpliendo con el objetivo específico número 6, se planteó la posibilidad de reproducir la estrategia de implementación de El desarrollada en este proyecto, buscando un nuevo caso de estudio con características similares como modelo de continuidad que siga el ejemplo del caso desarrollado previamente enriqueciendo de esta forma, lo ya puesto en marcha en el primer caso .

Para ello se realizaron visitas donde se analizó el modo de operación del sistema y se elaboró un diagrama de flujo cualitativo que muestra el flujo de materia y los aprovechamientos de residuos dentro del sistema.

Posteriormente tras el análisis del diagrama, se propusieron nuevos intercambios y aprovechamientos de residuos dentro del sistema.

Finalmente se establecieron relaciones de intercambio demostrativas entre los dos sistemas concebidos como sistemas Ecoindustriales para ejemplificar las sinergias que pueden llegar a generarse entre dos modelos de producción que además de intercambiar residuos dentro de su propio sistema, tienen la capacidad de interactuar entre si.

7 Resultados y Análisis

A continuación se detallan los resultados y análisis para cada una de las partes en que esta dividida la metodología del proyecto respondiendo a los objetivos planteados.

7.1 Primera parte. Estudio de ejemplos de EI para la adaptación de una estrategia de implementación en un caso de estudio

Como se describe en la primera parte metodología, se diseñaron dos diagramas de flujo cualitativos para el proyecto By-product Synergy, que muestran cuales son los aprovechamientos e intercambios de residuos y subproductos generados dentro de la zona industrial de Altamira.

Puede observarse, comparando las Figuras 6 y 7, que ciertos flujos de materiales han cambiado e incluso, desaparecido. Aunque por otro lado, se han establecido intercambios nuevos. En el caso del diagrama elaborado antes de la visita, se tenían identificadas 14 industrias intercambiando 13 residuos y subproductos diferentes. Sin embargo tras la visita realizada, se modificó el diagrama de la Figura 5 incrementándose el número de industrias participantes y de residuos y subproductos intercambiados al doble.

Una diferencia notable entre estos dos diagramas, es que en el segundo se cuenta con la presencia de la Asociación de Industriales del Sur de Tamaulipas (AISTAC), la cual coordina y establece las líneas de comunicación entre las industrias de la región, situación que ha facilitado en gran medida el incremento de aprovechamientos en la zona industrial de Altamira.

El considerable aumento en el número de sinergias detectadas, es consecuencia del constante cambio que experimentan las zonas industriales y Altamira no es la excepción. A esta región se han ido incorporando nuevas industrias que ayudan a incrementar el número de sinergias posibles entre cada una de los sectores.

Esto es consecuencia también, de la combinación de varios factores que han facilitado la implementación de dichas sinergias para el éxito del proyecto.

Uno de estos factores fue la cercanía física entre empresas que permitió reducir los costos por el manejo y transporte de los residuos intercambiados como en el caso de

las industrias NHUMO y Chemtum que se encuentran a una distancia lo suficientemente corta para establecer el intercambio de vapor residual a través de un sistema de tuberías, como puede observarse en la memoria fotográfica.

Otro de los factores que facilitaron el establecimiento de sinergias entre las industrias de Altamira, fue el constante flujo de información basado en la confianza entre industrias que permitió lograr los acuerdos y los lineamientos bajo los cuales se establecerán los intercambios de subproductos.

La afinidad entre industrias representó una gran ventaja en comparación con otras zonas industriales, debido a la afinidad que existe entre cada uno de los productos fabricados en esta región, facilitando de una manera notable la identificación e implementación de sinergias de subproductos.

Por último, como consecuencia de la afinidad que existe entre los productos fabricados y las materias primas utilizadas, el factor técnico no representa una complicación, debido a que no es necesaria una conversión drástica en el tren de producción para poder aprovechar los residuos de otras industrias.

Teniendo como garantía que mientras se siga trabajando bajo la misma filosofía de disposición y comunicación, Altamira irá modificando su configuración actual y como consecuencia de ello, se desarrollará con mayor eficiencia el potencial productivo de la zona, impulsando así el desarrollo del país.

Como parte de la visita a la zona industrial de Altamira, se recorrió parte del complejo industrial INSA-NHUMO (empresas que producen hule sintético y negro de humo, respectivamente). Este recorrido permitió apreciar que a través de la implementación de buenas prácticas ambientales, estas dos industrias desarrollaron estrategias que les condujeron del borde de la quiebra a ser empresas certificadas en múltiples ocasiones por organismos gubernamentales en cuestión ambiental, sin dejar de lado, desde luego, los beneficios económicos que acarrearán consigo las mejoras en todo el proceso de producción.

En la Figura 8, puede observarse la entidad NHUMO, así como los intercambios que ocurren entre ella y las demás entidades entre los que destaca el llevado a cabo con granjas porcinas al enviar residuos orgánicos para la alimentación del ganado

mostrando de esta manera que los intercambios se dan no solo beneficiando a grandes industrias, sino a sectores más pequeños de la sociedad.

Sin embargo, las buenas prácticas ambientales y la certificación gubernamental, no son los únicos elementos que se requieren para la introducción de la Ecología Industrial. También es necesario cambiar los conceptos culturales y de conducta ambiental de todos los involucrados en un proyecto de dicha magnitud.

DIAGRAMA DE SINERGIAS

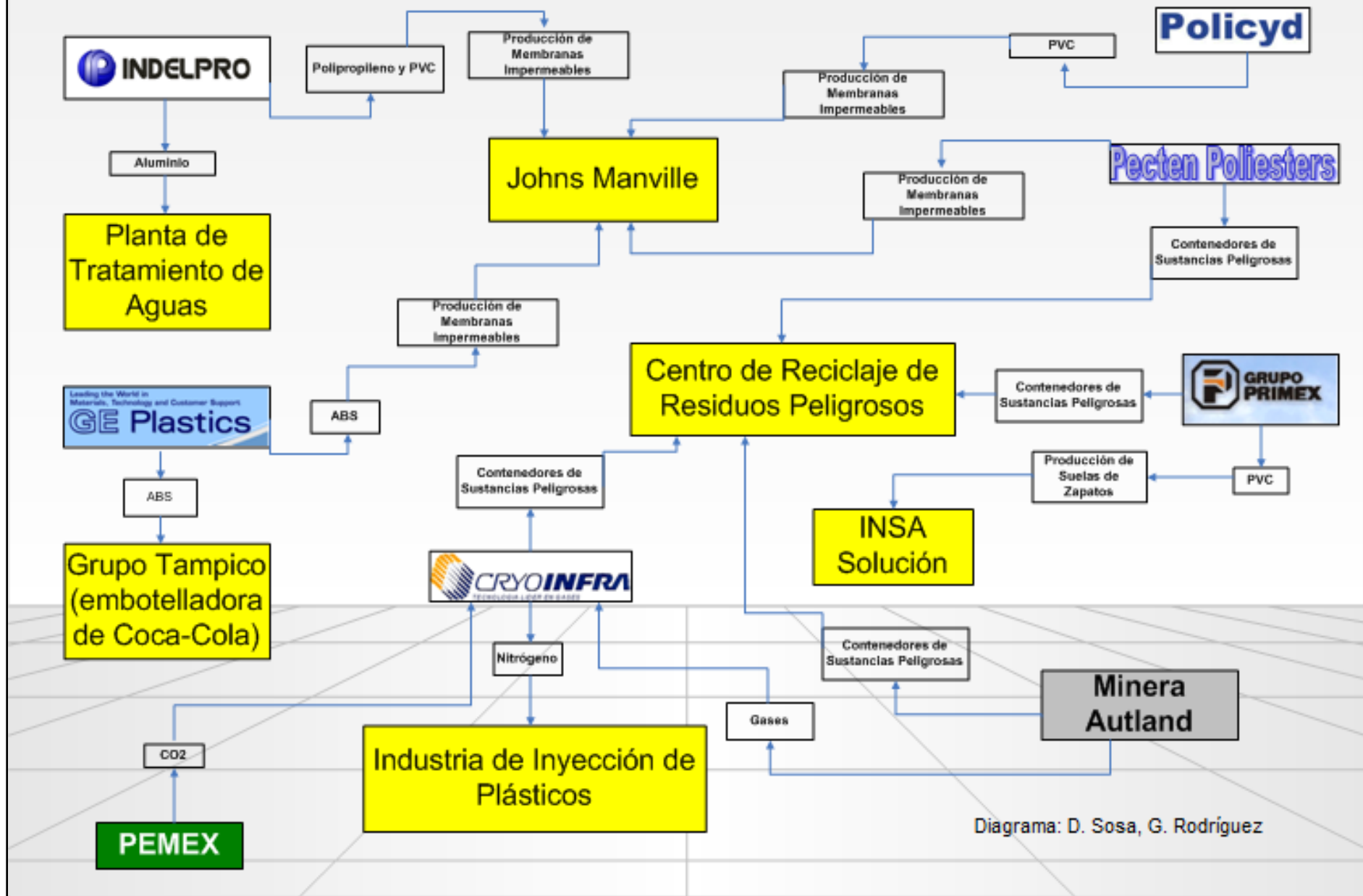


Figura 6. Diagrama de flujo cualitativo preliminar del proyecto Sinergia de Subproductos

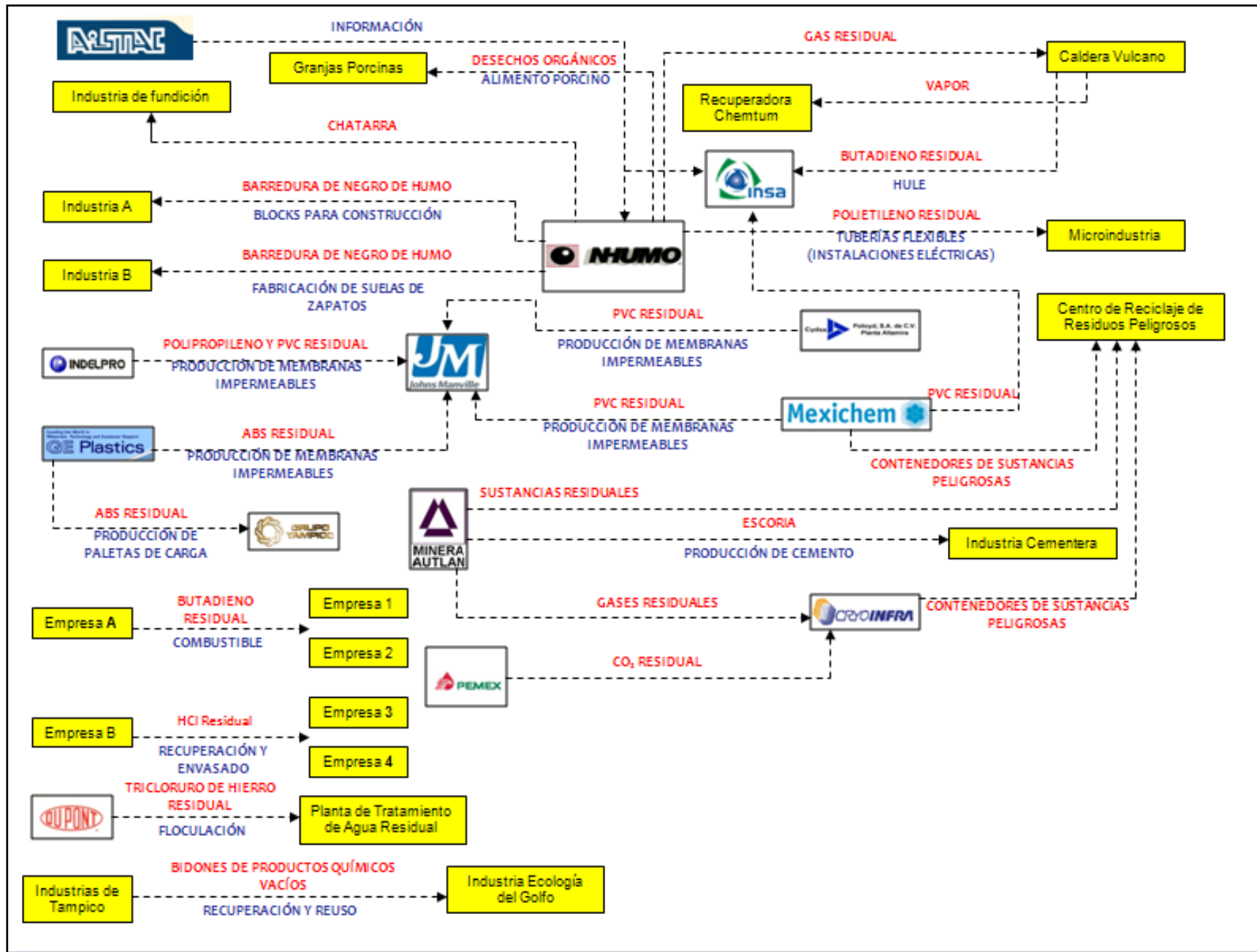


Figura 7. Diagrama de flujo cualitativo modificado tras la visita a Altamira, Tamaulipas

