

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Estudio de prefactibilidad para la instalación de un sistema de biodigestión diseñado para producir biogás y biofertilizante a partir de excretas, en explotaciones ganaderas de la Isla San Cristóbal de la provincia de Galápagos.

José Antonio Campaña González

Raúl de la Torre, PhD, Director de Tesis

Daniela Almeida Streitwieser, Dr.-Ing., Co-Directora de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Ingeniero en Agroempresas

Quito, mayo de 2013

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE APROBACION DE TESIS

**Estudio de prefactibilidad para la instalación de un sistema de biodigestión
diseñado para producir biogás y biofertilizante a partir de excretas, en
explotaciones ganaderas de la Isla San Cristóbal de la provincia de
Galápagos.**

José Antonio Campaña González

Raúl de la Torre, PhD

Director de Tesis

.....

Daniela Almeida Streitwieser, Dr.-Ing

Co-Directora de Tesis

.....

Antonio León, PhD

Miembro del Comité de Tesis

.....

Carlos Ruales, MSc

Miembro del Comité de Tesis

.....

Eduardo Uzcátegui, PhD

Director de Ing. en Agroempresas

.....

Ximena Córdova, PhD

Decana del Colegio de Ingenierías

.....

Quito, mayo de 2013

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art.144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Nombre: José Antonio Campaña González

C. I.: 1710684406

Fecha: Quito, mayo de 2013

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto se llevó a cabo gracias al incondicional apoyo del Galápagos Science Center y de su Co-Director Carlos Mena, a quienes debo la realización del estudio y expreso mi mayor sentimiento de gratitud.

A mis directores de tesis, Raúl de la Torre y Daniela Almeida, que a pesar de ser profesores de diferentes áreas, y manejar distintas metodologías y formatos, tuvieron la apertura y paciencia para guiarme en la realización de esta tesis, desde los estudios iniciales en las Islas Galápagos, hasta el proceso final.

De igual manera, debo gran parte de este proyecto a mis amigos Andrés Ortega y Barinia Cadena, con quienes fundamos el Fondo Tueri de Ayuda para la Fauna Silvestre, y fueron quienes me encaminaron en la filosofía de conservación de las especies endémicas del Ecuador, quizás la principal razón por la que puse todo mi esfuerzo en realizar este estudio en el archipiélago.

Al Pablito Rueda, que fue mi principal apoyo técnico en este proceso investigativo, además mi compañero de visitas a las haciendas y de laboratorio, durante nuestra estadía en el campus de GAIAS.

Como no agradecer a Alexis Hidrobo, Guísela Arcos, Silvia Echeverría y Lucy Calderón, que me presionaron diariamente para culminar el proceso de escritura de este documento.

Finalmente, a mi familia que tuvo que soportar los apuros antes del viaje, la ropa sucia con excretas animales, mis malgenios por las amanecidas escribiendo la tesis y el desorden tecnológico que se armaba en cada periodo de escritura.

RESUMEN

En la Isla San Cristóbal del Archipiélago de Galápagos, se realizó un estudio con el fin de determinar la factibilidad de la implementación de un sistema de biodigestión en el manejo de desechos ganaderos, que incluyó el análisis físico-químico de muestras de excretas animales, específicamente de fincas productoras de bovinos, con la previa determinación de condiciones favorables para su construcción y uso.

Para lograr este propósito se visitaron varias fincas en la zona alta de la isla, estableciéndose, entre estas, siete que mantienen su hato productivo. De este grupo, únicamente tres disponen de un número apropiado de animales y sobre todo, de métodos modernos de producción animal.

Los análisis de las muestras obtenidas en las tres fincas aptas para la posible implementación de sistemas de biodigestión fueron llevados a cabo en las instalaciones del Galápagos Science Center, e incluyeron el análisis de pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), nitrógeno total, sólidos totales, sólidos orgánicos totales, sólidos suspendidos totales, ácidos grasos volátiles y alcalinidad.

Finalmente, con los resultados de la cuantificación y los análisis de las muestras, se determinó que solamente una finca presentaba las condiciones adecuadas para la implantación de un sistema de biodigestión para el manejo de excretas animales, incluyendo instalaciones y sobre todo rangos adecuados en los datos de los análisis físico-químicos de las muestras.

ABSTRACT

This research was developed in San Cristobal Island and has the objective to determine the feasibility of the use of a biodigestion bovine manure management system and includes the physical and chemical analysis of manure samples and the determination of the adequate conditions for the construction and use of the system in bovine farms.

To get the samples, multiple farms located in the highlands of the island were visited; from this group only seven have an active herd. Just three farms showed appropriate conditions such as technology implementation and future growing planning.

The three farms samples analysis took place in the Galapagos Science Center facilities and included pH, BOD, total nitrogen, total solids, total organic solids, total suspended solids, volatile fatty acids and alkalinity.

Finally, with the analysis and quantification results, it was determined that only one of the three farms has the adequate conditions as facilities and proper physicochemical results, for the implementation of an animal manure biodigestion system.

INDICE

RESUMEN.....	6
ABSTRACT	7
OBJETIVOS	10
General	10
Específicos.....	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. ANTECEDENTES	11
1.2. JUSTIFICACIÓN	12
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
2.1 Ecosistemas en Galápagos	13
2.2 Economía y Agricultura en el Archipiélago	15
2.3 Efectos del mal manejo de desechos	18
2.4 Situación actual en las explotaciones ganaderas en las islas	23
2.5 Beneficios obtenidos por el buen manejo de desechos	27
2.6 Sistemas de manejo de desechos orgánicos.....	29
2.6.1. Compostaje.....	30
2.6.2. Digestión anaeróbica	32
3. CUANTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DESECHOS GANADEROS GENERADOS	34
3.1. Muestreo y cuantificación de desechos ganaderos	34
3.2. Análisis fisicoquímicos de las muestras.....	40
3.2.1. pH.....	40
3.2.2. Demanda química de oxígeno (DQO)	41
3.2.3. Nitrógeno total	41
3.2.4. Sólidos totales	41
3.2.5. Sólidos orgánicos totales	42
3.2.6. Sólidos suspendidos totales.....	42
3.2.7. Ácidos grasos volátiles.....	42
3.2.8. Alcalinidad	43
4. RESULTADOS	44
5. DISEÑO DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN	45
6. ANÁLISIS BENEFICIO/COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN.....	47
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
7. BIBLIOGRAFÍA.....	57

8. ANEXOS.....	59
----------------	----

Índice de figuras

Figura 1 – Mapa de ubicación de las explotaciones ganaderas visitadas.....	36
Figura 2 – Diagrama de compostaje en pila (Sandeen y Gamroth, 2003).	59
Figura 3 – Sistema de balance masa-energía, en el que se integran todos los sectores productivos. (Modak, 2010).....	60
Figura 4 – Encuesta.....	61

Índice de tablas

Tabla 1 Datos de la finca y el propietario.....	35
Tabla 2 ¿Cuántas cabezas de ganado hay en su zona de influencia?	36
Tabla 3 ¿Existen planes de crecimiento? ¿A cuántas cabezas?	37
Tabla 4 ¿Cuál es la carga animal cabezas/hectárea?	37
Tabla 5 Cantidad de desechos generados por sus animales.....	38
Tabla 6 Efectos de las excretas, las soluciones y posibles beneficios	39
Tabla 7 Resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestras	44
Tabla 8 Datos iniciales para el diseño del biodigestor.	45
Tabla 9 Dimensionamiento del biodigestor	45
Tabla 10 Balance de masa	46
Tabla 11 Costos y detalle de equipos necesarios.....	47
Tabla 12 Costos anuales de funcionamiento del equipo.....	48
Tabla 13 Costos anuales de mano de obra	48
Tabla 14 Posibles ingresos generados por los subproductos de la biodigestión.....	48
Tabla 15 Inversión anual en fertilizantes químicos para mantenimiento de pastizales.....	49
Tabla 16 Proyección de ingresos y egresos	50
Tabla 17 Ingreso anual por concepto de turismo	51

Índice de gráficos

Gráfico 1 – Proyección de crecimiento a futuro (cabezas de ganado).....	37
Gráfico 2 – Excretas generadas en un día, durante los dos periodos de ordeño.....	39

OBJETIVOS

General

Determinar la factibilidad para la instalación de un sistema de biodigestión para la producción de biogás y biofertilizante a partir de excretas, en explotaciones ganaderas de la Isla San Cristóbal.

Específicos

- Verificar la cantidad y distribución de animales de granja existentes.
- Determinar la cantidad, destino y calidad de los desechos ganaderos en la isla.
- Determinar la factibilidad técnica de la instalación de biodigestores.
- Estimar el beneficio económico proveniente del uso de biogás y abono orgánico.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El crecimiento demográfico y económico acelerado suscitado en las Islas Galápagos, ha propiciado el establecimiento de numerosas explotaciones pecuarias. El número estimado de pobladores para el 2020 es de alrededor de 70 mil personas ([Chiriboga et al., 2006a](#)), habiendo alcanzado en el 2007 una población superior a los 25 mil habitantes ([Epler, 2007](#)). Este crecimiento poblacional se convierte en un problema para el frágil entorno ecológico de las islas, debido a las actividades antropogénicas de todo tipo.

Junto con el crecimiento poblacional, las actividades económicas aumentan, resultando en la generación de desechos y la contaminación de las islas. Favorablemente, la mayoría de los desechos generados en las islas son orgánicos. San Cristóbal produce más de 4 toneladas diarias de basura, de las cuales cerca del 60% corresponde a desechos orgánicos ([Torsten et al, 2010](#)), lo que sumado a la producción de desechos ganaderos en las más de 4000 hectáreas destinadas para este propósito ([SIPAE, 2007](#)), imponen la necesidad de implementar sistemas de manejo de desechos orgánicos y producción de energías renovables.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Siendo el Archipiélago de Galápagos el hábitat de miles de especies animales y vegetales, y además un asentamiento humano en constante crecimiento demográfico, económico y tecnológico, que basa su capital sobre todo en actividades turísticas, y requiere que los pobladores produzcan alimentos para satisfacer el consumo interno y la demanda de los turistas, se pone en evidencia la inminente generación de desechos de todo tipo, que alterarán el delicado ecosistema, amenazando la subsistencia de la flora y la fauna endémica, al igual que del crecimiento económico y humano en las islas.

Por esta razón, el Galápagos Science Center, apoya la realización de proyectos de conservación que aseguren la permanencia inalterable de las especies endémicas y permitan que junto con el Laboratorio de Desarrollo de Energías Alternativas (LaDEA), y la filosofía conservacionista del Fondo Tueri de Ayuda para la Fauna Silvestre, se determine la necesidad de sistemas de manejo de desechos orgánicos en la zona agro productiva de la isla San Cristóbal. Además, que se establezcan los parámetros adecuados para la implementación de dicho sistema en las explotaciones que tengan la capacidad y las condiciones adecuadas para su implementación.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Ecosistemas en Galápagos

Las Islas Galápagos son con certeza el único lugar en el mundo que no se ha visto totalmente afectado por el desarrollo humano. A pesar de que varias de las islas del archipiélago son explotadas de diversas maneras, se considera que "las Galápagos son aún una de las áreas menos arruinadas que quedan en el planeta" ([UNEP, 2011](#)). La cantidad de especies vegetales que residen en ellas supera las 9 mil, de estas se han descrito más de 5 mil, y se asegura que a pesar del desarrollo turístico y la explotación agrícola, las especies endémicas se mantienen intactas en una proporción superior al 90% ([UNEP, 2011](#)).