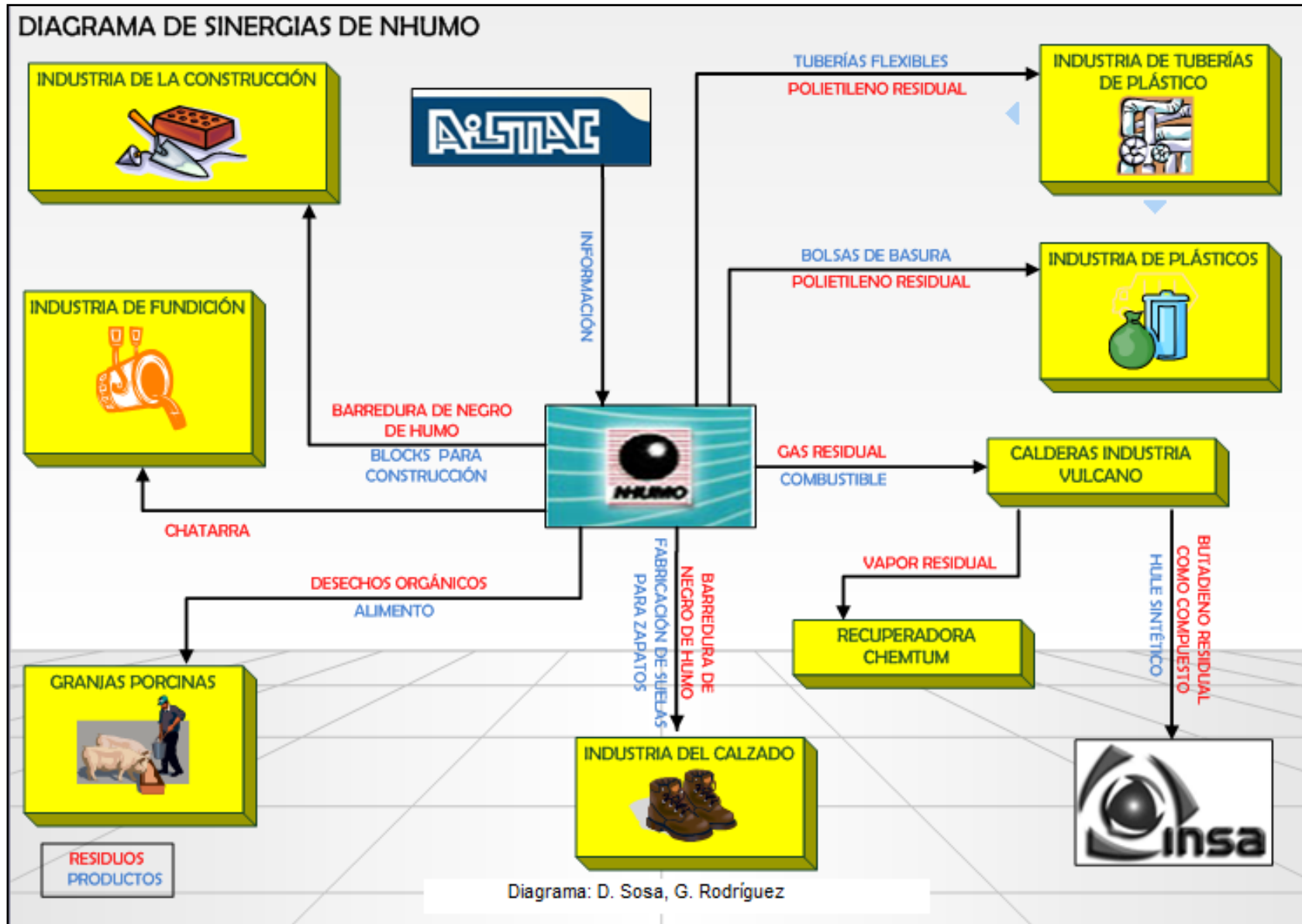


Figura 8. Sinergias involucradas con NHUMO

7.2 Segunda parte. Aplicación de la estrategia de implementación de Ecología Industrial adaptada

En esta sección se detallan los resultados obtenidos al desarrollar cada punto de la estrategia adaptada.

7.2.1 Selección del caso de estudio: Sociedad de Producción Rural Xochimancas

En la Zona ecológica de San Nicolás Totolapan, se encuentra ubicada la Sociedad de Producción Rural Xochimancas. Concebida como estrategia para impulsar entre los núcleos rurales la agricultura orgánica en el Distrito Federal, que implica la eliminación definitiva de químicos en toda la cadena productiva (González, 2007).

La Sociedad de Producción Rural Xochimancas representa un sistema de producción cuyos procesos buscan cerrar el ciclo de materia a través del intercambio y aprovechamiento de residuos generados en distintos procesos como materias primas de otros dentro del mismo sistema.

La existencia de esta red de intercambio de residuos entre distintos procesos, brinda la oportunidad de estudiar al sistema desde el enfoque de la Ecología Industrial, con el propósito de adaptar metodologías de implementación de la EI que permitan concebir al sistema como un modelo a escala de un parque Ecoindustrial donde cada área de producción representa a una industria. De esta forma los resultados que se alcancen tras la adaptación de la metodología podrían hacer de este caso de estudio un ejemplo para su aplicación en otros sistemas similares dentro del país.

7.2.2 Obtención de información cuantitativa y cualitativa

Como producto de las visitas realizadas al sistema, se obtuvo la Tabla 3, que de acuerdo a la configuración descrita en el punto número 2 de la estrategia adaptada, condensa todos los datos cualitativos y cuantitativos proporcionados por los propietarios del sistema y colectados a lo largo del estudio.

Las entidades detectadas fueron:

- Encierro de caballos
- Tanque para el almacenamiento de agua
- Invernadero 1
- Invernadero 2
- Encierro de vacas
- Producción de composta tipo bocashi
- Área de cultivo
- Producción de vermicomposta
- Unidades de digestión anaerobia
- Área de precomposteo
- Temascal
- Casa

Tabla 3. Identificación del flujo de materia y residuos en el Sistema de Producción Rural Xochimancas

Entidad	Materia				Producto							
	Nombre	Origen	Destino	Cantidad	Nombre	Origen	Destino	Cantidad	Nombre	Origen	Destino	Cantidad
Caballos (2)	Forraje, Grano y Cebada	Compra	Encierro de Caballos	1 ½ ton/año	Estiércol	Caballos	Bocashi Precomposta	130 kg. / 15 días	Estiércol	Caballos	Bocashi Precomposteo	130 kg / 15 días
Tanque de Almacenamiento de Agua	Agua	Ojo de Agua	Tanque de Almacenamiento	89.8496 m³					Agua de Riego	Tanque de Recuperación	VC, A.C., Invern.	4000 l/día
Invernadero 1	Planta Madre	Compra	Invernadero 1	Actualmente 6 mil Plantas	Fresa Residual y Raíces	Invernadero 1	Precomposta	1 ton/año	Fresa	Invernadero 1	Venta	100 kg/sem
	Agua de riego	Tanque de Almacenamiento	Invernadero 1	1000 l/día					Fresa	Invernadero 1	Casa	10 kg/sem
Invernadero 2	Semilla de Jitomate	Compra	Invernadero 2	5 mil Semillas	Jitomate Res. Y Raíces	Invernadero 2	Precomposta	1 ton/año	Jitomate	Invernadero 2	Venta	16 ton/ciclo (jun-dic)
	Agua de riego	Tanque de Almacenamiento	Invernadero 2	1000 l/día					Jitomate	Invernadero 2	Casa	1.6 ton/ciclo
Vacas (4 a 5)	Agua fría	Agua potable	Ordeña y limpieza de equipo	32 l / día	Estiércol	Vacas	Bocashi Precomposta	265 kg. / 15 días	Leche	Vacas	Venta	27 l / día
	Alimento	Compra	Vacas	12 ton/año	Calostro	Vacas	Reactores	160l/6 meses				
	Rastrojo	A. Cultivo	Vacas	1 ton/año								
Bocashi	Estiércol de animales	Encierro de caballos y vacas	Bocashi	4.8 ton/año					Fertilizante	Bocashi	Área Cultivo Invernadero 1 Invernadero 2	4.8 ton / año
	Harina de hueso	Carnicería	Bocashi	100 kg/año					Fertilizante	Bocashi	Área Cultivo Invernadero 1 Invernadero 2	100 kg/año
Área Cultivo	Semillas	Compra	Área de Cultivo	5 mil semillas	Rastrojo	A Cultivo	Vacas	1 ton/año	Hortalizas	Área de Cultivo	Venta	150 kg/año
	Agua de riego	Tanque de Almacenamiento	Área de Cultivo	1000 l/día								
Vermicomposta (5 años)	Lombriz	Compra con agricultor	Vermicomposta	2 colonias					Fertilizante Lombriz	Vermicomposta	Invernaderos	19 ton/año
	Material de Precomposta	Precomposteo	Vermicomposta	29 ton/año								
	Agua de riego	Tanque de Almacenamiento	Vermicomposta	1000 l/día								
Dimensiones	L= 70.m	A= 134.cm.	H= 91.5 cm.						Fertilizante Lombriz	Vermicomposta	Agricultores	10 ton/año
Unidades de Digestión Anaerobia (2)	Calostro	Vacas	Reactores DA	160 l/6 meses					Fertilizante	Reactores DA	Invernaderos	120 l/6 meses
	Roca Pulverizada	Temascal	Reactores DA	40 kg/6 meses					Fertilizante	Reactores DA	Venta	40 l/6 meses
Área de PreComposteo	J. Fresa residual y raíces	Invernaderos 1 y 2	Precomposteo	2 ton/año					Material de Precomposta	Precomposta	Vermicomposta	29 ton/año
	Estiércol	Encierros de animales	Precomposteo	27 ton/año								
Temascal	Roca Volcánica	Zonas limítrofes	Temascal	40 kg/6 meses					Roca Pulverizada	Temascal	Reactores DA	40 kg/6 meses
	Poda urbana	C. U.	Temascal	400 kg/año					Carbón	Temascal	Bocashi	400 kg/año
Casa	Cosecha	Invernaderos	Casa	10 % del total	Residuos de Cocina	Casa	Vermicomposta Precomposta	200 kg / 10 días	Conservas	Casa	Casa	10 % del total

7.2.3 Construcción de los diagramas de flujo y descripción general del sistema

7.2.3.1 Descripción del diagrama de flujo cuantitativo del sistema

Una vez que se ha elaborado la Tabla 3, se diseñó el diagrama mostrado en la Figura 9, que representa la visualización gráfica del sistema, concebido como un complejo Ecoindustrial dentro del cual, cada una de las entidades que conforman el sistema representa una industria que intercambia y aprovecha: materia, residuos, agua y productos.

Dicho diagrama, permitió realizar la descripción del sistema que ayudó a tener una percepción más amplia acerca de las características globales del caso de estudio seleccionado. Los resultados se muestran a continuación.

Las primeras entidades a describir son el encierro de vacas y caballos (parte superior del diagrama), que reciben 13.5 ton/año de alimento comercial y además de agua potable para la alimentación de dichos animales y sólo en el caso de las vacas, la entrada de agua potable también es utilizada para el proceso de ordeña en el que se ocupan 32 litros por día para la limpieza de las ubres y el equipo de extracción de leche. Una vez que los animales han sido alimentados, los 198 kg estiércol generado cada 15 días por las vacas y caballos son aprovechados en las entidades de precomposteo y elaboración de bocashi, obteniendo de esta forma el primer intercambio y aprovechamiento de residuos detectado.

En el caso del encierro de las vacas, durante el periodo de lactancia de las crías, se obtienen 160 litros de calostro residual que es utilizado como materia prima del proceso de elaboración de fertilizantes por digestión anaerobia, en el cual, el calostro es utilizado como biomasa para dicho proceso. A las unidades de digestión también se incorporan 40 kg de rocas volcánicas pulverizadas, residuo proveniente del temascal que brinda sus servicios a los habitantes de la región, las cuales son obtenidas de las zonas aledañas a la granja.

El producto resultante de las unidades es un fertilizante destinado e incorporado a los invernaderos en los que se cultiva, principalmente fresa y jitomate que tienen el origen de su materia prima en la compra de 5 mil semillas para el caso del jitomate, y para la fresa, una planta madre. Asimismo, esta entidad recibe 1000 litros al día de agua para riego como entrada. El jitomate y fresa residual además de sus respectivas raíces, son

utilizados para dar origen al siguiente aprovechamiento incorporándose 2 toneladas al proceso de precomposteo. Este proceso recibe residuos procedentes de la casa habitación ubicada dentro del sistema que acumula un total de 200 kg cada 10 días, esta materia orgánica residual que se genera en la cocina, es almacenada en un bidón con capacidad de 200 litros y posteriormente incorporada a este proceso en el que se mezclan todos los residuos aprovechados hasta lograr una composición uniforme.