A pesar de ser islas de origen volcánico y consideradas relativamente jóvenes, el ecosistema de estas presenta una variedad de especies y microclimas. Es así que se encuentran zonas costeras áridas, zonas de transición, zonas de bosque y zonas de pampa, desde los 80 metros sobre el nivel del mar (msnm) hasta altitudes superiores a los 1000 msnm, con una variación entre ellas de cien metros o menos ([UNEP, 2011](#)). Estas condiciones favorecen el desarrollo de especies vegetales de todo tipo.

Se estima que más de 700 especies vegetales han sido introducidas en las islas. Estas son consideradas en muchos casos un problema para el ecosistema propio de estas. Las especies introducidas incluyen frutales como naranja, limón, guayaba, mora, pasto elefante, kikuyo y otras como la quinina y algunas especies florales, distribuidas en toda la isla, pero con predominancia en las zonas elevadas ([UNEP, 2011](#)).

La variedad de vegetación y microclimas ha sido adecuada para la subsistencia de muchas especies animales. Se han registrado al menos 24 especies de vertebrados y cerca de 2 mil invertebrados en el archipiélago. De estos, 35 reptiles son únicos de las islas. Aunque la cantidad de especies ya descritas parece numerosa, el 50% de estas podría estar en peligro de extinción ([UNEP, 2011](#)).

La población animal de las islas incluye además de las especies endémicas, algunas que son consideradas migrantes regulares. Sumadas todas estas se cuentan 7 especies de mamíferos, 57 especies de aves, de las cuales cerca del 50% son endémicas y las restantes son migrantes, más de 2 mil especies marinas que incluyen una diversidad de 650 conchas, 200 estrellas de mar y al menos 100 cangrejos ([UNEP, 2011](#)).

Finalmente, se debe identificar como parte del ecosistema de la isla a la población humana residente en ella. En 2004 se reportó una población superior a los 20 mil habitantes y se estima que para 2015 la población llegará a los 40 mil habitantes. Las principales actividades desarrolladas en las islas son la pesca, la agricultura y el turismo, esta última acoge a más del 40% de la población, convirtiéndose en la principal causa del abandono de la actividad agrícola en todas las islas ([UNEP, 2011](#)).

Los ecosistemas de las islas, se han visto afectados por la introducción de especies vegetales invasoras, al igual que de muchas especies animales. La gran mayoría de dichas especies fueron introducidas con el fin de incrementar la productividad agrícola desarrollada principalmente en la parte alta de las islas, donde se encuentra un microclima adecuado para el crecimiento de cultivos, pero

también, para albergar la mayor diversidad vegetal del archipiélago. Se ha estimado que esta actividad ha modificado cerca del 60% del ecosistema original en esta zona. Sumado a esto, la introducción de cabras, cerdos, ratas, animales domésticos y sus patógenos, y sobre todo, su tenencia irresponsable, amenaza de manera alarmante la integridad del ecosistema ([UNEP, 2011](#)).

2.2 Economía y Agricultura en el Archipiélago

El sistema económico y el acelerado crecimiento demográfico de las islas pueden ser considerados los factores de riesgo más amenazantes para el ecosistema, tomando en cuenta que es el último archipiélago en el mundo que aún conserva más del 95% de su biodiversidad y que la subsistencia de sus habitantes depende directamente de este ([Watkins y Cruz, 2007](#)).

La economía en las islas se basa en la pesca, la agricultura y el turismo. Las tres actividades afectan el ecosistema por medio de la introducción de especies, la contaminación generada, el mal manejo de desechos y la sobre explotación de los recursos naturales, que representan un sistema de desarrollo poco sustentable a mediano y largo plazo ([Watkins y Cruz, 2007](#)).

Lograr un sistema económico sustentable en una isla es complicado, sobre todo por su condición geográfica, los reducidos recursos naturales, las limitadas posibilidades de mercado y el elevado costo de movilización. Además, muchas islas deben importar la materia prima desde el continente, lo que eleva los costos de producción y elimina la posibilidad de competir en los mercados. Y como si

esto fuera el único problema, la escasez de recursos humanos capacitados resulta en mayores costos de producción ([Watkins y Cruz, 2007](#)).

Estos problemas han determinado el incremento progresivo del mercado turístico. Se estima que más del 40% de operadores turísticos son habitantes de las islas, modificando la tendencia existente de operadores extranjeros. Los servicios turísticos representaron en 2006 cerca de 70 millones de dólares en ingresos para las islas ([Watkins y Cruz, 2007](#)).

El aporte económico del turismo es quizás la principal causa por la que las otras actividades han sido abandonadas lentamente. Por ejemplo, antes de 2007 la pesca generaba más de 8 millones de dólares al año, pero a partir de ese año reportó una reducción del ingreso a menos de 3 millones de dólares anuales. Esta modificación laboral, sumada a la reducida posibilidad de oferta de productos y los elevados costos, ocasionan la limitación de la pesca y la nula posibilidad de que se creen nuevas pescaderías ([Watkins y Cruz, 2007](#)).

Además de delimitar el campo económico y laboral, el turismo trae consigo, aparte del desarrollo económico y social, diversos problemas para las islas. Por ejemplo, existe un aumento de inmigrantes, muchos de ellos ilegales que buscan oportunidades laborales; el incremento de turistas demanda el crecimiento de las zonas urbanas, que a diferencia de las playas y zonas turísticas protegidas y monitoreadas por el Parque Nacional Galápagos (PNG), han presentado un crecimiento sin planificación. Esta expansión urbana y social demanda servicios básicos, servicios de salud y otros servicios sociales, que sin la adecuada planificación generan problemas y elevan los costos de vida. Además la velocidad de desarrollo ha superado la capacidad de respuesta de los gobiernos locales; la

apertura de nuevas rutas y frecuencias que traen consigo riesgos y problemas como derrames de hidrocarburos y contaminación ([Watkins y Cruz, 2007](#)).

Así, se puede asegurar que el desarrollo económico de las islas, basado en un sistema netamente turístico, puede ser el causante de la alteración del ecosistema y del incremento de especies en riesgo.

El abandono de la agricultura sucede abruptamente en la década de los 70's. Antes de esa época, la agricultura y la pesca eran las principales fuentes de empleo e ingresos en las islas. A mediados de los 70's, el turismo toma fuerza y desplaza totalmente estas actividades, resultando en la incapacidad de los productores locales para satisfacer la creciente demanda, y obligando a la importación de productos agroalimentarios desde el continente, inclusive con costos menores a los alimentos producidos en las islas ([Epler, 2007](#)).

Con este abandono de tierras y la reducción de la explotación agrícola y ganadera, muchas especies introducidas se convirtieron en especies invasoras. El área agropecuaria se divide en: área agrícola, pastizales artificiales asociados con cultivos de ciclo largo, cultivos de ciclo corto y plantaciones de café. A esto se suman las especies invasoras como la guayaba, la quinina, la mora y otras. A estas últimas se les atribuye el mayor cambio en la vegetación de las islas. En San Cristóbal, de las más de 8 mil hectáreas que se cultivaban antes del boom turístico, el 71% fue invadido por estas especies hasta el año 2006, mientras que solo el 21% permanece con cultivos. Los pastizales de la isla, fueron invadidos en un 80% y se estima que el 86% de la tierra que era destinada para cultivos ya sean de ciclo largo o corto, también ha sido invadida ([Villa y Segarra, 2009](#)).

2.3 Efectos del mal manejo de desechos

Como consecuencia de las principales actividades económicas de las islas, se puede determinar que el manejo de desechos producidos por los diferentes rubros es un serio problema para la salud de la población y sobre todo para el mantenimiento del ecosistema natural en el archipiélago.

La polución causada por el inadecuado o nulo manejo de desechos abarca las zonas marinas, donde los barcos turísticos tienen autorización legal para liberar todos los desechos que consideren orgánicos en las aguas que rodean las islas, lo que suele incluir plásticos y otros desechos nocivos que pasan desapercibidos en el momento de selección y separación de los mismos. Además, la ausencia de plantas de tratamiento y lugares de recolección del agua negra y gris, obligan a los barcos a liberar sus desechos junto con los otros que ya fueron liberados con anterioridad, en el territorio marino que circunda a las islas. Se puede mencionar como un menor problema, pero aun así una fuente de contaminación, la liberación de desechos de la pescadería, que incluye restos animales, sangre y elementos utilizados en la pesca, que afectan directamente a animales como pájaros, tortugas y algunos mamíferos ([Torsten et al, 2010](#)).

Aparte de la polución marina, los centros turísticos establecidos en las islas, generan igualmente desechos. En estos casos, los gobiernos locales han logrado con la colaboración de entidades externas implementar planes de reciclaje. Además, un estudio desarrollado por la WWF afirma que la mayoría de los desechos generados en las islas son orgánicos, por ejemplo, San Cristóbal cuyos desechos orgánicos superan el 60% ([Torsten et al, 2010](#)).

Se estima que cada 10 años los desechos generados en las islas se duplican, pudiendo resultar, sin el manejo adecuado, en el daño permanente del entorno insular. Afortunadamente, la intervención de entidades externas en coordinación con los gobiernos locales, ha logrado un incremento de 260% en el reciclaje, 35% de reducción de basura per-cápita y 400% de eficiencia en el sistema de compostaje y reciclaje entre 2007 y 2009 ([Torsten et al, 2010](#)).

El manejo de desechos sólidos en las islas del Archipiélago ha sido operado adecuadamente gracias a la participación del Parque Nacional Galápagos, de los municipios y la ayuda de otras organizaciones ([Fundar, 2009](#)). El Gobierno Municipal de la Isla San Cristóbal, emprendió en el año 2008 el proceso de contratación e implementación de un sistema de manejo de residuos sólidos urbanos, con la ayuda de organizaciones europeas. Para este proyecto, se define como desechos sólidos a “aquellos desperdicios no peligrosos, putrescibles o no putrescibles, con excepción de excretas de origen humano o animal” ([León y Chico, 2008](#)). Dejando de lado el manejo de las excretas animales producidas en todas las explotaciones pecuarias existentes en la isla. Se debe tomar en cuenta, que existen al menos 300 unidades productivas agropecuarias (UPAs) en esta isla, dedicadas a la producción de los diferentes tipos de ganadería antes mencionados ([INEC, 2010](#)).

El incremento del número de animales de granja y ganado en general, representa una producción creciente de excretas, que de no ser manejadas de manera adecuada pueden desencadenar un deterioro de las condiciones del agua, suelo y aire. La acción de liberar desechos de la producción ganadera al ambiente va acompañado del riesgo de propagar enfermedades y generar problemas

sanitarios, como propagación de moscas y malos olores, que afectarán de manera directa a los habitantes de la isla y a los animales endémicos e introducidos.

Los desechos animales mal manejados emiten lixiviados que contaminan el suelo y las fuentes de agua superficiales. Algunos de los elementos que causan problemas son el exceso de nutrientes como nitrógeno y fósforo, patógenos como virus y bacterias perjudiciales para los humanos, residuos de antibióticos, y fármacos, que han sido administrados a los animales ([PEW, 2010](#)). Con ayuda de la lluvia y otros factores climáticos, estos elementos tienden a transportarse a aguas subterráneas, las mismas que constituyen fuentes hídricas importantes para el consumo humano. Además, estos compuestos, permanecen en el suelo, reduciendo su capacidad productiva, y convirtiéndose en un foco de enfermedades.