Del proceso de precomposteo, se obtiene como producto un total de 29 toneladas al año que sirve como sustrato al proceso de vermicomposteo, dando origen así, a otro aprovechamiento. Del proceso de vermicomposteo se genera como producto 19 toneladas al año de humus que es utilizado como fertilizante para mejorar las condiciones del suelo de los invernaderos, además de destinar 10 toneladas al año para su comercialización.

En el área de cultivo, independiente de los invernaderos, la tonelada al año de rastrojo obtenido, es utilizado como complemento alimenticio para las vacas.

Por último, el tanque de almacenamiento de agua tiene la función de contener el líquido proveniente de un ojo de agua que es utilizado para el riego.

Durante la obtención de los datos cuantitativos de Xochimancas, se notó que este es un sistema sumamente dinámico debido a que pocos flujos en él son periódicos y exactos, pues estos responden a las necesidades del sistema conforme estas van surgiendo. Por ejemplo, en el caso del calostro residual producido por las vacas, este solo es generado durante las primeras semanas de vida de la cría.

7.2.3.2 Descripción del diagrama de flujo de información del sistema

Una de las razones que hacen del Sistema de Producción Rural Xochimancas un excelente modelo de estudio bajo el enfoque de la EI, es el intercambio de información que este sostiene a través de actividades en las que se ven involucrados diversos sectores de la sociedad, mostrado en la Figura 10. Estas actividades permiten difundir el conocimiento de los propietarios de la granja a la vez que dan a conocer los conceptos del aprovechamiento e intercambio de residuos como alternativa de solución para mitigar el daño ambiental al que hoy nos enfrentamos. A continuación se describe el diagrama correspondiente al flujo de información:

El sistema de Producción Rural ha realizado actividades de divulgación para dar a conocer la filosofía bajo la cuál operan además de intercambiar experiencias sobre las mejores medidas para el cuidado del ambiente. Muestra de esto, es el curso que los propietarios del sistema impartieron para un grupo de educadores ambientales del Distrito Federal y en una ocasión posterior para el grupo de Ecoguardas, en el cuál se intercambiaron experiencias sobre el cuidado del ambiente.

Dos veces por año un grupo de visitantes provenientes de la Casa del Lago, realizan una visita al sistema con el objeto de conocer la filosofía de la producción orgánica, esto les permite conocer también cual es el criterio del aprovechamiento e intercambio de residuos difundiendo así los conceptos del intercambio de residuos. Xochimancas también ha mantenido una relación con dos productoras orgánicas: Campo Vivo y The Green Corner, intercambiando información sobre métodos de producción orgánica y cuidado al medio ambiente a través de sus procesos.

Como parte de la interacción entre Xochimancas y su entorno, los propietarios brindan asesoría a sistemas agrícolas aledaños para mejorar sus métodos de producción a través de la venta de fertilizantes libres de químicos que representan un beneficio para la tierra de cultivo. Dentro de este esquema de interacción entre Xochimancas y su entorno, la comunidad aledaña también es beneficiada por medio de la compra de sus productos orgánicos y del servicio de temascal que se ofrece como terapia de relajación dentro del sistema.

Aunado a esto, el Sistema de Producción Rural Xochimancas, sostiene un estrecho vínculo con el sector académico, al establecer un intercambio de información con estudiantes e investigadores de diversas áreas. A través de tal intercambio, Xochimancas recibe análisis y propuestas para implementar nuevas tecnologías y metodologías que faciliten las actividades desarrolladas dentro del sistema, mientras que el sector académico encuentra en este sistema un objeto de estudio con información veraz y disponible, que posibilita el desarrollo de proyectos como el presente. De esta forma, se establece una relación simbiótica donde ambos participantes resultan beneficiados.

De esta manera Xochimancas lleva a cabo acciones que pretenden difundir una nueva ideología acerca del cuidado del ambiente, a través del aprovechamiento e intercambio de residuos que logre crear conciencia en la sociedad sobre las alternativas para el cuidado de su entorno.

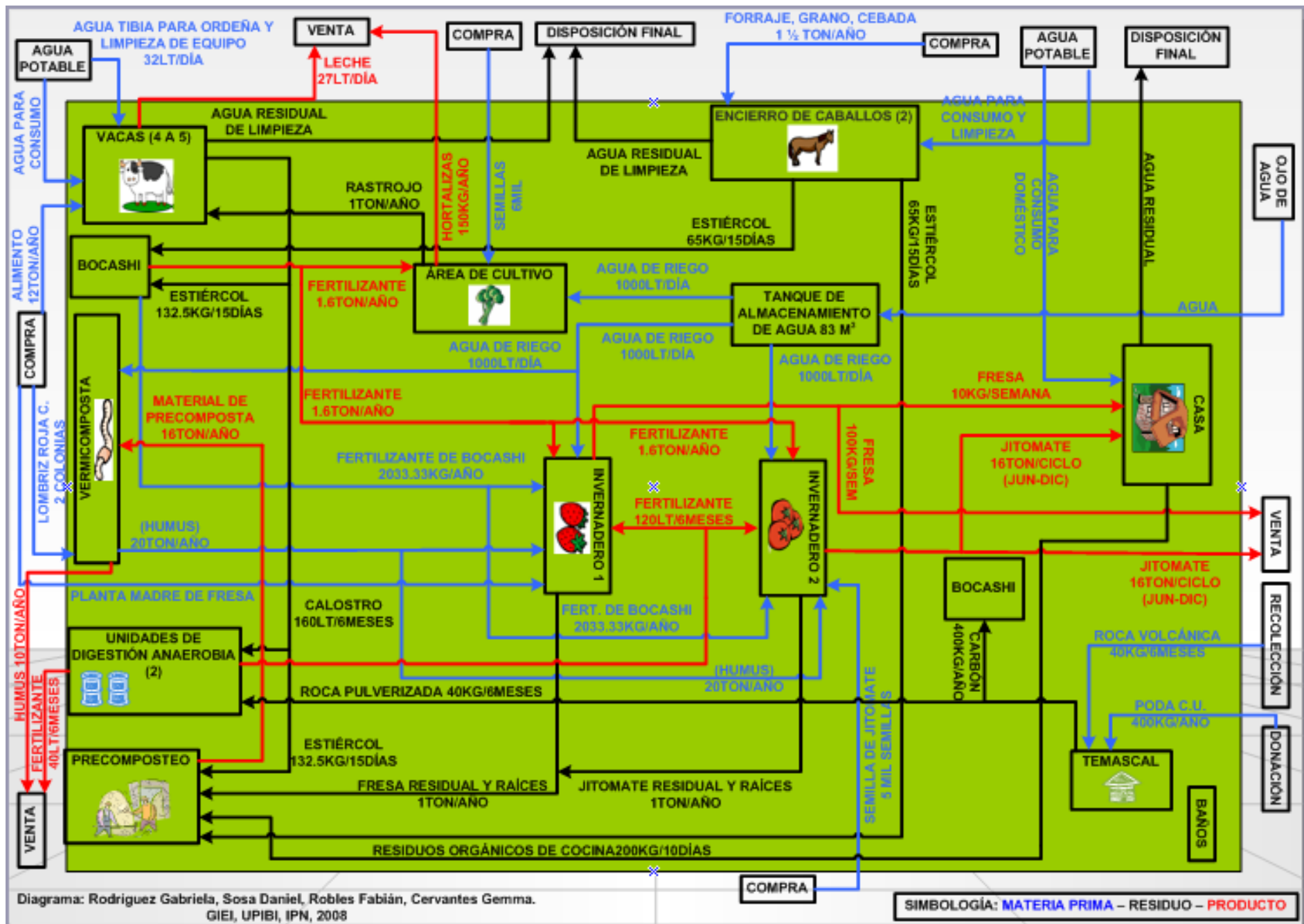


Figura 9. Diagrama de flujo cuantitativo del Sistema de Producción Xochimancas

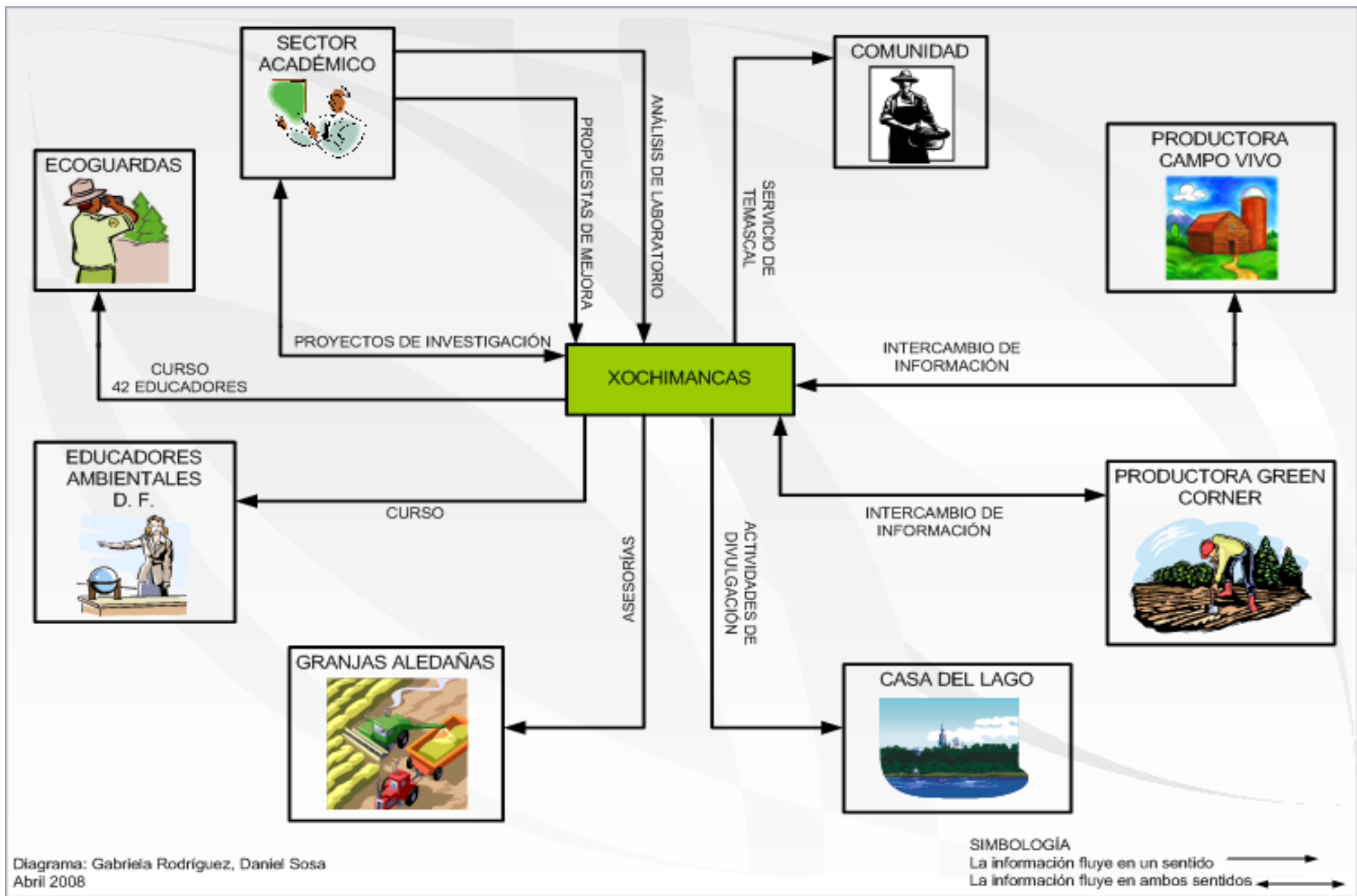


Figura 10. Diagrama de flujo de información del Sistema de Producción Xochimancas

7.2.4 Pruebas en campo, laboratorio y análisis de resultados

7.2.4.1 Selección de los procesos a analizar

Una vez diseñados los diagramas y descrito el sistema, se eligieron las entidades cuyos procesos son susceptibles de mejora de acuerdo a las observaciones realizadas durante las visitas al sistema buscando además cubrir las necesidades expresadas por los propietarios de la granja para mejorar la operación del sistema de producción.

Las entidades elegidas para realizar pruebas de campo y laboratorio fueron:

- I. Producción de vermicomposta. Esta entidad se eligió debido al importante número de entradas de materia que recibe y al aporte económico que este proceso representa para el sistema derivado de la venta del producto obtenido.

- II. Producción de fertilizante por digestión anaerobia. Este proceso fue elegido debido a la posibilidad detectada de obtener un subproducto que permita a los propietarios del sistema, la utilización de una fuente adicional de energía sin dejar de producir el fertilizante que actualmente representa un beneficio económico.

Además promoviendo la utilización de energías renovables que ecoeficienten al sistema, que corresponde a uno de los criterios más importantes de la EI, se propuso el siguiente aprovechamiento de energía renovable, que además se ajusta a las necesidades del sistema:

- Utilización de energía solar. Esta propuesta es resultado del enfoque bajo el cual se estudio el sistema, ya que la EI no sólo se encarga de establecer sinergias entre procesos, también busca mejorarlos a través del aprovechamiento de energías renovables que les permitan ser menos dependientes de las energías actualmente utilizadas.

7.2.4.2 Resultados y análisis de las pruebas de campo y laboratorio

Para el proceso de vermicomposteo se eligieron las pruebas listadas en el apartado 6.2.1. Tales análisis fueron elegidos debido a que de acuerdo a la bibliografía son los parámetros comúnmente considerados para evaluar la calidad de este tipo de producto. Los resultados de estos análisis se observan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de las pruebas de laboratorio para el humus de vermicomposta

Prueba	Unidad de medida	Valor registrado en xochimancas	Valor reportado por Vermiorgánicos S. C. de R. L.	Valor reportado en el proyecto de norma	Metodología
pH		7.5	8.234	SD	NMX-AA-025-1984
Cenizas	%	55	SD	< 2	NMX-AA-018-1984
Materia orgánica	%	19	36.86	SD	NMX-AA-021-1985
Nitrógeno	%	1.87	1.38	1.95 – 2.2	Modificación al Método NMX-AA-024-1984
Humedad	%	74.06	SD	SD	NMX-AA-016-1984
Fósforo	%	8.26	5.50	0.23 – 1.8	NMX-AA-094-1985

SD= Sin Datos

A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos para las pruebas de laboratorio indicadas en la Tabla 4.

Contenido de Fósforo

Como primera observación, podemos notar el incremento en los valores de Fósforo de la muestra, podemos apreciar que el valor obtenido excede el valor reportado en la bibliografía.

Esto se debe a que en un inicio se tiene solamente fósforo orgánico proveniente del estiércol que es utilizado como alimento para las lombrices y que a diferencia de otros procesos, el estiércol ofrece un alto contenido de materia orgánica disponible para su degradación, por esta razón el porcentaje de fósforo mineral reportado es alto. De esta manera, conforme el estiércol va siendo consumido por las lombrices, se va transformando en fósforo mineral, lo que explica el incremento en el resultado reportado haciendo evidente la disminución del estiércol utilizado como alimento para dar paso a la generación de humus rico en nutrientes que puede ser fácilmente

asimilado por las plantas, a través de la incorporación de este a la tierra en la que se sembrará.

Contenido de Humedad

El parámetro de la humedad es un factor de suma importancia para el proceso de vermicomposteo, ya que la lombriz, al no poseer dientes para alimentarse, succiona la materia orgánica presente para llevarla a su tracto digestivo y comenzar el proceso de degradación del estiércol suministrado como fuente primaria de alimento.

Por esta razón, es importante mantener un buen porcentaje de humedad en las pilas de vermicomposteo, de esta forma, estaremos facilitando el proceso metabólico de las lombrices y a su vez, estaremos asegurando una buena conversión del sustrato, de su forma orgánica a su forma mineral, conteniendo una gran variedad de microorganismos fijadores de nutrimentos para el suelo.

Las condiciones óptimas de humedad para la lombriz roja californiana, van del 75% al 85% (CECyTECH, 2006). Como se observa en la Tabla 4, los porcentajes de humedad obtenidos tras el procedimiento llevado a cabo bajo la norma correspondiente, son apropiados y se encuentran dentro del rango sugerido por la bibliografía consultada, permitiendo además una buena aireación que favorece, el proceso de degradación de las lombrices.

Materia orgánica

Como se observa en la Tabla 4, el porcentaje de materia orgánica del humus producido por Xochimancas es bajo comparado con los reportados en la bibliografía, esto es muestra del eficiente proceso metabólico de las lombrices que responde al único sustrato disponible que es estiércol y residuos vegetales en menor proporción, debido a que las lombrices tienen la capacidad de transformar y elevar a proporciones mayores la disponibilidad de nutrimentos para las plantas, por lo cual el bajo porcentaje de materia orgánica presente en el humus de Xochimancas muestra la cantidad de material fácilmente asimilable que estará dispuesto para las plantas tras su incorporación.

pH

El valor de pH que se obtuvo tras las pruebas de laboratorio realizadas al humus de vermicomposta, se encuentran en el rango óptimo ya que de acuerdo a lo reportado por el CECyTECH (2006), el valor recomendado para un adecuado desempeño de la lombriz roja californiana se encuentra cercano a la neutralidad, sin embargo esta funciona también bajo niveles de pH de 5 y 8. Lo que muestra que las condiciones bajo las cuales opera el proceso de vermicomposteo ofrece a las lombrices las condiciones adecuadas para su proceso metabólico.

Nitrógeno

El porcentaje de nitrógeno contenido en el humus de vermicomposta, se encuentra en un nivel cercano a los reportados por la bibliografía, lo que se traduce en un adecuado proceso de transformación que las lombrices le dan al sustrato al convertir el material orgánico, en material disponible y fácilmente asimilable para las plantas, ya que esta tiene la capacidad de excretar 5 veces más nitrógeno que el contenido en el sustrato incorporado (CECyTECH 2006).

Al comparar los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros mostrados en la Tabla 4, con los reportados por la bibliografía, se presentan variaciones entre los valores reportados por bibliografía y los aportes que ofrece el humus producido en Xochimancas, sin embargo, esto puede deberse al tipo de sustrato utilizado por el sistema que es en su mayoría estiércol y que a comparación de otro tipo de sustrato, ofrece una importante cantidad de materia orgánica disponible para ser metabolizada por las lombrices que la transformarán en material disponible y fácilmente asimilable por las plantas y la tierra a la que el humus se incorpore.

Es importante mencionar que a pesar de registrar valores distintos a los reportados por las bibliografías consultadas, el humus que actualmente produce y comercializa Xochimancas, se ajusta a las necesidades del sistema cumpliendo perfectamente con la función a enriquecer el suelo en el que son cultivados sus productos.

Para el proceso de producción de fertilizante por digestión anaerobia, se realizó la prueba indicada en la Tabla 5, cuyos resultados se analizan a continuación.

Tabla 5. Niveles de pH en los Bidones de Digestión anaerobia

Bidón	pH	Temperatura ° C
1	4.55	19
2	3.63	19

El proceso de producción de fertilizante por vía anaerobia tiene una duración de 6 meses una vez que se han incorporado tanto las rocas volcánicas como el calostro residual de vaca y consta de varias etapas condicionadas por algunos parámetros como son el de pH y la presencia de oxígeno. En dicho proceso se detectó la posibilidad de obtención de biogás como producto adicional al fertilizante.

Para evaluar la posibilidad de llevar cabo el proceso de obtención de metano, se midió el pH de la materia en fermentación para confirmar que se tuviera un valor óptimo para el desarrollo de los microorganismos metanogénicos. Es importante mencionar que los bidones se habían puesto en marcha en diferentes tiempos. El bidón 1 tenía 4 meses en proceso y el bidón 2, 1 mes de haber iniciado.

Una vez realizadas las lecturas de los niveles de pH, es posible definir con base en los resultados de la Tabla 5, las posibilidades de obtener metano en los bidones de digestión anaerobia que operan en el Sistema de Producción Rural.

De seguir el proceso de los bidones bajo las mismas condiciones de operación, es nula la posibilidad de contemplar la obtención de metano con los niveles tan bajos de pH que poseen, debido a que el tiempo de proceso para cada bidón evidencia que si después de 4 meses no han surgido variaciones en estos valores, el proceso de metanización se encontrará estancado en la fase de acidogénesis.

Por último la Tabla 6 muestra los resultados de la cotización efectuada para comparar los diferentes costos de sistemas de calentamiento de agua por energía solar

Tabla 6. Cotizaciones realizadas para los equipos de aprovechamiento de energía solar

Nombre del producto	Capacidad del tanque (L)	Fabricante	Costo (\$)	Especificaciones	Referencia
AXOL 160	160	Energía Solar sin Límites	6000	Termo de acero inoxidable y colector con tubos de cobre	www.energiasolarsinlimites.com
TJ-470/47-1500-18	150	Energía-Solar	7000	Tanque de acero inoxidable con 55 mm de aislamiento de poliuretano	www.energia-solar.com.mx
Calentador solar de agua 56L	56	Energía-Solar	2852.17	Únicamente para tinaco	www.energia-solar.com.mx
Calentador solar de agua 110L	110	Energía-Solar	4782.61	Únicamente para tinaco	www.energia-solar.com.mx
Modelo básico 220	220	SAECSA Energía Solar	7950	Área requerida:1.5 m de ancho por 4 m de largo	www.saecsaenergiasolar.com

Del listado de cotizaciones presentado en dicha tabla, se evaluaron dos factores primordiales: capacidad y costo.

Debido a que la presente propuesta fue hecha para el proceso de ordeña, cuyos requerimientos son de 32L de agua caliente por día, el calentador que, de acuerdo a su capacidad, se ajusta a esta cifra es el número 3: calentador solar modelo Calentador Solar de Agua 56L.

El volumen que este calentador es capaz de calentar se adecua al volumen requerido para este proceso, ofreciendo un margen del 75% de agua caliente de reserva, misma que podría utilizarse en otro proceso del sistema.

Sin embargo, la implementación de un sistema de mayor capacidad, permitiría no solamente cubrir las necesidades del proceso de ordeña de vacas, sino también satisfacer los requerimientos de agua caliente de los habitantes en el sistema. Aunado a esto, un calentador solar de mayor capacidad resultaría auxiliar en el servicio de temascal ofrecido en la granja. Debido a esto, se sugiere la utilización del sistema número 2, modelo: TJ-470/47-1500-18, cuya capacidad es de 150L.

Es un hecho que el costo de los calentadores varía en función de su capacidad. Sin embargo, el tiempo de amortización de este sistema es de 2 años, mientras que su

tiempo de vida alcanza los 15 años, de acuerdo al fabricante. Esto representa un ahorro de más de \$50 000 pesos durante este periodo, si para calentar el mismo volumen de agua, se utilizaran tanques de gas LP.

7.2.5 Realización de propuestas de mejora

7.2.5.1 Propuesta de mejora para el proceso de vermicomposteo

Durante el proceso de Vermicomposteo, el producto obtenido es el humus de lombriz, mismo que se utiliza como fertilizante en la granja, además de comercializarse a otros agricultores. Sin embargo, en este mismo proceso, se generan otros subproductos, resultado del metabolismo de las lombrices durante la degradación de la materia orgánica. Entre estos subproductos encontramos a los ácidos húmicos y fúlvicos ricos en microorganismos benéficos para el suelo, cuyo valor como fertilizantes en el mercado sugiere a los dueños de Xochimancas, su recuperación y comercialización.

Este hecho implicaría beneficios económicos para los propietarios ya que actualmente el humus líquido se comercializa en aproximadamente 30 pesos por litro lo que significaría un incremento de 51 mil pesos en los ingresos percibidos por el sistema, además de contribuir a un aprovechamiento más eficiente de los residuos generados en Xochimancas. Para lograr la recuperación de los ácidos húmicos y fúlvicos que se pretenden comercializar, se propuso la implementación de un sistema de captación de ácidos húmicos y fúlvicos en el área donde se realiza la vermicomposta.

El sistema de captación propuesto, estaría conformado por una malla con un diámetro de 6 milímetros de abertura (Corlay, *et al*), encargada de retener el humus obtenido para sólo permitir el paso de los ácidos húmicos y fúlvicos que se depositarán en una charola metálica con grava cuyo objetivo es impedir el paso de las lombrices fuera del área en la que se encuentra el sustrato (estiércol). Posteriormente estos ácidos serán conducidos por una pendiente hacia un sistema de canaletas y ductos que finalmente, permitirán la captación de los lixiviados en el área señalada y de forma continua, sin necesidad de interrumpir el proceso de vermicomposteo para su recuperación. Es importante mencionar que tras una entrevista con los propietarios del Sistema Xochimancas para intercambiar impresiones sobre el diseño propuesto mostrado en la Figura 11, se llegó al acuerdo de dar inicio a la implementación de este sistema de captación con la particularidad de utilizar material reciclado para su construcción que actualmente se encuentra en la fase inicial de implementación.