Siendo el agua un elemento esencial para la subsistencia y el desarrollo económico de las diversas actividades, la contaminación de ésta es quizás el mayor inconveniente del inadecuado manejo de excretas. La nitrificación de este recurso tan valioso, por medio de la conversión del amonio en nitratos, es causante de la intoxicación de personas, del aumento de incidencia de enfermedades cancerosas y no cancerosas como hipertiroidismo, diabetes tipo 1, problemas reproductivos y neurológicos, y la presencia de metahemoglobinemia en niños menores de seis meses. Sumado al impacto que tiene la contaminación del agua sobre las personas, y su potencial como vector de enfermedades, se debe mencionar el proceso de eutrofización de ésta. Los elementos contaminantes emitidos por las heces, causan la pérdida de oxígeno en las aguas

con las que entran en contacto, causando anualmente a nivel mundial miles de muertes anualmente de peces y quitándole la capacidad de ser un medio adecuado para la vida y reproducción de especies acuáticas animales y vegetales. También existe una elevada demanda bioquímica de oxígeno (DBO) o BOD por sus siglas en inglés (Biochemical oxygen demand), que refleja el exceso de nutrientes en los desechos, los mismos que requieren altas cantidades de oxígeno para ser degradados por medios microbiológicos, reflejando directamente el potencial contaminante de las excretas a los medios acuáticos ([Halden, 2008](#)).

Existen distintos componentes en las excretas animales que pueden ser dañinos para estos y para los humanos. Se ha detectado la presencia de disruptores endocrinos, que afectan directamente la fisiología hormonal, causando serios problemas reproductivos, ya que comúnmente en estos desechos se encuentran esteroides y arsenatos ([Halden, 2008](#)).

La contaminación del aire, no deja de ser menos importante que la del agua, siendo el primer signo notable de la mala manipulación de desechos animales sólidos. Es frecuente, que en explotaciones agropecuarias intensivas, los olores regularmente fétidos de las excretas sean notados en el entorno. La fetidez de estos no es el principal problema, mas si la emisión de bioaerosoles, bacterias, endotoxinas, compuestos orgánicos volátiles, amoníaco y otras sustancias, que transportados por el viento acarrearán una diversidad de enfermedades como la irritación de las vías respiratorias, bronquitis, asma, enfermedad obstructiva pulmonar crónica, entre otras ([Halden, 2008](#)). Adicionalmente, estos desechos constituyen una de las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero a nivel mundial, entre los que se encuentran metano, óxido nitroso, y

dióxido de carbono, que son liberados por efecto de microorganismos y factores externos como el método de almacenamiento, la disponibilidad de oxígeno, temperatura, humedad y cantidad de nutrientes disponibles ([AESA, 2003](#)).

El adecuado manejo de desechos animales sólidos, es una necesidad creciente en todas las explotaciones pecuarias. En los Estados Unidos, se ha calculado que las explotaciones animales, generan 300 millones de toneladas de excretas al año, más del doble de la cantidad generada por la población humana, estimándose un gasto de \$4,1 billones en tratar las zonas contaminadas ([UCS, 2008](#)).

A nivel mundial se puede observar un progresivo interés por el manejo adecuado de desechos. Es evidente, que en nuestro país los desechos animales sólidos y otros desechos orgánicos generados en explotaciones agrícolas, no tienen mayor control por parte de las entidades gubernamentales encargadas de preservar el medio ambiente. Generalmente, los esfuerzos se ven enfocados al manejo de desechos humanos e industriales, sobre todo por la reducida proporción de explotaciones agrícolas tecnificadas y por la elevada presencia de sistemas agropecuarios tradicionales. Son los países desarrollados quienes han logrado determinar claramente que el incremento de animales de granja y el mal manejo de sus desechos provocan, por ejemplo, la emisión del 9% del total de metano como gas de efecto invernadero ([AESA, 2003](#)), 18% de los gases de invernadero antropogénicos emitidos a nivel mundial ([FAO, 2010A](#)) y son el primer causante de contaminación de aguas y acuíferos en todo el planeta ([Arogo, 2010](#)).

Uno de los indicadores más significativos de la contaminación del agua, es la DBO, que refleja la cantidad de oxígeno requerida para degradar materia

orgánica, en este caso fecal. Por ejemplo, cuando se manejan heces de porcinos, el DBO asciende a 30000 mg por litro, lo que representa un 75% más DBO que para un litro de agua residual no agrícola ([Halden, 2008](#)). Además, se afirma que la contaminación por nutrientes provenientes de excretas, es el principal contaminante de lagos, ríos y estuarios en todo el mundo ([Ribaudó et al, 2003](#)). Tomando en cuenta lo anterior, se debe evitar que por sus características geográficas, todas las excretas sean llevadas por la lluvia a corrientes de agua, que desembocarán en aguas marinas circundantes, causando un daño irreversible al frágil ecosistema del archipiélago y afectando directamente la explotación pesquera existente en la isla.

2.4 Situación actual en las explotaciones ganaderas en las islas

La historia de la explotación ganadera en el Archipiélago de Galápagos, parte a finales del siglo XIX e inicios del XX. La primera hacienda se establece en la Isla Isabela, con una extensión de 900 hectáreas, aunque existen datos que aseguran la existencia de ganado vacuno salvaje introducido en 1840. El destino de estos animales era principalmente carne para Guayaquil y animales en pie para Colombia y Perú. Desde entonces y hasta mediados del siglo XX, la ganadería se llevaba a cabo sin restricciones, de manera extensiva e invasiva. En la década de 1950, se dividió la hacienda entre todos los peones, fomentando las pequeñas explotaciones. Desde 1962, se documenta la cría de chanchos en sistemas familiares. Los altos costos de producción en los años siguientes, modificaron el destino de los animales, lo cual redujo el número de explotaciones pecuarias para

exportación, centrándose en producción para autoconsumo de las islas ([Chiriboga et al., 2006b](#)).

El desarrollo ganadero viene desde 1800, pero son los inicios de 1900 los años de mayor crecimiento, y sobre todo, el tiempo de mayor importación de productos, especies y tecnologías a la isla, diversificando la tradicional producción de café y caucho existente. Fue exactamente en 1906 que la liberación de impuestos a los implementos agropecuarios, desenlaza en una producción elevada de “cueros y pieles, hortalizas, maíz, papas, trigo y cebada” ([Chiriboga et al., 2006b](#)), destinada especialmente a la exportación al continente.

Esta liberación comercial enfocada especialmente a los productos agrícolas, impulsó el ingreso de reses a las zonas agrícolas de las distintas islas. Pasaron algunas décadas, en las que se manipuló la producción y la posesión de tierras, hasta que, cerca de 1940, se volvieron a impulsar las explotaciones agrícolas, dándoles además mayor fuerza a las explotaciones ganaderas. Para esa época, el ganado que se reprodujo libremente en las tierras era explotado y exportado al continente para su venta en pie ([Chiriboga et al., 2006b](#)).

Además de la producción de reses, la creación de pequeñas explotaciones familiares, impulsó la necesidad de mantener animales de menor tamaño. De esta manera la explotación de chanchos alimentados especialmente con frutos de las fincas, creció y se desarrolló de manera extensiva, es decir, los chanchos llegaban a cubrir toda la extensión de la finca, alimentándose de los cultivos existentes ([Chiriboga et al., 2006b](#)).

Fue en la década de los 70s, con una nueva repartición de grandes extensiones de tierra, cuando muchos productores dedicaron todos sus predios a la explotación extensiva de ganado vacuno arisco, asegurando la ocupación total del terreno designado. Lamentablemente, a finales de la misma década se produce el boom turístico, que resulta en el abandono de muchas de estas explotaciones agropecuarias ([Chiriboga et al., 2006b](#)).

Por este cambio de actividad económica, y por el rápido desarrollo del sector turístico, la inversión en ganadería y agricultura se vio ampliamente afectada, derivando en el nulo cuidado de pastos, control de plagas o mejoramiento y cuidado de los animales. Como resultado de esto, la expansión acelerada de cultivos invasores, plagas y otros, afectó más aun al sector, y forzó el abandono total de algunas explotaciones. La consecuencia final, fue la venta de tierras y animales, lo que debilitó totalmente la producción agropecuaria ([Chiriboga et al., 2006b](#)).

La reducción de las grandes fincas y haciendas ganaderas, impulsó la creación de pequeñas explotaciones especialmente para autoconsumo, en ellas

(...) dedican una pequeña parcela para cultivar hortalizas. Tienen árboles frutales y maderables para venta esporádica. En la mayoría de fincas el café ocupa una parte considerable de la superficie porque no requiere mucho trabajo y representa un pequeño ingreso, vendiéndolo en pie. Es común que tengan dentro del cafetal o encerrado en corrales de madera 2 chanchas para criar chanchos de engorde para autoconsumo y venta. Las partes no cultivadas están cubiertas de bosque secundario, donde, en algunos casos hay dos vacas para producción de leche para autoconsumo ([Chiriboga et al., 2006b](#)).

A pesar que la realidad de la ganadería en las islas es la mencionada, actualmente se registran alrededor de 15 mil cabezas de ganado de diferente tipo. Se estima que existen más de 12000 vacas, 2500 cerdos, y 1500 animales entre asnos, caballos, mulas, cabras, alpacas y cuyes, concentrados principalmente en las islas Santa Cruz, San Cristóbal e Isabela, cada una de ellas con cerca de 8500, 4000 y 2500 cabezas, respectivamente. Sumado a esto, existe un número elevado de aves de corral, criadas en campo y en planteles avícolas, de al menos 30000 aves, entre gallinas, gallos, pollos, patos, pavos y ponedoras, explotadas en las islas ya mencionadas ([INEC, 2010](#)).

Aunque existe gran pesimismo sobre el futuro de la actividad agropecuaria en el archipiélago, ya sea por los elevados costos de producción, la reducción de rendimiento de los cultivos, la expansión de plagas y cultivos invasivos, la casi total ausencia de mano de obra y la imposibilidad de competir con los productos importados del continente, se ha presentado un incremento substancial de las pequeñas explotaciones porcícolas, como respuesta a la creciente demanda del mercado interno, lo que permite vislumbrar aun el mantenimiento y desarrollo de la agricultura y la producción animal en las galápagos ([Chiriboga et al., 2006b](#)).

Además, San Cristóbal destina más de 4600 hectáreas a la producción de ganado bovino, previsto para la producción de lácteos y cárnicos destinados al consumo interno del archipiélago, buscándose también la reapertura de canales comerciales con el continente. Gracias a este crecimiento comercial, se puede observar la implementación de sistemas de mejoramiento genético animal, mantención y mejoramiento de los pastizales y planificación para asegurar una producción sostenible. Sumado a esto, la ausencia de enfermedades infecto-

contagiosas que en el continente afectan las posibilidades de ampliar los mercados, como la Fiebre Aftosa, convierten a la explotación ganadera en un negocio rentable y con un enfoque de mercado extremadamente amplio ([SIPAE, 2007](#)). Sin embargo, se deberá tomar muy en cuenta el riesgo derivado de los problemas de contaminación que pueden sobrevenir como consecuencia de la mayor producción de excretas si no se toman oportunamente las medidas necesarias para su correcto tratamiento.

2.5 Beneficios obtenidos por el buen manejo de desechos

Tomando en cuenta que “las 128 islas que componen el archipiélago aún mantienen el 95% de su diversidad de especies original” ([Fundación Charles Darwin, 2002](#)), es de suma importancia el establecimiento y aplicación de métodos de manejo de excretas, con el fin de mitigar los daños que la presencia humana causa en el medio ambiente, principalmente por la necesidad de expandirse y subsistir. La contaminación de fuentes de agua, suelo y aire generados por las excretas animales, puede ser reducida drásticamente por medio de un manejo correcto de éstas, logrando aprovecharse el potencial de todos los elementos presentes y, sobre todo, de la materia orgánica que mal manejada constituye un serio contaminante ambiental. Con métodos adecuados de manejo de desechos sólidos animales, es posible abastecer a los cultivos de nutrientes metabolizados, evitar la escorrentía y lixiviación de elementos nocivos a las fuentes de agua y eliminar patógenos que afectan a las plantas, animales y humanos ([Evensen, 2009](#)).

Otro aspecto clave para la implementación de planes de manejo de desechos, es la ausencia de combustibles fósiles en el archipiélago y la necesidad de transportarlos desde el continente, situación que incrementa drásticamente los costos de producción y procesamiento dentro de las fincas y granjas. Usando microorganismos y nutrientes de las excretas, es posible generar biogás, el mismo que puede ser utilizado como energía alternativa en cada explotación agrícola. Sus usos varían desde el calentamiento de agua y producción de vapor hasta la generación de electricidad. La cantidad de gas generada dependerá directamente del diseño del biodigestor, de la temperatura de funcionamiento y sobre todo de la disponibilidad de materia fecal animal de cada granja y de sus características ([Arogo, 2010](#)).

Los desechos sólidos provenientes de explotaciones animales, han sido utilizados exitosamente en muchos países, siendo los países europeos los líderes en desarrollo de tecnologías de producción de biocombustibles y biofertilizantes a partir de estos. La experiencia de los Países Bajos, se ha replicado en los Estados Unidos con éxito. La producción de energía verde a partir de heces y material vegetal, es una alternativa para el manejo adecuado de estos desechos, evitando así problemas de contaminación o que sean depositados en rellenos sanitarios sin provecho alguno. Este tipo de energía ha suscitado en Europa un elevado desarrollo rural ([House, 2007](#)).

A causa del crecimiento demográfico y la necesidad de alimentar a la población, se debe pensar en sistemas de agricultura más eficientes con una gestión adecuada de los recursos naturales y un uso eficaz de los insumos requeridos para la producción, contribuyendo así a la seguridad alimentaria al archipiélago.

Esto representará un incremento de desechos animales, y por lo tanto de emisiones y contaminación por parte de este sector ([FAO 2, 2010](#)), de allí la importancia de su tratamiento.

2.6 Sistemas de manejo de desechos orgánicos

El incremento de los costos de la energía, además de la necesidad de una adecuada manipulación de desechos, convierten a los sistemas de energías verdes y renovables, en el principal medio para la mitigación del daño ambiental causado por la presencia humana y su desarrollo, en una manera adecuada para conservar el ecosistema isleño.

Muchos países a nivel mundial se empeñan en reducir la cantidad de residuos de manera preventiva, reusar y reciclar todos los desechos, y finalmente manejar adecuadamente los depósitos de desechos de todo tipo. Estos modelos, además de proyectar un sistema libre de desechos a futuro, buscan aprovechar al 100% los residuos, convirtiéndolos en nuevos materiales o energía.

Se debe tomar en cuenta que los desechos orgánicos, y sobre todo las excretas animales, se convierten en una fuente de energía y nutrientes, siempre y cuando sean bien manejados. Las heces del ganado se presentan como un medio orgánico para nutrir los cultivos y pastizales inclusive si no son sometidos a procesos de manejo. Claro está, que existen beneficios de los desechos procesados, como la fácil aplicación, menor daño ambiental, reducida posibilidad de esparcir semillas invasoras, menor presencia de patógenos, olor reducido y fácil asimilación de los nutrientes por parte del cultivo ([Sandeen y Gamroth, 2003](#)).

Existen algunos métodos que implican la acción de microorganismos, presentes sobre todo en las excretas, para conseguir estos beneficios a partir de los desechos. A continuación se tratarán los más conocidos.

2.6.1. Compostaje

El compostaje es un método utilizado durante años, se basa en el uso de desechos vegetales y excretas, que serán descompuestos por medio de un proceso termofílico llevado a cabo por bacterias aerobias, siempre y cuando se mantengan condiciones adecuadas para que estas puedan seguir desarrollándose y digiriendo los materiales ([Augustin y Rahman, 2010](#)). Durante el proceso, se consume oxígeno, y se generan dióxido de carbono, vapor de agua y calor ([Sandeem y Gamroth, 2003](#)) (Anexo, Figura 1).

Este método asegura una amplia reducción de la polución y un magnifico aprovechamiento de nutrientes para los cultivos, por medio de la disponibilidad de fertilizantes orgánicos, mayor capacidad de retención de humedad y aireación del suelo. Sumado a esto, asegura la reducción del uso de herbicidas y procesos mecánicos de eliminación de malezas, ya que reduce drásticamente la diseminación de semillas en las excretas animales y elimina eficientemente patógenos como *E. coli*, *Salmonella* y *L. monocytogenes* ([Augustin y Rahman, 2010](#)).

A pesar de presentar muchas ventajas, el compostaje requiere de un amplio espacio y de mano de obra y maquinaria constante, que asegure la correcta aireación de la materia orgánica, y por lo tanto las adecuadas condiciones del proceso ([Augustin y Rahman, 2010](#)).

Se han establecido dos sistemas de compostaje, en hilera y en pila. El primero requiere amplias áreas donde expandir la materia orgánica y sobre todo requiere de maquinaria para poder mezclar las hileras, al menos cinco veces al día, con el fin de mantener las condiciones adecuadas del proceso de descomposición. La segunda, basa su funcionamiento en montañas o pilas de materia mezclada, en las que se introduce oxígeno por medio de tubos perforados, lo que elimina la necesidad de maquinaria pesada, aunque no totalmente el requerimiento de mezclar los materiales con el fin de conservar las características básicas para el crecimiento bacteriológico ([Sandeem y Gamroth, 2003](#)).

En los dos casos, se deben mantener cuatro factores primordiales: la aireación del producto, el balance nutricional, la humedad y la temperatura. De esta manera se asegura un proceso bacteriano aeróbico limpio y eficiente. Cuando se limita la cantidad de oxígeno de la materia, el proceso se convierte en anaeróbico, generando mal olor y un resultado diferente al que se buscaba. De igual manera, el balance de nutrientes es determinado por la relación entre carbón y nitrógeno: cuando la relación es baja, se produce amonio, y si la relación es muy alta el proceso de descomposición se ve alterado y reducido. En el caso de la humedad, cuando esta supera el 60%, se altera el flujo de oxígeno. Finalmente, la temperatura, que es producto de la acción de los microorganismos del compostaje, varía entre los 50 y 60° C; dentro de este rango ocurre la eliminación de patógenos, exactamente a los 55° C por un periodo de 3 días. Pero si la temperatura llegara a bajar de los 43°C, la acción bacteriana será afectada ([Sandeem y Gamroth, 2003](#)).

2.6.2. Digestión anaeróbica

Otro sistema para manejar los desechos orgánicos, por medio del uso de microorganismos, es la digestión anaeróbica, la que asegura la eliminación de olores, reduce la polución del agua y la emisión de metano, problemas que pueden causar un serio impacto en las islas, e inclusive conllevar la reducción del turismo, como ha sucedido en otros países. El mayor beneficio de los sistemas de biodigestión es la integración de beneficios ecológicos, ambientales e inclusive económicos en los que se incluyen a todos los productores agropecuarios. Los sistemas de generación de energía y los procesos comerciales a nivel urbano y rural y lograr la interacción entre el sector agropecuario y turístico por medio del adecuado manejo de los desechos y la eliminación de contaminación del agua y otros medios. Se dará buen uso a los subproductos generados en beneficio de los dos sectores ([Boitin, 1998](#)).

Los denominados sistemas de balance masa-energía, son sistemas que integran totalmente el ciclo productivo agrícola y energético. Principalmente buscando el manejo adecuado de los desechos orgánicos y la producción de energías renovables, a lo que se suma la producción de otros subproductos beneficiosos para el hombre. En lugares como Alemania, donde los sistemas funcionan hace décadas, el retorno económico resulta ser admirable, ya que gracias al procesamiento correcto de los desechos de granjas y haciendas, se genera energía calórica que es utilizada por hospitales, guarderías, escuelas e inclusive viviendas, además de la producción de energía eléctrica prescindiendo del uso de combustibles fósiles para alimentar los generadores ([Boitin, 1998](#)).

Para que estos desechos generen gas, el sistema depende de bacterias, comúnmente encontradas en las heces de los animales, que aseguran la conversión de lípidos, carbohidratos y proteínas en ácidos simples como el ácido acético y propiónico. Asimismo, otras bacterias se encargan de producir metano y dióxido de carbono a partir de estos ácidos. Estos gases pueden ser utilizados para generar energía térmica o alimentar motores de combustión interna destinados para diferentes fines. Como producto complementario, se obtiene un residuo de excretas homogenizado, con reducida presencia de bacterias patogénicas y discreto olor, que puede ser esparcido como abono del suelo ([House, 2007](#)).

Para la digestión bacteriana de los desechos orgánicos, se requieren condiciones específicas, como la total ausencia de oxígeno y la correcta temperatura, que permita el crecimiento de colonias bacterianas y su correcto funcionamiento metabólico; los sistemas funcionan en rangos de temperatura entre 15 a 60°C ([House, 2007](#)). Posterior al proceso de digestión, se da uno de fermentación, el mismo que asegura la homogeneidad del substrato obtenido como subproducto, y la reducción de emisiones de CO₂. ([Boitin, 1998](#)).

En Europa existen sistemas de producción de biogás unitarios y comunitarios. Los dos tipos de sistemas reflejan la elevada capacidad de esta tecnología para generar energía, proveyendo a las granjas e inclusive a las ciudades calor y electricidad, y reduciendo en 4 millones de toneladas al año las emisiones de CO₂ ([House, 2007](#)).

3. CUANTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DESECHOS GANADEROS GENERADOS

Para la determinación de la factibilidad de instalar un sistema de manejo de excretas animales, se realizaron visitas a las granjas ganaderas ubicadas en la zona alta de la isla San Cristóbal, y se comprobaron las características funcionales de las instalaciones productivas. Además, se tomaron muestras de las tres fincas de mayor capacidad productiva, para posteriormente realizar los estudios fisicoquímicos.

3.1. Muestreo y cuantificación de desechos ganaderos

El proceso de muestreo fue realizado por medio de visitas a diferentes fincas ganaderas, en las cuales se verificó la cantidad total de animales y las correctas características de las instalaciones, necesarias para facilitar la recolección y movilización de las excretas.