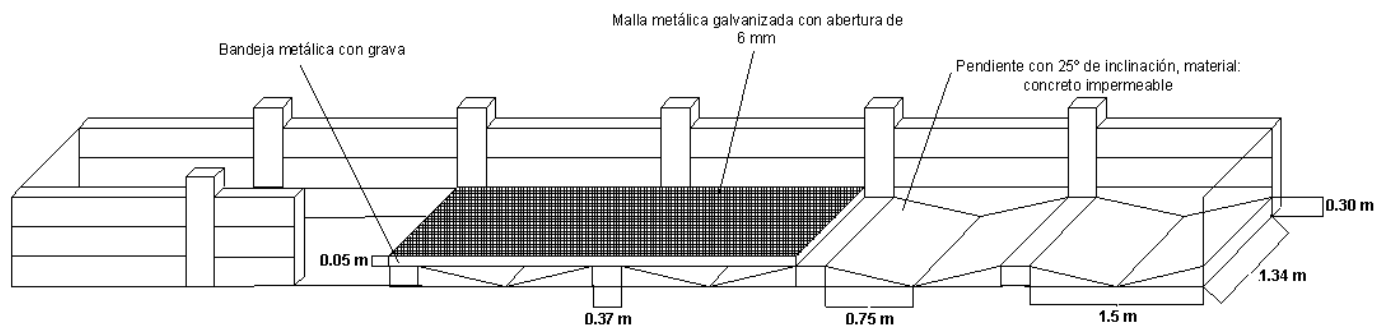


Figura 11. Sistema propuesto para la captación de ácidos húmicos y fúlvicos

7.2.5.2 Propuesta de mejora para el proceso de producción de fertilizante por digestión anaerobia

Para llevar a cabo la mejora en el proceso de digestión anaerobia, en el cuál, además de producir fertilizante como producto primario, se obtenga biogás como subproducto derivado del proceso de metanización, se han definido dos vías de mejora:

- La primera de ellas, consiste en elevar los valores de pH, a través de la adición de cal, o bien, de la adición de estiércol generado por los animales del Sistema de Producción Rural.

Este par de elementos (cal y estiércol), han sido contemplados debido a sus características de basicidad, sin embargo, dicha propuesta estaría sujeta a la evaluación de posibles alteraciones en las propiedades del producto primario que es el fertilizante obtenido. De lo contrario, esto no sería posible debido a que sólo se busca la generación de biogás como un producto secundario sin que esto altere las propiedades originales del fertilizante generado.

- La segunda vía de optimización propuesta, es la sustitución de los bidones que actualmente son ocupados como digestores anaerobios, por unidades que garanticen las condiciones adecuadas para la obtención de biogás donde además del calostro residual añadido, se incorpore estiércol solo o en una mezcla con residuos de cosecha que permitan dar marcha al proceso de obtención de biogás.

Estas unidades generarán como producto biogás que podrá ser utilizado como sustituto del gas comercial, además de permitir la obtención de fertilizante como subproducto derivado de los desechos que fueron ocupados para alimentar dichas unidades.

El diseño propuesto para la sustitución de los bidones utilizados actualmente, se muestra en la Figura 12.

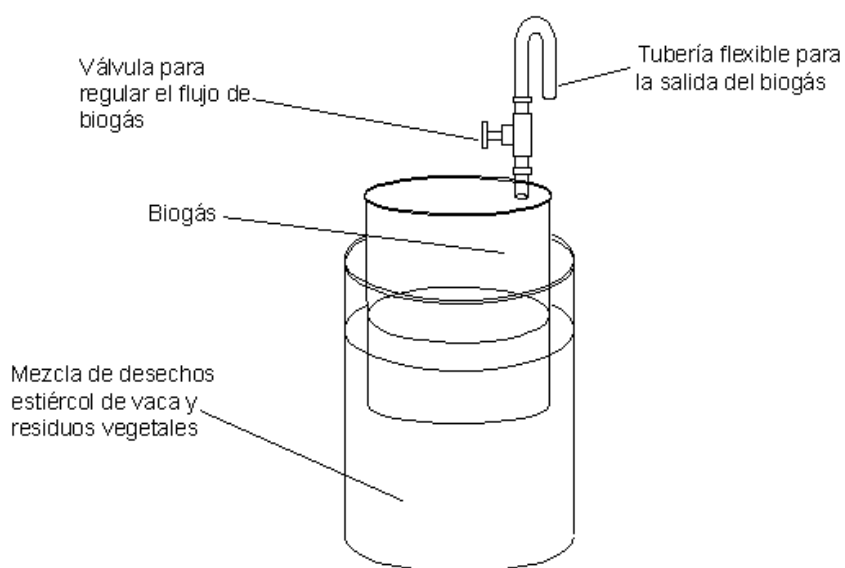


Figura 12. Unidades propuestas para la generación de biogás (ONU, 1983)

La unidad de biogás está conformada por los siguientes elementos:

- Un tambor de plástico con capacidad de 120 litros para contener el biogás generado
- Un tambor de plástico con capacidad de 200 litros para verter los desechos
- Una tubería de 10 centímetros. de largo por 2 centímetros. de diámetro para la salida del biogás
- Una válvula para regular la salida del biogás
- Tubería de plástico flexible de 10 metros aproximadamente por 2 centímetros. de diámetro para a conducción del biogás

Una vez que se han limpiado los tambos y se ha verificado que no existan fugas en ellos, se comienza con el proceso de generación de biogás que consistirá en verter dentro del barril de 200 litros una mezcla de estiércol con agua y 4 litros de inóculo, que es una mezcla preparada con dos meses de anticipación para acelerar la generación de biogás.

Esta será vertida en el tambor de 200 litros hasta alcanzar un nivel suficiente para dejar completamente cubierto el tambor de 120 litros que será colocado en posición invertida para ejercer presión sobre él hasta sumergirlo por completo en la mezcla de estiércol y

agua. Este tambor invertido funcionará como contenedor del biogás generado propiciando las condiciones anaerobias que necesita el proceso.

Para que las unidades funcionen correctamente, estas deberán colocarse en un sitio con una temperatura que este en un rango de 32 a 37 °C para que en un lapso aproximado de tres semanas, comience a elevarse el nivel del barril invertido como muestra de la producción de biogás que se lleva a cabo dentro de las unidades.

Este primer biogás generado, no deberá quemarse debido a que puede contener trazas de aire que propicien una explosión, por tal motivo, este volumen se dejará escapar abriendo la válvula para que al final, se sumerja el barril invertido y se dé comienzo nuevamente al proceso de generación de biogás que en esta ocasión podrá ser utilizado (ONU, 1983).

7.2.6 Indicadores de Sustentabilidad

Como se ha señalado en el punto 6 de la estrategia de implementación adaptada, se determinaron los objetivos de sustentabilidad, que para este sistema son:

- Para reducir los impactos ambientales:
 - Cierre de ciclos de materia.
 - Reducción en el uso de materiales naturales y no naturales.
 - Reducción en el uso de sustancias peligrosas.
 - Reducción de Residuos.
 - Reducción del uso de recursos no renovables.
 - **Aumento en la utilización de energías alternativas**
- Para obtener beneficios económicos.
 - Reducción de costos de materias primas
 - Obtención de ganancias debido al aprovechamiento de residuos
- Para desarrollar relaciones sociales entre el sistema y su entorno.
 - Interacción con la Educación
 - Difusión e Intercambio de Información
 - Fomento a la Investigación
 - **Generación de empleos**

Nota: Resaltados en negritas, se encuentran los aspectos relacionados con las propuestas de mejora, por lo que aún no se llevan a cabo. Sin embargo, partiendo de

su definición, un indicador de sustentabilidad puede identificarse y calcularse para prever las condiciones de un sistema a futuro.

7.2.6.1 Cálculo de los indicadores de sustentabilidad

Con base en los temas de sustentabilidad planteados, se identificaron los temas y posteriormente los indicadores de sustentabilidad mostrados en la Tabla 7, correspondientes a los tres ámbitos del desarrollo sustentable. Posteriormente, se asignó un valor para cada indicador, a través de cálculos especificados en la misma tabla. En algunos casos, los indicadores identificados no poseen valor alguno, debido a que no se cuenta con los datos necesarios para su cálculo.

Los valores asignados para cada indicador, son producto de las diversas visitas al sistema de producción y a las consultas realizadas con los propietarios del sistema, que permitieron obtener la mayor cantidad de información para el cálculo de los indicadores.

A partir de la consulta adicional de información, fue posible establecer relaciones (identificadas en la Tabla 7 con la abreviatura REL) entre dos indicadores diseñados. Estas relaciones aportan información más completa que la que aportaría un indicador por sí sólo, pues permiten visualizar los beneficios del modo de producción con el que opera el sistema.

Tabla 7. Indicadores de sustentabilidad para el Sistema de Producción Rural Xochimancas

Ámbito ambiental								
No.	Objetivo	Tema	Indicador	Unidades	Valor	Cálculo	Observaciones	
1	Cierre de ciclos de materia	Utilización de residuos como materia prima	Cantidad de estiércol utilizado al año como materia prima en Xochimancas	ton/año	31	Cantidad de estiércol generado por caballos más cantidad de estiércol generado por vacas al año		
					REL	Cantidad de estiércol como materia prima / Cantidad de estiércol como residuo x 100		100%
2				Cantidad de residuos de cosecha utilizados al año como materia prima en Xochimancas	ton/año	3	Cantidad de residuos de cosecha generados en los invernaderos más cantidad de residuos de cosecha generados en el área de cultivo al año	
3				Volumen de calostro utilizado al año como materia prima en Xochimancas	L/año	320	Valor directo	El cálculo de este indicador es función de la existencia de crías de ganado dentro del sistema
4				Cantidad de residuos de cocina utilizados como materia prima en Xochimancas	ton/año	7.2	Cantidad de residuos de cocina generados mensualmente multiplicada por 12 meses	
5				Cantidad de residuos de roca volcánica utilizados como materia prima en Xochimancas	kg/año	80	Cantidad de residuos de roca volcánica generados cada seis meses multiplicado por dos	
6	Reducción del uso de materiales naturales y no naturales	Uso de fertilizantes	Cantidad de fertilizante químico utilizado en Xochimancas por año	(kg/m²año)	0	Valor directo		
7				Cantidad de fertilizante químico utilizado por año en otras granjas (media)	(kg/m²año)			
8		Uso de sales incorporadas a fertilizantes	Cantidad de sales compradas por año en Xochimancas	kg/año	3.5	Valor directo		
9				Cantidad de sales compradas por año en otras granjas	kg/año			
10			Utilización de agua fresca utilizada para riego	Volumen de agua fresca utilizada por año para riego por goteo en	L/m² año	576	Valor directo	Se riega cada tercer día y la cantidad de agua disminuye durante el mes de mayo debido a la temporada de lluvias

			Xochimancas					
11			Volumen de agua fresca utilizada por año para riego por otro método de riego en otras granjas	L/m ² año				
12		Procedencia del alimento para ganado	Cantidad de alimento comprado para ganado vacuno en Xochimancas	ton/año	12	Valor directo		
13			Cantidad de alimento para ganado vacuno al año proveniente de residuos de la granja Xochimancas	ton/año	1	Valor directo		
REL			Kilogramos por año de alimento proveniente de residuos de la granja respecto al total de alimentos suministrados al ganado vacuno	%	8.3	Cantidad de alimento para ganado vacuno proveniente de residuos de la granja dividida entre la cantidad total de alimentos suministrada al ganado vacuno por cien		
14	Reducción del uso de sustancias peligrosas	Utilización de pesticidas en el cultivo	Cantidad de pesticidas utilizados por año en Xochimancas	L/ha	1	Valor directo	Este valor varía en función del tipo de plaga que se desea atacar. Por otro lado, su aplicación no se da de forma periódica, se lleva a cabo cuando se detecta la presencia de plagas	
15				Cantidad de pesticidas utilizados por año en otras granjas	L/ha	4	Valor directo	El valor corresponde a la aplicación de un pesticida con el nombre comercial de PROTEK
REL				Litros de pesticidas por hectárea utilizados para eliminar las plagas de un cultivo en granjas similares respecto a kilogramos por año de pesticidas utilizados en Xochimancas				
16	Aumento en el uso de energías alternativas	Obtención de energía procedente de	Cantidad de energía utilizada al año para calentar agua de	KWH/año				

		fuentes renovables	establo en Xochimancas				
17			Cantidad de energía obtenida al año por la utilización de paneles solares	KWH/año			
18		Obtención de energía a partir de residuos	Cantidad de energía que se puede producir a partir del biogás obtenido	Kwh/m3año	51840	Valor directo* www.cfe.gob.mx	Considerando que la proporción de metano contenida en mil litros de biogás, se encuentre en aproximadamente un 60% para producir 6 Kwh/m3 de biogás
Ambito económico							
19	Reducción del costo de materias primas	Reducción en el gasto de agua potable para riego	Costo del volumen de agua fresca utilizada por año para riego por goteo en Xochimancas	pesos/año	6934.14	Interpolación del volumen utilizados bimestralmente respecto a la tarifa señalada por la Comisión Nacional del Agua http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Distritofederal.pdf	
20			Costo del volumen de agua fresca utilizada por año para riego por otro método de riego en otras granjas	pesos/año		Cantidad de litros de agua utilizados para riego por otro método multiplicada por el costo de 1L de agua fresca	
21			Cantidad de dinero ahorrado debido a la implementación de riego por goteo	pesos/año		Costo del volumen de agua utilizada en otro método de riego menos el costo del volumen de agua utilizada en riego por goteo en Xochimancas	
22		Reducción en la compra de fertilizante externo	Cantidad de dinero ahorrado al año debido a la utilización de fertilizantes producidos en Xochimancas	pesos/año		Suma del costo de fertilizantes químicos que serian utilizados si no se produjeran fertilizantes en el sistema	
23		Reducción en la compra de sales para fertilizantes	Cantidad de dinero ahorrado al año debido a la utilización de roca pulverizada procedente del temascal	pesos/año	400	Costo de 80 kg de sales para su utilización es el temascal en caso de no contar con la roca pulverizada	
24		Reducción en la compra de alimento para ganado vacuno	Cantidad de dinero ahorrado al año debido a la utilización de residuos de cultivo como alimento para ganado vacuno en Xochimancas	pesos/año	1500	Precio de la tonelada de forraje que se debería comprar en sustitución a la tonelada de residuos que se suministra al ganado vacuno	
25		Reducción en el	Cantidad de dinero	pesos/año	50000	Costo por el consumo de energía por Kwh que se pagarían si su	