Se llevaron a cabo dos visitas, la primera con el fin de establecer la cantidad de animales y conocer la apertura de los dueños de las fincas para poder llevar a cabo el muestreo y los análisis. Para esta visita se dispuso una encuesta (Anexo, Encuesta), previamente aprobada y utilizada por LaDEA, en la que se preguntó lo siguiente:

1. Datos de la finca y el propietario
2. ¿Cuántas cabezas de ganado hay en su zona de influencia?
3. ¿Existen planes de crecimiento? ¿A cuántas cabezas?
4. ¿Cuál es la carga animal cabezas/hectárea?
5. ¿Conoce acerca de los efectos dañinos que el estiércol no tratado ocasiona al ambiente?

6. ¿Considera difícil y costoso deshacerse diariamente del estiércol acumulado en el establo de ordeño?
7. ¿Considera problemático el manejo diario de los desechos orgánicos generados?
8. ¿Qué cantidades aproximadas se generan diariamente de desechos orgánicos?
9. ¿Conoce usted sobre tratamientos de los desechos orgánicos (estiércol)?
10. ¿Qué tecnologías de tratamiento y usos de los desechos orgánicos animales conoce?
11. ¿Conoce qué productos se pueden obtener con el tratamiento de los desechos orgánicos?
12. ¿Ha visto alguna vez un sistema de tratamiento de desechos funcionando?
13. ¿Estaría interesado en aplicar alguna tecnología para el tratamiento de desechos orgánicos?
14. Compromiso del participante.

Los resultados de la encuesta, mostrados a continuación, facilitaron la eliminación de fincas en las que no existía la posibilidad de realizar un manejo adecuado de excretas y aquellas donde sus propietarios no deseaban colaborar. Como consecuencia, se establecieron tres fincas, en las que se realizó la toma de muestras: Flor de Asalia, Hda. Las Merceditas y El Cosmos Farms.

Tabla 1 Datos de la finca y el propietario				
#	NOMBRE	HACIENDA	CORREO	TELEFONO
1	Asalia Cobos	Flor de Asalia	asaliacobos@hotmail.com	520569
2	Ángel Villa	Hda. Las Merceditas	avillac60@gmail.com	99441043
3	Beatriz Davies	El Cosmos Farms	bhdavies@hotmail.com	2521062 / 3010040
4	José Talleda	Señor de los Milagros		
5	Graciela Rodríguez	Altos del Edén		93684536
6	Geovanny Sarigu	Hda. Tranquila		3010141
7	Edison Díaz	Relax J		2520539

Figura 1 – Mapa de ubicación de las explotaciones ganaderas visitadas.



	Flor de Asalia
	Las Merceditas
	El Cosmos Farms
	Señor de los Milagros
	Altos del Eden
	La Tranquila
	Relax J.

En lo que respecta a producción y planes de crecimiento, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2 ¿Cuántas cabezas de ganado hay en su zona de influencia?		
HACIENDA	#Cabezas	%
Flor de Asalia	50	17.06
Hda. Las Merceditas	95	32.42
El Cosmos Farms	38	12.97
Señor de los Milagros	26	8.87
Altos del Edén	61	20.82
Hda. Tranquila	18	6.14
Relax J	5	1.71
Promedio	41.86	

Tabla 3 ¿Existen planes de crecimiento? ¿A cuántas cabezas?	
HACIENDA	Crecimiento
Flor de Asalia	100
Hda. Las Merceditas	150
El Cosmos Farms	0
Señor de los Milagros	0
Altos del Edén	0
Hda. Tranquila	23
Relax J	15
Promedio	41.14

Gráfico 1 – Proyección de crecimiento a futuro (cabezas de ganado)

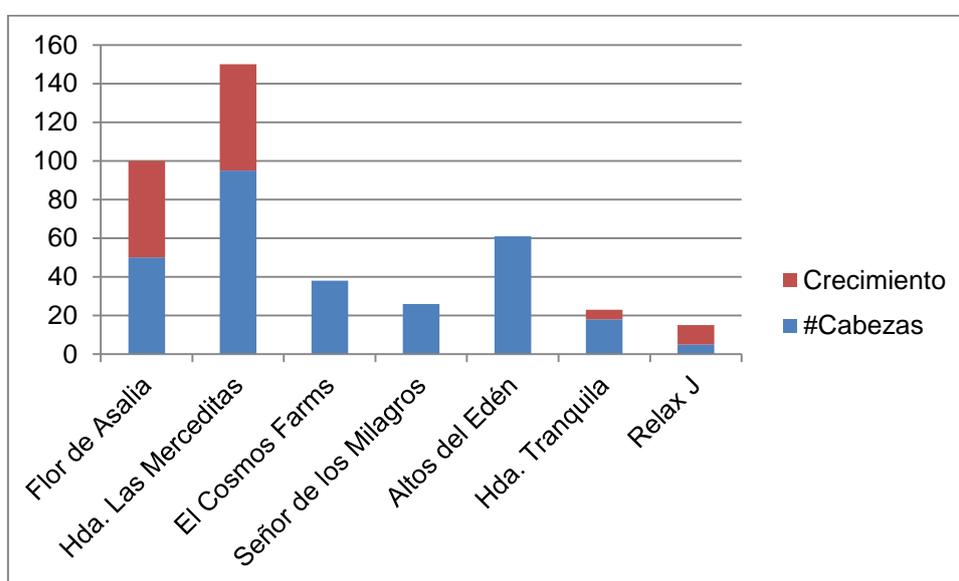


Tabla 4 ¿Cuál es la carga animal cabezas/hectárea?	
HACIENDA	Carga animal cabezas/ha
Flor de Asalia	10.00
Hda. Las Merceditas	0.95
El Cosmos Farms	1.19
Señor de los Milagros	1.30
Altos del Edén	1.05
Hda. Tranquila	0.37
Relax J	0.23
Promedio	2.15

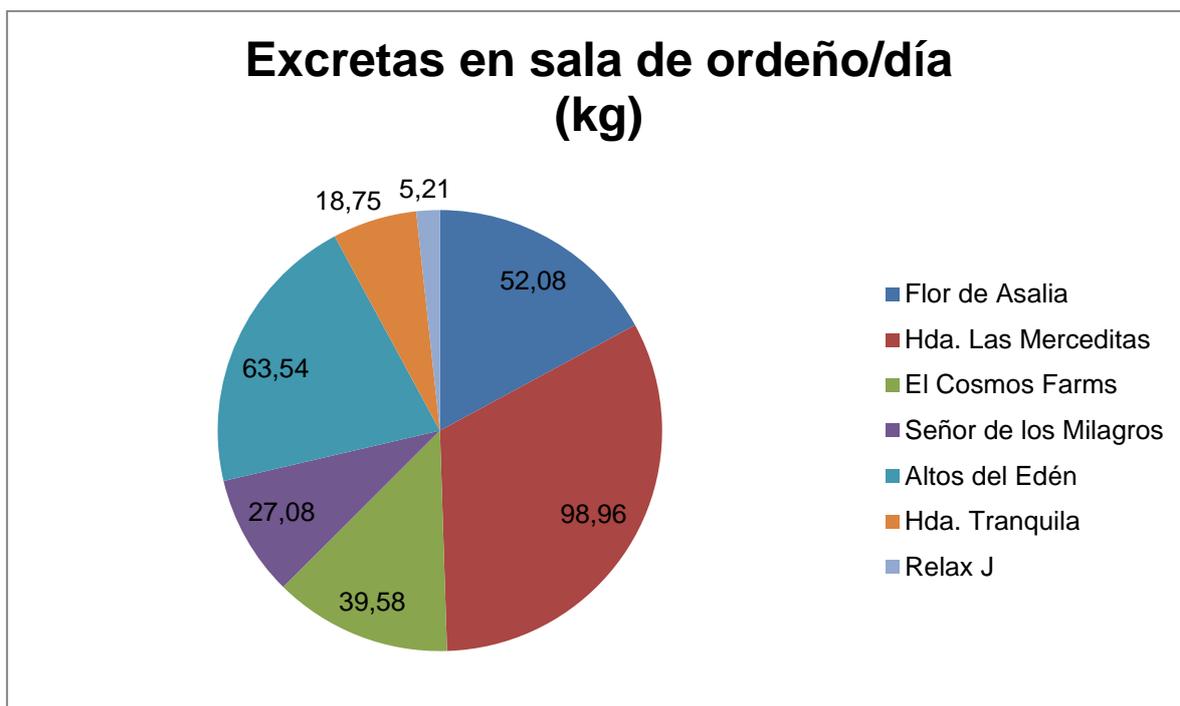
En el caso de los resultados de la Tabla 4, se puede observar una discrepancia en la carga animal de la hacienda Flor de Asalia, una de las elegidas como posible candidata para el diseño de un biodigestor. Este dato evidencia la desconfianza de los propietarios de las tierras al informar sobre sus actividades, por temor a la expropiación.

Una de las preguntas primordiales para el estudio, fue la cantidad de desechos generados por sus animales; estos fueron los resultados:

Tabla 5 Cantidad de desechos generados por sus animales

HACIENDA	# Cabezas	Excretas/día (kg)*	Excretas/Hora (kg)	Excretas/ordeño (1/2 Hora) (kg)	Total (Excretas/día) (kg)
Flor de Asalia	50	1250	52.08	26.04	52.08
Hda. Las Merceditas	95	2375	98.96	49.48	98.96
El Cosmos Farms	38	950	39.58	19.79	39.58
Señor de los Milagros	26	650	27.08	13.54	27.08
Altos del Edén	61	1525	63.54	31.77	63.54
Hda. Tranquila	18	450	18.75	9.38	18.75
Relax J	5	125	5.21	2.60	5.21

* Considerando un valor de 25kg/día generados por cada vaca, basado en la experiencia del Laboratorio de Desarrollo de Energías Alternativas LaDea – USFQ.

Gráfico 2 – Excretas generadas en un día, durante los dos periodos de ordeño.

Por otro lado, la segunda parte de la encuesta, buscaba dilucidar si los dueños de las haciendas conocen sobre los efectos de las excretas, las soluciones y posibles beneficios:

Tabla 6 Efectos de las excretas, las soluciones y posibles beneficios

HACIENDA	P.5	P.6	P.7	P.9	P.10	P.11	P.12	P.13
Flor de Asalia	Si	No	No	No	No	No	No	Si
Hda. Las Mercedes	No	No	No	Si	Si	Si	Si	Si
El Cosmos Farms	Si	No	No	Si	Si	No	Si	Si
Señor de los Milagros	No	No	No	No	No	No	No	No
Altos del Edén	No	No	No	No	No	No	No	No
Hda. Tranquila	Si	No	No	Si	Si	Si	Si	No
Relax J	No	No	No	No	No	No	No	No
SI	3	0	0	3	3	2	3	3
NO	4	7	7	4	4	5	4	4

De estos resultados podemos observar la falta de información sobre los efectos adversos de los desechos ganaderos mal manejados y de los procesos a los que pueden ser sometidos para generar beneficios a la finca.

3.2. Análisis fisicoquímicos de las muestras

Posterior a la visita en la que se determinaron las fincas aptas para participar en el estudio, se tomaron muestras en las tres fincas que cumplieron con los requisitos necesarios, como instalaciones adecuadas, cantidad suficiente de desechos ganaderos, facilidad de recolección de los desechos y el deseo de instalar un sistema de biodigestión. Las muestras fueron tomadas en fundas limpias de fácil sellado, eliminando la posibilidad de alterar la materia prima. Se recogió un kilogramo de muestras de cada hacienda.

En las instalaciones del Galápagos Science Center, se llevaron a cabo, por triplicado, los siguientes experimentos:

3.2.1. pH

El pH de la muestra, refleja la cantidad de iones H_3O^+ que se encuentran en la solución de la muestra. El rango de esta variable va de 0 a 14, reflejando una escala ácido – neutro – alcalino, según varía éste ([Ampudia, 2011](#)).

Para la determinación del pH de las muestras, se utilizó una solución de la materia prima en agua destilada. La solución fue examinada con un potenciómetro, que determinó el pH de la muestra.

3.2.2. Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno muestra la cantidad de oxígeno requerida para la oxidación de la solución. Esta prueba se realiza calentando la muestra, a la que se le añade un oxidante y un medio ácido, durante dos horas. Normalmente el oxidante es el dicromato de potasio y el ácido utilizado es el Ácido Sulfúrico. Posteriormente, se determina con ayuda de un colorímetro el ion cromo reducido ([Ampudia, 2011](#)).

3.2.3. Nitrógeno total

El nitrógeno, es considerado un elemento clave en el proceso de digestión anaerobia, ya que constituye uno de los principales alimentos para los microorganismos que llevarán a cabo la degradación de la materia ([Salamanca, 2009](#)).

Para la determinación de este elemento, se utilizó un kit específico, en el que por medio de procesos de digestión con persulfato de potasio, persulfato de nitrógeno y agentes digestores, se prepara un blanco y la solución de la muestra. Estos tubos son sometidos a pruebas colorimétricas, que proveerán los valores necesarios para determinar la concentración de nitrógeno total de la muestra ([Salamanca, 2009](#)).

3.2.4. Sólidos totales

Se definen los sólidos totales como los residuos que se obtienen después de la evaporación y secado de una muestra a una determinada temperatura. Para realizar esta prueba, un volumen específico de la muestra es vertido en un crisol, que será introducido en una estufa que eliminará la humedad de la muestra. Para

obtener los resultados, se debe tener en cuenta la medición de peso y volumen en el momento inicial del proceso y al finalizar el mismo ([Ampudia, 2011](#)).

3.2.5. Sólidos orgánicos totales

Es la materia orgánica presente en la muestra, que se convertirá en dióxido de carbono y agua al finalizar el proceso de combustión. Este procedimiento consiste en la incineración de los sólidos totales a una temperatura de 550° C. Después de salir de este tratamiento de temperatura, se pesa el crisol donde estuvo la muestra ([Ampudia, 2011](#)).

3.2.6. Sólidos suspendidos totales

Esta variable refleja la fracción de sólidos totales que son retenidos en un filtro de determinada porosidad o tras ser centrifugados. El experimento se realiza con un volumen determinado de la muestra, que es sometido a centrifugación o a filtración; el residuo de estos procesos es secado en una estufa, para obtener los resultados necesarios ([Ampudia, 2011](#)).

3.2.7. Ácidos grasos volátiles

Son elementos producidos en la etapa de hidrólisis y acidogénesis. Estos pueden ser separados de la muestra por medio de un proceso de destilación. Para esto, la muestra es centrifugada, obteniendo un sobrenadante que es diluido en la misma cantidad de agua destilada, y añadido ácido sulfúrico concentrado. Esta mezcla es llevada a su punto de ebullición y destilada hasta obtener 150 ml. Este destilado es evaluado por medio de titulación con una solución de hidróxido de sodio (0.1M) y fenolftaleína como indicador. De esta manera, se titula la muestra y se determina la cantidad de ácidos grasos volátiles ([Ampudia, 2011](#)).

3.2.8. Alcalinidad

La alcalinidad sirve para determinar la respuesta del sistema a cambios en la concentración de iones hidronio. Se mide por medio de una solución de ácido sulfúrico (0.05M). Con ayuda de un potenciómetro, se determina los equivalentes de carbonato de calcio ([Ampudia, 2011](#)).

4. RESULTADOS

Los análisis fisicoquímicos de las muestras, permiten determinar si la materia prima es apta o no para ser sometida a un proceso de digestión anaerobia. En este caso, los resultados fueron adecuados, por lo que después de llevar a cabo todos estos estudios, y analizar la factibilidad real para la instalación de biodigestores en las haciendas elegidas, se determinó que únicamente la hacienda Las Merceditas, presentaba las instalaciones adecuadas, el compromiso de crecimiento y mejoramiento de la actividad ganadera, y sobre todo el interés de instalar un sistema de manejo de excretas animales, además de los rangos adecuados en los resultados de los estudios de laboratorio. De esta hacienda, se obtuvieron los siguientes resultados, utilizados posteriormente para el diseño del sistema de biodigestión.

Tabla 7 Resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestras

Experimento	Hda. Las Merceditas
pH	7.68
DQO [mg O ₂ /L]	26930
Nitrógeno total [mg/L]	110400
Sólidos totales [g/L]	123
Sólidos orgánicos totales [g/L]	49.33
Sólidos suspendidos totales [g/L]	7.99
Ácidos grasos volátiles [mg eq CH ₃ COOH/L]	448
Alcalinidad [mg CaCO ₃ /L]	870

5. DISEÑO DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN

Para determinar el tamaño del biodigestor propuesto, se utilizaron los valores de DQO y sólidos totales. Todos los demás análisis permitieron confirmar que las condiciones de los desechos, permitirán la correcta digestión de la materia prima para utilizarla como base para la producción de biogás y biofertilizante.

A continuación, se muestran los valores base para dimensionar adecuadamente el sistema de digestión anaerobia de excretas.

Tabla 8 Datos iniciales para el diseño del biodigestor.

DATOS INICIALES		
Parámetro	Valor	Unidades
Flujo másico de desechos	99	[kg/día]
TS desechos	0.123	[kg TS/kg]
DQO desechos	32160	[mg DQO/L]
Tiempo de residencia	20	[días]
Carga orgánica suministrada	1.5	[kg DQO/m ³ *día]
Densidad mezcla de desechos	1108	[kg/m ³]
Producción específica de biogas	0.4	[m ³ biogas/kg DQO]

Tabla 9 Dimensionamiento del biodigestor

DIMENSIONAMIENTO		
Parámetro	Valor	Unidades
Caudal real de agua	0.14	[m ³ /día]
Volumen biodigestor	7.02	[m ³]
Altura biodigestor	2.07	[m]
Diámetro biodigestor	2.07	[m]

Tomando en cuenta la cantidad generada de desechos y el análisis de sus sólidos totales, se considera el tamaño adecuado para el biodigestor, y la cantidad de agua con la que se debe mezclar la materia prima, con el fin de diluirla hasta obtener una concentración de sólidos totales del 5%.

De esta manera, se determina que la Hacienda Las Merceditas, con un hato ganadero de 95 cabezas de ganado destinadas a la producción de leche, deberá instalar un biodigestor de 7 metros cúbicos de capacidad, con el fin de manejar los desechos generados diariamente en el proceso de ordeño de sus reses. Las instalaciones del centro de ordeño, facilitan la recolección de las heces, por lo que se puede asegurar una producción constante de biogás y biol.

Tabla 10 Balance de masa

BALANCE DE MASA		
Parámetro	Valor	Unidades
Flujo másico de mezcla reactiva alimentada	243.5	[kg/día]
Flujo másico biogás producido	3.6	[kg/día]
Flujo másico de biol producido	239.9	[kg/día]

El diseño específico para esta explotación pecuaria, permitirá la producción de 3 metros cúbicos de biogás al día, además de cerca de 240 kilogramos de fertilizante líquido.

Además del tanque de biodigestión, se deberán acoplar al sistema: bombas, filtros, tanques de reserva de agua, y otros implementos que serán detallados junto con el análisis de costos para la implementación del equipo propuesto.

6. ANÁLISIS BENEFICIO/COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN

La fabricación del sistema, debe realizarse preferentemente en el continente, con el fin de asegurar que sus materiales y características sean las adecuadas. Además, se elimina la contaminación del proceso de construcción y se asegura el equipamiento y la mano de obra necesaria para esta labor. Los equipos y materiales se detallan a continuación:

Tabla 11 Costos y detalle de equipos necesarios

Equipos Iniciales	Valor
Tanque de mezcla y almacenamiento (con agitador)	\$4,000
Filtro tipo tamiz	\$3,500
Trituradora	\$800
Bomba de lodo	\$1,000
Reactor o biodigestor	\$10,000
Intercambiador de calor	\$3,000
Filtros purificación biogás (x2)	\$1,000
Calefón	\$300
Tanque de almacenamiento de gas (bolsa de gas)	\$1,500
Tanque de almacenamiento de biol (1100Lt)	\$ 183.00
Contador de gas	\$100
SUBTOTAL	\$25,383
Implementos e instalaciones	
Tuberías	\$3,807
Instalaciones eléctricas	\$2,538
Sistema de control	\$3,807
Obra civil	\$5,077
Imprevistos	\$2,538
SUBTOTAL	\$17,768
TOTAL	\$43,151

Los costos de construcción e instalación del sistema, ascienden a \$ 43,151.00. Esta inversión, encuentra su beneficio al momento de determinar los posibles ingresos y el ahorro que genera.

Tabla 12 Costos anuales de funcionamiento del equipo

Servicio	Consumo Hora	Consumo Día	Consumo Mes	Consumo Año	Valor (\$)	Total (\$)
Electricidad (kW)	3.75	90	2700	32400	\$ 0.08	\$ 2,592.00
Agua (m ³)	0.006	0.14	4.2	50.4	\$ 0.43	\$ 21.67
					Total	\$ 2,613.67

Tabla 13 Costos anuales de mano de obra

Mano de obra	\$ 4,452.00
IESS	\$ 641.52
Fondo de reserva	\$ 317.76
Total	\$ 5,411.28

Los costos generales para mantener el equipo funcionando adecuadamente durante el año, ascienden a \$8,024.95.

Tabla 14 Posibles ingresos generados por los subproductos de la biodigestión

Subproducto	Cantidad/ día	Cantidad/ Mes	Cantidad/ año	Precio/Unidad	Ingreso anual
Biogás (kg)	3.6	108	1296	\$ 1.00	\$ 1,296.00
Biol (litros)	239.9	7197	86364	\$ 0.50	\$43,182.00
				Total	\$44,478.00

Se considera la producción de biogás como reemplazo al gas industrial utilizado para los procesos productivos. El sistema genera mensualmente la cantidad equivalente a 7 cilindros de gas comercial de 15kg, evitándose así la compra de este combustible proveniente del continente. Sumado a esto, la producción de

fertilizante líquido orgánico puede ser comercializada, generando un ingreso de \$43,000 anuales y también ser el reemplazo de los fertilizantes químicos utilizados.