		gasto de energía	ahorrado al año debido a la utilización de paneles solares para calentar el agua de establo en Xochimancas			fuelle viniera del sistema eléctrico	
26			Cantidad de dinero ahorrado al año debido a la producción y utilización de biogás como combustible sustituto de gas comercial en Xochimancas	pesos/año	5120	Costo por el consumo de gas comercial por litro que se pagaría si la fuente viniera de los distribuidores comerciales de gas	
27			Cantidad de dinero ahorrado al año debido a la producción y utilización de biogás como sustituto de energía eléctrica en Xochimancas	pesos/año		Costo por el consumo de energía por Kwh que se pagarían si su fuente viniera del sistema eléctrico	
28	Obtención de ganancias debidas al aprovechamiento de residuos	Obtención de recursos por la venta de vermicomposta	Cantidad de dinero obtenido al año por la venta de vermicomposta en Xochimancas	pesos/año	30000	Precio de la tonelada de vermicomposta multiplicado por la cantidad de vermicomposta vendida al año	
29		Obtención de recursos por la venta de supermagro	Cantidad de dinero obtenido al año por la venta de supermagro en Xochimancas	pesos/año	1200	Precio del litro de supermagro vendido al año por su costo de venta	
30		Obtención de recursos por la venta de productos fertilizados con fertilizantes producidos con residuos	Cantidad de dinero obtenido al año por la venta de fertilizantes producidos con residuos en Xochimancas	pesos/año	31200	Cantidad de dinero obtenido por la venta de vermicomposta al año más cantidad de dinero obtenido por la venta de supermagro al año	
31		Obtención de recursos obtenidos por la	Cantidad de dinero que se obtendría al año por la venta de	pesos/año	51000	Precio del litro de humus líquido vendido al año por su costo de venta	

		venta de ácidos húmicos y fúlvicos	ácidos húmicos y fúlvicos en Xochimancas				
Ámbito social							
32	Interacción con la educación	Realización de visitas a Xochimancas	Número de visitas de realizadas al año al Sistema de Producción Rural Xochimancas	visitas/año	2	Valor directo	Las visitas son efectuadas dos veces por año a través de actividades organizadas por la casa del lago en convenio con el Sistema de Producción Rural Xochimancas
33			Número de asistentes a las visitas realizadas al Sistema de Producción Rural Xochimancas por año	asistentes/año	20	Valor directo	El número de asistentes por visita es de 10 personas por año
34		Desarrollo de trabajos académicos dentro de Xochimancas	Número de Trabajos Académicos surgidos al año del Estudio del Sistema de Producción Agrícola	trabajos académicos/año	3	Valor directo	El valor de este indicador no es periódico debido a que este depende del surgimiento de trabajos que se adapten al sistema
35	Difusión e intercambio de información	Divulgación de actividades realizadas por Xochimancas	Número de actividades de divulgación al año	actividades/año	5	Valor directo	El número de actividades de divulgación realizadas por los propietarios del sistema, no son periódicas
36			Número de Asistentes a las Actividades de Divulgación al año	asistentes/año	117	Valor directo	Las actividades incluyen, una ponencia en un congreso en Puerto Vallarta, un curso impartido a Ecoguardas y tres cursos impartidos a educadores ambientales del D.F. el año. Sin embargo, estas actividades no son periódicas
37	Fomento a la investigación	Desarrollo de Proyectos de investigación sobre Xochimancas	Número de Proyectos de Investigación al año Desarrollados dentro del Sistema de Producción Agrícola Xochimancas	Proyectos de investigación/año	1	Valor directo	El valor de este indicador no es periódico debido a que este depende del surgimiento de trabajos que se adapten al sistema
38		Interacción a través de asesorías externas solicitadas por los propietarios de Xochimancas	Número de asesores externos contratados al año por Xochimancas	Asesores/año	1	Valor directo	Este valor incluye los análisis de laboratorio solicitados por los propietarios para la evaluación de sus productos
39		Número actividades por año en las que los propietarios han	Actividades/año	1	Valor directo	La actividad a la que se asistió, fue a un congreso en Cuba	

			participado como asistentes				
40	Generación de empleos	Capacidad de crear nuevos puestos de trabajo	Número de trabajadores contratados por hora para la implementación de la propuesta de captación de ácidos húmicos y fúlvicos en Xochimancas	trabajadores/año		Valor directo	El valor de este indicador está sujeto a la decisión de los propietarios para implementar las propuestas realizadas
41			Número de trabajadores contratados por hora para la implementación de la propuesta de producción y captación de biogás	trabajadores/año		Valor directo	El valor de este indicador está sujeto a la decisión de los propietarios para implementar las propuestas realizadas
42			Número de trabajadores contratados por hora para la implementación de la propuesta de instalación de paneles solares	trabajadores/año		Valor directo	El valor de este indicador está sujeto a la decisión de los propietarios para implementar las propuestas realizadas

A través del diseño y cálculo de los indicadores en este proyecto, es posible establecer una referencia que muestre los beneficios obtenidos tras la aplicación de los criterios de la EI.

El planteamiento de esta referencia ofrece la posibilidad de retomar estos indicadores como base para el diseño de nuevos indicadores de sustentabilidad en casos de estudio similares, además de constituir un parámetro de comparación que contribuya a la determinación del grado de sustentabilidad del sistema.

7.3 Tercera parte. Propuesta de Continuidad

Como se ha indicado en el apartado 6.3 de la metodología y respondiendo al objetivo específico número 6, se estudió la posibilidad de reproducir la estrategia de implementación adaptada para Xochimancas en un nuevo caso.

El caso de continuidad identificado es la Productora y Comercializadora de Carne de Conejo, operada por su propietario, el Ing. Héctor Pérez Miguel que se encuentra ubicada en el Municipio de Hueypoxtla en el Estado de México.

Como se mencionó anteriormente, este sistema de producción se especializa en la cría de conejos para su comercialización. Dicho proceso, implica la generación de cantidades considerables de estiércol durante el desarrollo de los animales. Para evitar su disposición final, actualmente este estiércol es utilizado como sustrato para la producción de larvas de mosca. En este proceso, el estiércol de los conejos es depositado en pilas diseñadas para su exposición a las condiciones ambientales de la granja, facilitando así el acceso de las moscas a este residuo, quienes además de utilizar el estiércol como fuente de energía, depositan en él los huevecillos que han producido.

Tras un tiempo de incubación de aproximadamente 6 días, las larvas son separadas a través de un proceso de tamizado con el objeto utilizarlas como alimento complementario para las aves que también posee el sistema de producción mientras que el estiércol que sirvió como sustrato para la producción de larva, es aprovechado y utilizado como fertilizante.

El aprovechamiento de este residuo y su incorporación a un proceso diferente, ha significado para los propietarios un importante beneficio económico, al reducir los costos de inversión en el alimento para el ganado aviar.

En el sistema de producción no sólo se poseen gallinas y conejos, además se crían ovejas y se cuenta con dos áreas de cultivo, una dentro del sistema utilizada para la producción de acelga que se ocupa como alimento complementario para los conejos y que es regada con agua de reuso derivada de las actividades domésticas dentro del sistema. La segunda, ubicada fuera del sistema, en la cual se siembra maíz que posteriormente es deshidratado y picado para alimentar a las ovejas con las que cuenta el sistema. Esta segunda área de cultivo, es fertilizada con el estiércol gastado tras la producción de larva de mosca.

El modelo de producción bajo el cual opera la Productora y Comercializadora llevando a cabo el aprovechamiento de residuos, posee las características adecuadas para la nueva aplicación de los criterios de EI que permitan dar continuidad a la implementación de la EI en sistemas de producción agrícola, tomando como referencia el caso del Sistema de Producción Rural Xochimancas

7.3.1 Resultados y análisis de la propuesta de continuidad

La elaboración del diagrama de flujo cualitativo mostrado en la Figura 13 y la información proporcionada por el propietario del sistema, permitieron vislumbrar una serie de posibles mejoras y aprovechamientos que podrían implementarse en el sistema.

Los aprovechamientos y mejoras observados tras la visita fueron:

7.3.1.1 Generación de biogás a partir de estiércol de conejo y oveja

Actualmente el estiércol generado por los conejos dentro del sistema es utilizado para la producción de larva de mosca, sin embargo, una vez que el estiércol ha cumplido con su función como sustrato, es dispuesto junto con el estiércol producido por el ganado bovino, del total de este estiércol almacenado, sólo una porción es utilizada como fertilizante para el campo de cultivo, mientras la parte restante permanece sin ser aprovechada. Para ello, se ha propuesto la posibilidad de implementar unidades para la generación de biogás utilizando el estiércol que se almacena en el sistema.

El aprovechamiento del estiércol en la generación de biogás, traería un beneficio extra debido a que al final del proceso, el estiércol puede ser utilizado como material fertilizante en el terreno de cultivo de maíz, cerrando así el ciclo de materia.

7.3.1.2 Producción de fertilizante por el método de composteo

Debido a que el volumen de estiércol no utilizado es grande, se ha contemplado la implementación de un proceso de composteo para la producción de fertilizante que permita utilizar el estiércol que no sea conducido al proceso de generación de biogás.

Este fertilizante además de ser utilizado dentro del sistema, podría comercializarse con los productores agrícolas de las zonas aledañas.

7.3.1.3 Propuesta de mejora para la Productora y Comercializadora de Carne de Conejo

Como resultado del trabajo de identificación realizado en la Productora y Comercializadora de Carne de Conejo, se puede apreciar que este sistema es susceptible para la aplicación de la estrategia desarrollada para la implementación de la EI tal como se hizo con el Sistema de Producción Rural Xochimancas. Muestra de ello, es el diagrama cualitativo y las propuestas de mejora realizadas para este sistema, que son resultado de la aplicación de algunos de los puntos que forman parte de la estrategia desarrollada en el presente proyecto.

Por lo tanto, de darle continuidad y aplicar detalladamente la estrategia de implementación desarrollada, se lograría modelar a esta Productora como un segundo ejemplo de implementación de EI en México, además de permitir establecer al final del desarrollo de este nuevo caso de estudio, la comparación que determine la sustentabilidad de ambos sistemas a través de los indicadores calculados para cada uno de ellos.

De esta forma aplicando la misma estrategia de implementación a sistemas similares, se podrían crear redes de intercambio y aprovechamiento de residuos que permitieran el establecimiento de complejos similares a los Parques Ecoindustriales donde a través de la aplicación de la EI, se lograra un comportamiento similar al de los ecosistemas naturales donde el cierre de ciclos de materia y el aprovechamiento de residuos permitan procesos que tiendan a un desarrollo sustentable.

En la Figura 14 se muestran las posibles interacciones entre el Sistema de Producción Rural Xochimancas y la Productora y Comercializadora de Carne de Conejo, con el objetivo de ejemplificar como sería el flujo de materia, aprovechamiento e intercambio de residuos entre dos sistemas de producción similares, además de mostrar otras posibles interacciones entre la productora de conejos y otros entornos.

Es importante mencionar que el diagrama tiene como único objetivo mostrar que las interacciones entre sistemas similares es posible, y no pretende dar a entender que las sinergias entre ambos sistemas sean factibles ya que ambos se encuentran a una gran distancia uno con respecto al otro y este factor representa una de las barreras a las que se enfrenta la EI. Es por ello que el diagrama mostrado en la Figura 14 debe apreciarse solo como un ejemplo ilustrativo.