Tabla 15 Inversión anual en fertilizantes químicos para mantenimiento de pastizales

Fertilizante químico	kg/ha/ semestre	kg/ha/ año	Hectáreas	Fertilizante anual (kg)	Precio/kg	Total
Urea	181.8	363.6	100	36360	\$ 0.77	\$28,000.00
					Total	\$28,000.00

El mantenimiento de los pastizales, que asegura la adecuada producción de forrajes y una buena nutrición del ganado y, por lo tanto, la producción de leche y carne, es primordial en explotaciones pecuarias. Comúnmente se utiliza urea como fertilizante nitrogenado, aplicándolo semestralmente, a una proporción de 4 quintales por hectárea. Esta inversión en la hacienda representa \$28,000 anuales. Con el sistema funcionando adecuadamente, puede reemplazarse el fertilizante nitrogenado químico por el biofertilizante procedente del sistema, ya que “un metro cúbico de bioabono producido y aplicado diariamente, puede llegar a fertilizar dos hectáreas de tierra por año y proporcionar hasta 200 kg de nitrógeno por hectárea de los cuales estarán disponibles en el primer año de 60 a 70 kg” (Salamanca, 2009). Esto se verá reflejado en una reducción significativa de los egresos anuales por concepto de mantenimiento de pastizales.

Tabla 16 Proyección de ingresos y egresos

	Año					
	0	1	2	3	4	5
Ingresos		\$44,478	\$17,301.90	\$18,167	\$19,075.34	\$20,029.11
Costos Variables		\$36,024.95	\$8,426.20	\$8,847.51	\$9,289.89	\$9,754.38
Depreciación		\$8,630.22	\$8,630.22	\$8,630.22	\$8,630.22	\$8,630.22
Inversión	\$43,151					
Utilidad Bruta		\$(177.17)	\$245.48	\$689.27	\$1,155.24	\$1,644.51

Realizando una proyección a cinco años, se ha considerado que el primer año se mantiene el uso de urea como fertilizante (\$28,000), se vende todo el biol producido (\$43,000) y no se compra gas comercial; desde el segundo año se elimina el costo del fertilizante y los ingresos por concepto de venta de biol se ven reducidos, ya que este reemplazará al fertilizante químico. Se puede asegurar que los costos del sistema son cubiertos al finalizar el primer año de funcionamiento, y que los subproductos aseguran un ingreso mínimo a la granja. El impacto real del sistema de manejo de desechos, se ve reflejado en el costo que representa la destrucción continua del medio ambiente.

Existe una seria dificultad al momento de establecer un valor monetario para el medio ambiente y los daños que se pueden causar a este. Muchos economistas consideran que “el ambiente tiene valor porque cumple con una serie de funciones que afectan el bienestar de las personas...”, que “se ven afectadas positivamente al gozar de un ambiente sano; si se alterara el ambiente se verían afectados negativamente” ([Tomasini, S/A](#)). Tomando en cuenta esta aseveración, se puede decir que el entorno de las Islas Galápagos, es el principal motor económico del archipiélago, ya que es la base fundamental para la existencia de la creciente industria turística. Y también que

la degradación o pérdida de recursos ambientales constituye un problema económico porque trae aparejada la desaparición de valores importantes, a veces de forma irreversible. Cada alternativa o camino susceptible de seguirse respecto de un recurso ambiental (conservarlo en su estado natural, dejar que se degrade o convertirlo para destinarlo a otro uso) redundará en pérdidas o ganancia de valores (...) ([Tomasini, S/A](#)).

De esta manera, se deberá tomar en cuenta los posibles daños que el mal manejo de desechos puede generar en la economía isleña en el mediano y largo plazo, considerándose la lixiviación, escorrentía y contaminación en general de las fuentes de agua que proveen este recurso a la población, y además de las fuentes de agua de las zonas protegidas de la reserva.

La economía de las islas, como ya se analizó anteriormente, se ha centrado en el turismo. Se estima que únicamente cerca del 10% de los ingresos totales del sector turístico de Galápagos queda en la isla, lo que representa una contribución económica de casi \$63 millones, más de \$5 millones mensuales. Este ingreso mensual, supera ampliamente al presupuesto provincial anual destinado a Salud (tres millones) y a Educación (cinco millones). Sumado a esto, diversos estudios han determinado que el sector turístico de todo el Ecuador se ve directamente influenciado por la atracción que genera el Archipiélago de Galápagos a los turistas extranjeros. Se estima que únicamente el 22% de los visitantes extranjeros al país, visitarían Ecuador si no existieran las islas como un destino turístico (Epler, 2007).

Tabla 17 Ingreso anual por concepto de turismo

	Ingreso Mensual	Ingreso Anual	Ingreso Anual Islas (10%)
Turismo	\$ 52,500,000.00	\$ 630,000,000.00	\$ 63,000,000.00

Aunque las cifras parecen altas, jamás se podría establecer efectivamente un valor monetario para ecosistemas de las islas. El mal manejo de desechos y la acción de no cuidar las islas, representarían una pérdida anual de \$630 millones, un valor relativamente bajo dada la gran biodiversidad insular, pero elevado al compararlo con la pequeña inversión y los beneficios del sistema de manejo de desechos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por la diversidad natural y la fragilidad del entorno de las islas, la implementación de sistemas de manejo de desechos orgánicos es una opción necesaria y viable ya que asegura la reducción de los impactos que genera el mal manejo de excretas animales, sobre todo en el agua y en otros medios no menos importantes. Lamentablemente, las condiciones actuales de las explotaciones agropecuarias de San Cristóbal no favorecen la posibilidad de implementar sistemas de biodigestión de materia orgánica y limitan la posible área de acción a una única explotación ganadera que presenta las instalaciones adecuadas y, sobre todo, el interés y la voluntad de colaborar, crecer e iniciar la construcción de un sistema de producción de biogás y biól.

La Hacienda Las Merceditas, tiene un centro de ordeño automático, instalado en una construcción de cemento, con la pendiente y los recolectores adecuados para el correcto flujo de las excretas animales hacia depósitos que facilitan su recolección y transporte al lugar donde se instalaría el biodigestor, mientras que las otras dos explotaciones seleccionadas para el estudio, no presentan ningún tipo de edificación para el ordeño, y mucho menos la organización necesaria para el manejo y transporte de las excretas. Sumado a esto, la tercera hacienda escogida, expreso posteriormente su deseo de terminar sus actividades agropecuarias y vender su propiedad, lo que dificultó más aun la idea de instalar el sistema propuesto.

Uno de los principales problemas que se presentan ante la idea de diseñar e implementar biodigestores en las haciendas ganaderas de la isla, es la falsa cuantificación de los inventarios animales y su cuantificación. Esto, como

consecuencia de las políticas internas, que exigen a los propietarios de las haciendas que tengan sus tierras productivas para mantener sus títulos de propiedad. El efecto inmediato de esto se refleja en los datos del III Censo Agropecuario, que dan cuenta de la existencia de más de 90 haciendas ganaderas con más de 1700 animales, de los cuales únicamente 102 son de aptitud lechera. Cabe anotar que la ganadería escogida para el diseño del biodigestor es la de mayor número de cabezas de ganado en la isla, teniendo 95 animales de ganado lechero. Un buen ejemplo de esta pérdida de información, se pudo observar en la cuantificación de la carga animal de la Hda. Flor de Asalia, donde se obtuvo un valor de 10 animales por hectárea.

Por otro lado, las islas han desarrollado un increíble sistema de reciclaje de desechos orgánicos, lo que facilitaría futuros esfuerzos para obtener energías renovables por medio de estas materias primas. Lamentablemente, estas enseñanzas sobre el buen manejo de desechos no han llegado a la zona alta, donde se concentran todas las explotaciones ganaderas. En todas las explotaciones agropecuarias de la isla, los desechos animales son dejados en el campo, favoreciendo la escorrentía y lixiviación de los elementos dañinos de las excretas. Se debe tomar en cuenta, que aunque las explotaciones ganaderas han sido descuidadas y, en ciertos casos, abandonadas, la necesidad de producir alimentos y asegurar la independencia alimentaria del archipiélago sugiere la posibilidad de un retorno a la actividad, con su respectivo crecimiento. En la actualidad, las explotaciones visitadas generan más de 7000 kg de excretas al día, las mismos que permanecen en los pastizales, caminos, corrales y establos de ordeño, y finalmente son diluidas y diseminadas por las constantes lluvias presentes en la zona.

La construcción e instalación del sistema de biodigestión representa una importante inversión para el productor. Pero por la versatilidad productiva del sistema, esta inversión es recuperada por medio de la venta de biofertilizante, ahorro en consumo de gas comercial, eliminación del uso de fertilizantes químicos para los pastizales y, sobre todo, en el mantenimiento del ecosistema que genera más de \$600 millones de dólares en ingresos a los distintos actores turísticos de la isla. Esta estimación económica del ecosistema, responde únicamente al impacto que tendría su daño sobre los grupos sociales del archipiélago, sin considerar además la reducción al turismo nacional que esto representaría

Si este tipo de sistemas fuera instalado y aprovechado por todas las explotaciones, se eliminaría de manera paulatina la dependencia de diversos sectores productivos del continente, por medio de la producción de combustibles renovables y fertilizantes orgánicos.

La principal recomendación para futuros estudios y proyectos agropecuarios, es la cuantificación correcta de los inventarios animales, con el fin de destinar los esfuerzos a las explotaciones que en realidad tienen las condiciones para los fines establecidos. Además, se debe considerar el desconocimiento por parte de los ganaderos sobre el impacto ambiental que tienen las excretas, y los posibles usos que puede dárseles en beneficio de la propia explotación.

Tomando en cuenta la posibilidad de un nuevo desarrollo ganadero en la isla, se deben plantear proyectos en los que la producción tome una connotación más intensiva que extensiva, que con el adecuado manejo y control de los animales, reduzca el impacto ambiental generado por la ganadería extensiva e invasiva, suscitada desde los inicios de la actividad en la isla. Además, es evidente que la

productividad y, por ende, la rentabilidad de las explotaciones intensivas bien manejadas, es superior a la de las tradicionales, razón suficiente para que los ganaderos se inclinen por esta opción.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. AESA - Alberta Environmentally Sustainable Agriculture Council. 2003. *Manure Management and Greenhouse Gases*. Alberta.
2. Ampudia, María José. 2011. *Investigación de las Condiciones Óptimas y de la Cinética del Proceso de Biodigestión Anaerobia de Desechos Orgánicos Agroindustriales y Estiércol Vacuno*. USFQ. Quito.
3. Arago, Jactone. 2010. *Manure Management and Environmental Stewardsip*. Virginia Cooperative Extension. Virginia.
4. Augustin, Chris y Rahman, Shafiqur. 2010. *Composting Animal Manures: A guide to the process and management of animal manure compost*. NDSU Extension Service. Fargo.
5. Boitin, Tong. 1998. *Integrated Manure and Organic Waste Management System*. Ruegen Demonstration Biogas Project. Germany.
6. Chiriboga, Roberto, Fonseca, B. y Maignan, S. 2006a. *Especies invasoras de las Galápagos: Desarrollo de políticas y estrategias de manejo del sector Agropecuario y su relación con las especies introducidas en la Provincia de Galápagos*. UNPD. Puerto Ayora.
7. Chiriboga, Roberto, Fonseca y B. Maignan, S. 2006b. *Especies invasoras de las Galápagos: Historia de las Relaciones y Elementos de la Reproducción Social Agraria en Galápagos*. UNPD. Puerto Ayora.
8. Epler, Bruce. 2007. *Turismo, economía, crecimiento poblacional y conservación en Galápagos*. Fundación Charles Darwin. Galápagos.
9. Evensen, Carl. 2009. "Livestock Manure Management in the American Pacific Islands". Water Resources Impact 11: 14-17.
10. FAO. 2010a. *Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector*. Animal Production and Health Division.
11. FAO. 2010b. *Agricultura "climáticamente inteligente"*.
12. Fundación Charles Darwin para las islas Galápagos y Fondo Mundial para la Naturaleza. 2002. *Visión para la biodiversidad de las islas Galápagos*. R. Bensted-Smith (ed.), FCD, Puerto Ayora, Galápagos.
13. Fundar – Galápagos. 2009. *Proyecto "Manejo Integral de Desechos sólidos en las Islas Galápagos"*. Galápagos.
14. Halden, Rolf. 2008. *Environmental Impact of Industrial Farm Animal Production*. PEW Commission of Industrial Farm Animal Production. US.

15. House, Harold. 2007. *Alternative Energy Sources – Biogas Production*. London Swine Conference. London.
16. INEC. 2010. *Censo Nacional Agropecuario*.
17. León, Nela y Chico, Juan. 2008. *Estudio de la gestión de desechos sólidos en el cantón Puerto Baquerizo Moreno (Isla San Cristóbal, Provincia de Galápagos)*. ESPOL. Guayaquil.
18. Modak, Shonodeep. 2010. *Making Dairy Power Profitable*. GE Energy.
19. PEW Environment Group. 2010. *Animal Agriculture and Water Pollution. Reforming Industrial Animal Production*. US.
20. Ribaudó, M., Kaplan, J., Christensen, L., Gollehon, N., Johansson, R., Breneman, V., Aillery, M., Agapoff, J., Peters, M. 2003. *Manure Management for Water Quality: Costs to animal Feeding Operations of Applying Manure Nutrients to Land*. USDA. Washington, DC.
21. Salamanca, Jairo Andrés. 2009. *Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de un Biodigestor a Escala Piloto para la Generación de Biogás y Fertilizante Orgánico*. USFQ. Quito.
22. Sandeen, Andrew y Gamroth, Mike. 2003. *Composting An Alternative for Livestock Manure Management and Disposal of Dead Animals*. Oregon State University. US.
23. SIPAE, Sistema de Investigación sobre la Problemática Agraria en el Ecuador. 2007. *Análisis aproximativo a los flujos de productos y elementos del mercado agropecuario en Galápagos*. Ecuador.
24. Tomasini, Daniel. S/A. *Valoración económica del ambiente*. UBA. Argentina.
25. Torsten, U., Larrea, I., Butt, K. y Chitwool, J. 2010. *Waste Management Blueprint for the Galapagos Islands*. WWF. Galápagos.
26. UCS - Union of Concerned Scientists. 2008. *The Hidden Costs of CAFO's*. US.
27. UNEP United Nations Environment Programme. 2011. *Galapagos Islands*. Ecuador.
28. Villa, Angel y Segarra, Pool. 2010. *Changes in land use and vegetative cover in the rural areas of Santa Cruz and San Cristóbal*. PNG Galapagos Report. Galápagos.
29. Watkins, Graham y Cruz, Felipe. 2007. *Galapagos at Risk, A socioeconomic Analysis*. Charles Darwin Foundation. Ecuador.

8. ANEXOS

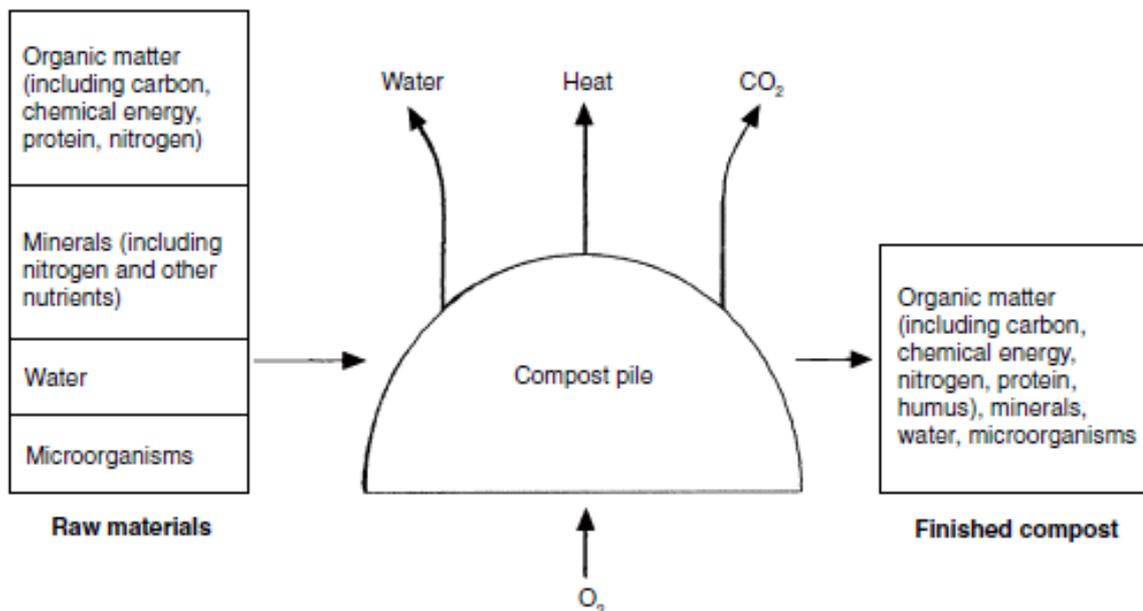


Figure 1.—The composting process. The amounts of carbon, chemical energy, protein, and water in the finished compost are less than in the raw materials. The finished compost has more humus. The volume of the finished compost is 50 percent or less of the volume of raw material. (Source: On-Farm Composting Handbook, NRAES-54, Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service, Cooperative Extension, Cornell University, 1992)

Figura 2 – Diagrama de compostaje en pila ([Sandeem y Gamroth, 2003](#)).

The manure anaerobic digestion biogas-to-energy system

Mass & Energy Balance

Average Figures per Milking Dairy Cow per Day

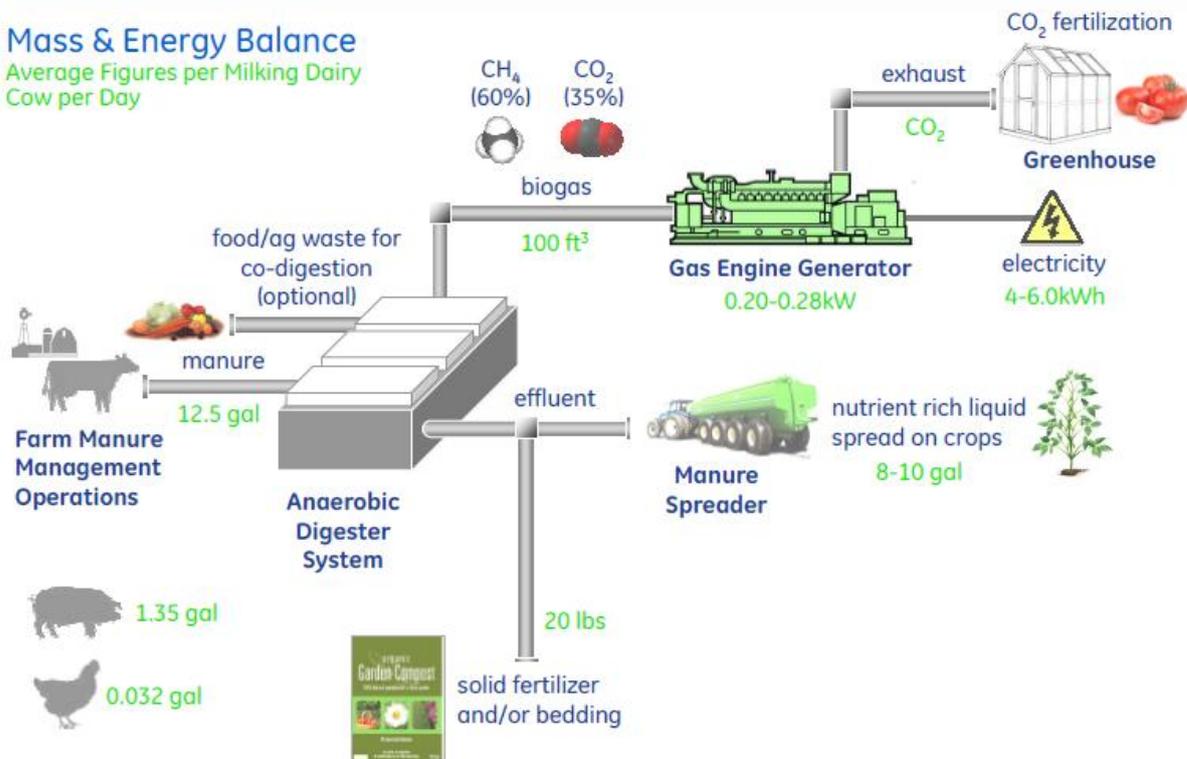


Figura 3 – Sistema de balance masa-energía, en el que se integran todos los sectores productivos. ([Modak, 2010](#))

Figura 4 – Encuesta



Título del Proyecto	EVALUACIÓN DE NECESIDADES TECNOLÓGICAS PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO EN ECUADOR
Consultoría	EVALUACIÓN DE LAS NECESIDADES TECNOLÓGICAS PARA EL MANEJO Y TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS Y LÍQUIDOS EN EL SECTOR GANADERO
Nombre del Participante	
Nombre de la Institución	
Correo Electrónico	
Teléfono / Celular	
Responsable	CTT-USFQ
Duración estimada	6 meses
Preguntas	<p>Situación actual y planes futuros:</p> <p>1) ¿Cuántas cabezas de ganado hay en su zona de influencia?</p> <p>2) ¿Existen planes de crecimiento? ¿A cuántas cabezas?</p> <p>3) ¿Cuál es la carga animal (cabezas / hectárea)?</p> <p>Efectos ambientales / manejo de desechos:</p> <p>4) ¿Conoce acerca de los efectos dañinos que el estiércol no tratado ocasiona al ambiente? Sí ___ No ___ ¿Cuáles?</p> <p>5) ¿Actualmente cuál es el destino final de los desechos orgánicos animales (estiércol) en su zona de influencia?</p>

	<p>6) ¿Considera problemático y costoso deshacerse diariamente del estiércol acumulado en el establo de ordeño?</p> <p>Si ____ No ____</p> <p>¿Por qué?</p> <p>7) ¿Qué cantidades aproximadas se generan diariamente de desechos orgánicos?</p> <p>Tecnologías:</p> <p>8) ¿Conoce Usted sobre tratamientos de los desechos orgánicos animales?</p> <p>Si ____ No ____</p> <p>9) ¿Qué tecnologías de tratamiento y usos de los desechos orgánicos animales conoce?</p> <p>10) ¿Conoce qué productos se pueden obtener con el tratamiento de los desechos orgánicos animales?</p> <p>Si ____ No ____</p> <p>¿Cuáles?</p> <p>11) ¿Ha visto alguna vez un sistema de tratamiento de desechos funcionando?</p> <p>Si ____ No ____</p> <p>12) ¿Estaría interesado en aplicar alguna tecnología para el tratamiento de desechos orgánicos animales?</p> <p>Si ____ No ____</p> <p>¿Cuáles?</p>
<p>Compromiso</p>	<p>¿Cuál es el compromiso del participante?</p> <p>X Firma</p>