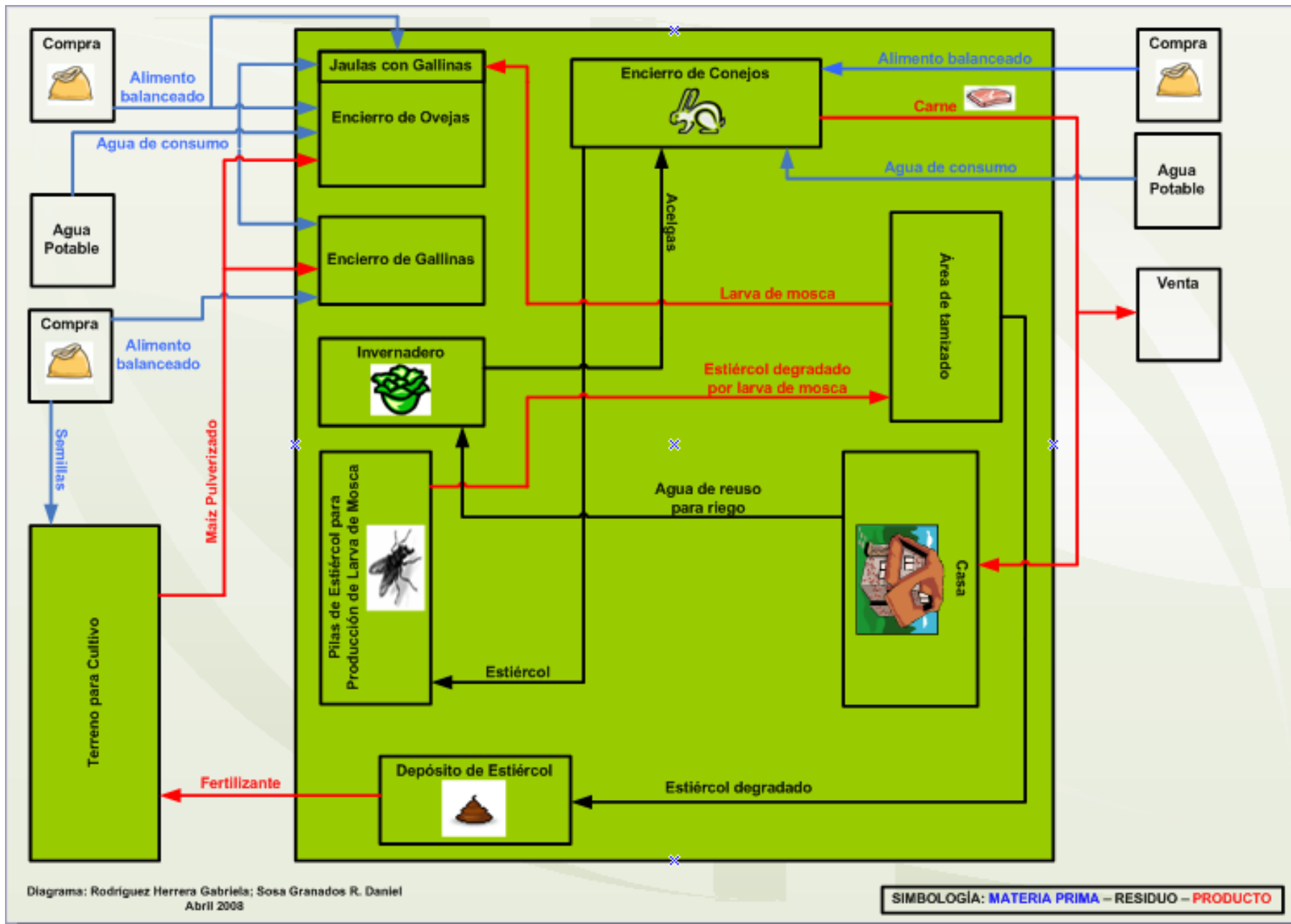


Figura 13. Diagrama cualitativo de la Productora y Comercializadora de Carne de Conejo

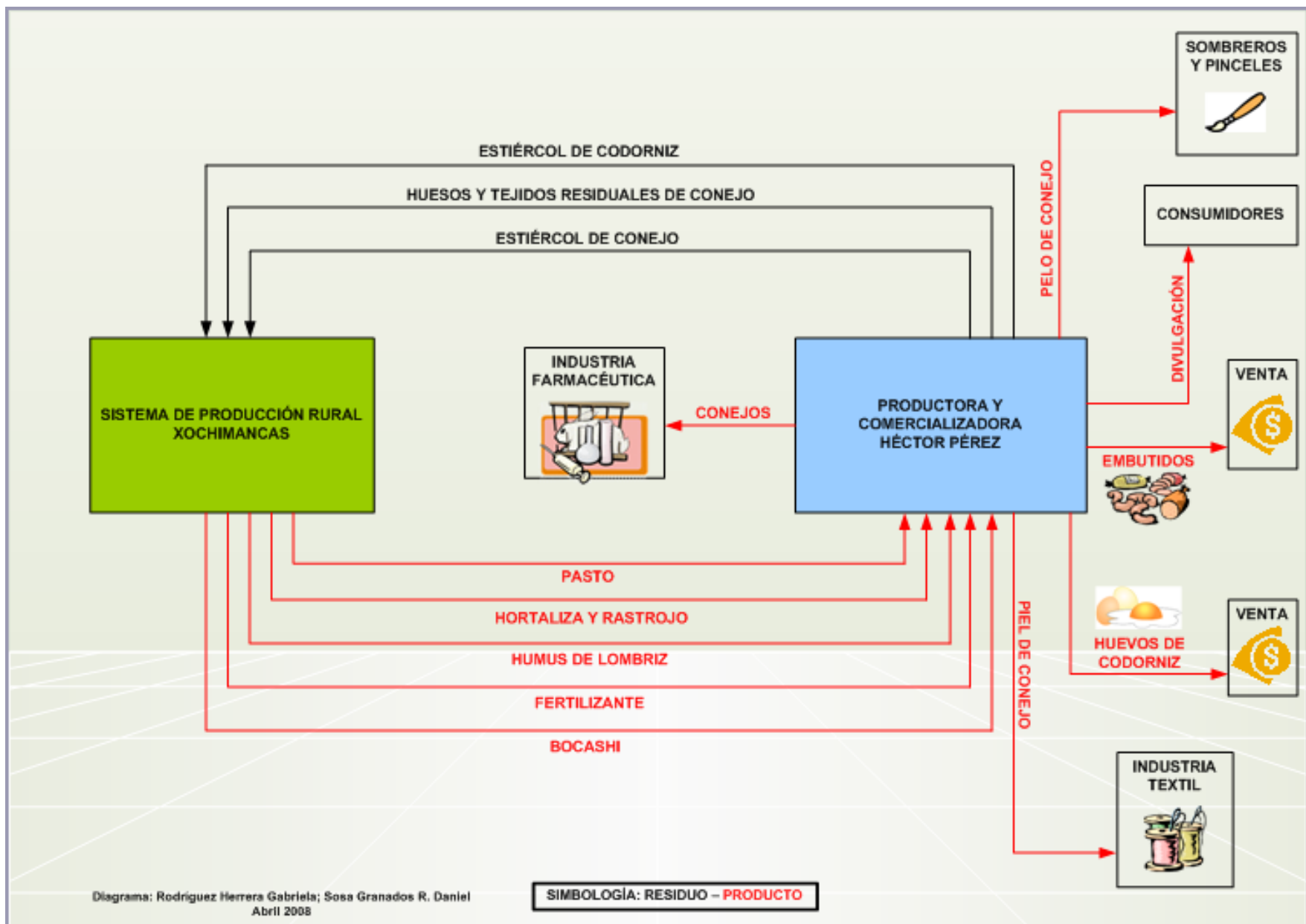


Figura 14. Diagrama demostrativo de interacciones entre dos sistemas similares: Xochimancas y la Productora de Conejo

Las interacciones que se muestran en la Figura 14, permiten apreciar que los ecosistemas industriales no sólo tienen la capacidad de establecer intercambios entre las entidades que los conforman además, ofrecen la posibilidad de incrementar las redes de aprovechamientos al interactuar con otros sistemas Ecoindustriales, dando origen al surgimiento de nuevos sistemas Ecoindustriales que en su interior albergan distintos complejos que están conformados por varias industrias que interactúan entre sí como se muestra en la Figura 15.

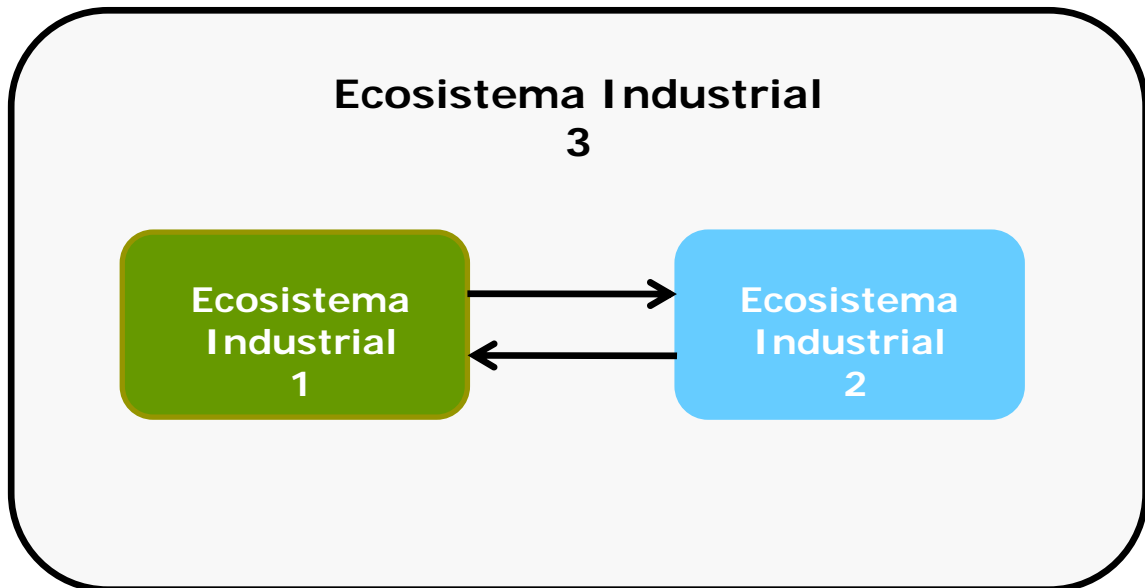


Figura 15. Creación de nuevos sistemas Ecoindustriales

8. Actividades Complementarias

Durante la realización de este proyecto, se desarrollaron diversas actividades que han contribuido a su enriquecimiento. Dichas actividades se detallan a continuación.

A pesar de que en la Zona Metropolitana del Valle de México, no exista un ejemplo claro de Ecología Industrial, el interés sobre este tema es latente. Debido a esto, del 26 al 30 de Junio de 2007, se llevó a cabo la segunda Jornada de Desarrollo Ecoindustrial. Mediante esta serie de talleres y conferencias presididas por el MSc Andreas Koenig, se contribuyó a promover el concepto de la Ecología Industrial dentro de las diversas organizaciones participantes. Derivado de esta jornada, se concretaron entrevistas con instituciones interesadas en el tema, con quienes se tuvo un intercambio de información sumamente útil. Dentro de estas entrevistas, destaca la sostenida con Alejandro Lorea, Director Ejecutivo de la Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES) y con autoridades del gobierno de Tlalnepantla. Tanto las reuniones efectuadas como la segunda Jornada de Desarrollo Ecoindustrial, demostraron el creciente interés de la población mexicana, en general, por los temas ambientales, pero específicamente por la Ecología Industrial. Esto conduce a la afirmación de que en México la disposición y motivación tanto de la población en general, como del sector industrial y gubernamental son factores a favor para la implementación y desarrollo de la Ecología Industrial tanto en el área metropolitana como en el resto del país.

Además, en el marco de esta jornada se consolidó la formación del Grupo de Investigación en Ecología Industrial de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (GIEI-UPIBI), con la finalidad de desarrollar y participar en proyectos relacionados con la Ecología Industrial en México.

Como resultado de esta jornada, los asistentes expresaron, entre otros, los siguientes puntos de reflexión (Cervantes, 2007):

- Iniciar cursos de capacitación en la industria para introducir el concepto “Desarrollo Ecoindustrial”
- Abrir una sección de información de Ecología Industrial en el sitio de internet de CESPEDES

- Crear una bolsa de intercambio de residuos cuya información esté disponible al público
- Identificar los parques industriales que sean candidatos para la aplicación del concepto de Ecología Industrial, así como promover nuevos parques ecoindustriales.
- Iniciar ejemplos en México de sinergia de subproductos.
- Involucrar al gobierno en los eventos de Ecología Industrial.
- Procurar que las pequeñas industrias cuenten con el apoyo de las grandes y también de la PROFEPA.
- Visitas del GIEI a la industria para el posible inicio de proyectos.
- Dar mayor difusión a las experiencias relacionadas con la Ecología Industrial que ya se están llevando a cabo en México.
- Buscar la comunicación y relación entre todos los asistentes a la jornada y quienes estén interesados en la Ecología Industrial.
- Hacer un consenso de lo que cada participante puede hacer y aportar.
- La Asociación de Industriales de Vallejo expresó su interés por este concepto.
- CONCAMIN y COPARMEX ofrecen sus instalaciones para posibles reuniones de Desarrollo Ecoindustrial.

Finalmente, en noviembre de 2007, el National Industrial Symbiosis Programme (NISP), realizó una visita a nuestro país en el marco de los Diálogos sobre Desarrollo Sustentable entre los ministerios interesados de la Gran Bretaña, Irlanda del Norte y la Secretaría de Relaciones Exteriores de los Estados Unidos Mexicanos. Este diálogo amplía la ya existente cooperación entre ambos países, proporcionando un marco coherente para llevar a cabo una colaboración innovadora (SRE, 2007).

Para ello, NISP realizó una serie de contactos con administraciones, asociaciones industriales y universidades para contemplar la posibilidad de emprender el programa de NISP en México. Las prioridades acordadas entre estos dos países, son:

- 1) La creación de una Autoridad Nacional para el Desarrollo Sustentable, cuyos objetivos se enfocan en el fortalecimiento de acuerdos institucionales y políticas para

el desarrollo sustentable, así como en la promoción de planes nacionales de educación en desarrollo sustentable a todos los niveles.

2) Cambio Climático y Energía. Se compartirán experiencias y se ofrecerá apoyo en las áreas de adaptación, economía del cambio climático, capacidad de modelación, mitigación y producción de energía renovable.

3) Turismo Sustentable. Se pretende contribuir a que las comunidades turísticas mexicanas obtengan beneficios económicos del turismo sustentable, al tiempo que reducen los impactos negativos al ambiente y a las comunidades indígenas.

4) Consumo y Producción Sustentable. Se compartirán prácticas de consumo y producción sustentable, especialmente en el sector químico y nanotecnología.

5) Desarrollo Urbano Sustentable y/o Ciudades Sustentables. El objetivo primordial será apoyar el desarrollo sustentable de las ciudades, especialmente en las áreas de transporte urbano y construcción sustentable.

6) Manejo de Recursos Naturales. Se pretende apoyar los esfuerzos realizados para la protección de recursos, especialmente en las áreas dedicadas a la conservación de la biodiversidad, así como la promoción del manejo de bosques sustentables.

En septiembre de 2007, el GIEI sostuvo una entrevista con Peter Laybourn y Rachel Lombardi, coordinadores del NISP, en las instalaciones de la UPIBI. Durante esta reunión, se intercambió información sobre los proyectos que ambas entidades llevan a cabo, así como los que pretenden implementarse. Además, se sentaron las bases para la posible colaboración del GIEI en los acuerdos establecidos entre el NISP y el gobierno mexicano.

Posteriormente, como resultado de los Diálogos para el Desarrollo Sustentable, en Marzo de 2008 se dio inicio al proceso de creación de NISP-México. En este programa participan CONCAMIN en asociación con CEVAT, CESPEDES, SEMARNAT, la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México y la colaboración del Grupo de Investigación en Ecología Industrial.

9. Conclusiones

1. Tras la profundización en el estudio de By-product Synergy se concluye que en México, las posibilidades de reproducir el éxito obtenido en Tampico tras la implementación de la EI son altas debido al interés y a la iniciativa mostrada en diversos sectores del país. Sin embargo, para lograrlo es necesario el apoyo de instancias gubernamentales que promuevan y estimulen programas de EI, así como de asociaciones y cámaras industriales que contribuyan a la vinculación y comunicación entre las empresas, y universidades que desarrollen investigaciones y nuevas tecnologías. Por otra parte, el sector industrial coopera facilitando la información necesaria sobre el flujo de sus recursos.
2. Basándose en el estudio de las características y estrategias correspondientes a los proyectos MESVAL y By-Product Synergy, se adaptó una estrategia de 5 etapas para aplicarla en un caso seleccionado.
3. Se seleccionó al Sistema de Producción Rural Xochimancas como caso de estudio para la aplicación de una estrategia de implementación de Ecología Industrial debido a que su modo de producción está basado en la filosofía del intercambio y aprovechamiento de residuos que tienen como objetivo, cerrar el ciclo de materia brindando la oportunidad de estudiar al sistema bajo el enfoque de la Ecología Industrial.
4. A través de la elaboración de una base de datos y los diagramas de flujo cuantitativos y cualitativos, se detectó que dentro del Sistema de Producción Rural Xochimancas existen 49 intercambios distintos, de los cuales 21 corresponden a flujos de materia prima, 14 al flujo de productos, 14 al flujo de residuos y 9 al flujo de información. Esta variedad en los intercambios detectados muestra que dentro de este sistema se ven beneficiados los 3 sectores del desarrollo sustentable.
5. Se seleccionaron los procesos de vermicomposteo y producción de fertilizantes por digestión anaerobia como puntos de mejora para el sistema en estudio. Para el caso del vermicomposteo, se efectuaron análisis químicos para la determinación de los parámetros de proceso: pH, cenizas, materia orgánica, humedad, nitrógeno y fósforo. Estos análisis, comparados con la bibliografía, arrojaron que la calidad de la

vermicomposta cumple con los requerimientos para su uso como fertilizante. Aunado a esto, se propuso un nuevo aprovechamiento de residuos para esta área: la captación de ácidos húmicos del proceso para su posterior uso y comercialización como fertilizante. El diseño para este nuevo aprovechamiento fue sugerido y entregado a los propietarios del sistema para su posible implementación.

6. De igual forma, en la etapa de producción de fertilizantes por digestión anaerobia, se propuso un nuevo aprovechamiento: la utilización de biogás como combustible sustituto de gas LP. Para tal efecto, se sugiere la mejora de los contenedores utilizados mediante el diseño de unidades de biogás propuesto.
7. Complementariamente, se sugirió la implementación de paneles solares para la utilización de esta energía alternativa dentro del sistema, con la finalidad de ahorrar costos y hacer de estos, procesos más sustentables.
8. Se identificaron, diseñaron y calcularon 42 indicadores de sustentabilidad para este sistema, de los cuales 21 son de índole ambiental, 11 de índole económico y los 10 restantes son de índole social. El diseño y cálculo de estos indicadores de sustentabilidad permite establecer una base de comparación para el cálculo de nuevos indicadores de sustentabilidad en futuros casos de estudio.
9. Las características del Sistema de Producción Rural Xochimancas y la estrategia de implementación de EI que se aplicó en este proyecto permiten presentar este sistema como un ejemplo que tiende a ser un ecosistema industrial y un modelo para sistemas de producción similares.
10. A través de la estrategia de implementación de EI aplicada al Sistema de Producción Rural Xochimancas se observó que la EI es un enfoque que abarca un universo de sectores, pudiéndose aplicar tanto en microempresas como en grandes complejos industriales como en el caso de By-product Synergy.

10. Bibliografía

1. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. www.epa.gov, fecha de consulta: 19-03-08, 8:45 a.m.
2. Antequera, J., Carrera, E., Portal Sostenibilidad. <http://www.portalsostenibilidad.upc.edu>, fecha de consulta: 7-04-07, 3:04 p.m.
3. Ayres, R., Ayres, I., "A Handbook for Industrial Ecology", Northampton: Edward Elgar, 2001.
4. Basu, A., van Zyl, D., "Industrial Ecology Framework for Achieving Cleaner Production in the Mining and Minerals Industry", Journal of Cleaner Production, vol 14. Elsevier, 2006.
5. Bussines Council for Sustainable Development Gulf of Mexico, "*By-product Synergy: A Demonstration Project Tampico Mexico*". 1997
6. Bussines Council for Sustainable Development, "*By-product Synergy: A Strategy for Sustainable Development*", 1997.
7. Cervantes, G. Ecología Industrial. Barcelona: Fundació Pi i Sunyer. 2007.
8. Cervantes, G., "*Ecología Industrial y Sinergia de Subproductos. Seminario Iniciativa GEMI*", GIEI-UPIBI IPN, UPC, 2007.
9. Cervantes, G., "*European Conference Industrial Ecology- MESVAL project*", CTM-UPC, 2006.
10. Cervantes, G., "*Sinergia de subproductos en Tampico*", Universitat Politècnica de Catalunya-CIEMAD-IPN, 2007.
11. Cervantes, G., Schneider, C., Manual de la asignatura: "*Introduction to Industrial Ecology. Part B: Industrial Ecology Concepts and Industrial Ecosystems (2 ECTS)*", MECOSIND, 2006.

12. CFE. www.cfe.gob.mx, fecha de consulta: 2-01-08, 5:32 p.m.
13. CNA. www.conagua.gob.mx, fecha de consulta: 2-01-08, 5:43 p.m.
14. Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Chiapas(CECyTECH), "Manual de Lombricultura", SEP, 2006
15. Consejo Coordinador Empresarial: Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable www.cce.org.mx/Cespedes/eficiencia.aspx, fecha de consulta: 11-02-08, 11:27 a.m.
16. Corlay, L., Ferrera-Cerrato, R., Etchevers J., Echeagaray A., Santizo J., A., "Microorganismos mineralizantes del nitrógeno en el proceso de producción de vermicomposta", Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
17. Ehrenfeld, J., "Industrial Ecology: A Framework for Product and Process Design", Journal of Cleaner Production, vol 5, Elsevier, 1997.
18. Fundación para la Innovación Tecnológica Agropecuaria. "La Agricultura Sostenible" <http://www.fiagro.org.sv/archivos/0/548.pdf>, fecha de consulta: 5-02-08, 9:56 a.m.
19. Garner, A., Keoleian, G., "Industrial Ecology an Introduction", University of Michigan. School of Natural Resources an Environment, 1995.
20. González, R., "Cultivos Orgánicos, la mejor apuesta de productores agrícolas en el D. F." La Jornada, Lunes 21 de Mayo 2007.
21. GTZ, "Proyectos de biomasa ", Gobierno de Chile, 2007.
22. Lowe, E. A., Warren, J., Moran, S., "Discovery Industrial Ecology: An Executive Briefing and Sourcebook", Batelle Press, 1997

23. MESVAL Project "Etablissement de bases scientifico-techniques et de stratégies pour la recherche de nouvelles voies de valorisation régionales de résidus industriels- Final Summary", 2006.
24. NMX-AA-016-1984, "Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Determinación de Humedad"
25. NMX-AA-018-1984, "Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Determinación de Cenizas"
26. NMX-AA-021-1985, "Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Determinación de Materia Orgánica"
27. NMX-AA-024-1984, "Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Determinación de Nitrógeno Total"
28. NMX-AA-025-1984, "Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Determinación del pH-Método Potenciométrico"
29. NMX-AA-094-1985, "Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Determinación de Fósforo Total"
30. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, "El biogás: Producción y utilización", Roma 1983.
31. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente www.unep.org, fecha de consulta: 11-03-08, 7:41 a.m.
32. Quiroga, "Indicadores de Sostenibilidad Ambiental y de Desarrollo Sostenible: Estado del Arte y Perspectivas", CEPAL, Santiago de Chile, 2001.
33. Rosemberg, A., "Ecología y Simbiosis Industrial", Centro Tecnológico para la Sustentabilidad, Estructplan. www.estructplan.com.org/articulos, fecha de consulta: 13-02-08, 8: 37 p.m.

34. Ruttan, V. "La transición hacia la sostenibilidad agrícola" Departamento de Economía Aplicada y Economía, Universidad de Minnesota, 1999.
35. SCFI, "PROY-NMX-Y-000-SCFI-2005 Humus de Lombriz (Lombricomposta)-Características, Clasificación, Especificaciones y Métodos de Prueba."
36. Secretaria de Relaciones Exteriores, Departamentos y Ministerios interesados de la Gran Bretaña e Irlanda del Norte, "Sustainable Development Dialogue", 2007.
37. Tibbs, Hardin, "Industrial Ecology: An Environmental Agenda for Industry", Arthur D. Little Inc., 1991.

11. Memoria fotográfica



Imagen 1. Salvador Salazar (Presidente de la AISTAC) y encargados de Seguridad, Higiene y Ecología INSA-NHUMO.



Imagen 2. Instalaciones de la Asociación de Industriales del Sur de Tamaulipas.



Imagen 3. Visita al complejo INSA-NHUMO.



Imagen 4. Tuberías para el transporte de vapor residual desde INSA-NHUMO hasta industria Mexichem.



Imagen 5. Instalaciones complejo industrial INSA-NHUMO.



Imagen 6. Entrevista con Eduardo Prieto y miembros de la AISTAC en las instalaciones de esta asociación.



Imagen 7. Invernadero 1 del Sistema de Producción Rural Xochimancas



Imagen 8. Tanque de almacenamiento de agua del Sistema de Producción Rural Xochimancas



Imagen 9. Proceso de vermicomposteo en el Sistema de Producción Rural Xochimancas



Imagen 10. Pila de vermicomposteo del Sistema de Producción Rural Xochimancas



Imagen 11. Área de cultivo del Sistema de Producción Rural Xochimancas



Imagen 12. Unidades de producción de fertilizante por digestión anaerobia en el Sistema de Producción Rural Xochimancas



Imagen 13. Pilas para inoculación de larvas de mosca en la Productora y Comercializadora de Carne de Conejo



Imagen 14. Obtención de larvas de mosca en la Productora y Comercializadora de Carne de Conejo



Imagen 15. Aves alimentadas con larvas de mosca en la Productora y Comercializadora de Carne de Conejo



Imagen 16. Encierros de conejos en la Productora y Comercializadora de Carne de Conejo



Imagen 17. Estiércol trasladado al sistema de tamizado para la obtención de larvas de mosca en la Productora y Comercializadora de Carne de Conejo



Imagen 18. Sistema de tamizado para la obtención de larvas de mosca en la Productora y Comercializadora de Carne de Conejo