

Análisis geográfico para la implantación de sistemas de tratamiento de co-digestión anaerobia de residuos agropecuarios en la provincia de Manabí, Ecuador

Freire Sandy¹, Villamar Cristina Alejandra^{*1}, Zapata Ríos Xavier¹

¹ Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental/Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental/ Escuela Politécnica Nacional
Ladrón de Guevara E11-253 /Pichincha/Ecuador
sandy.freire@epn.edu.ec /
cristina.villamar@epn.edu.ec* /
xavier.zapata@epn.edu.ec

RESUMEN

En el Ecuador, potencialmente se generan alrededor de 140 mil ton/día de residuos pecuarios (porcinos y bovinos) y alrededor de 8,9 ton/ha de cultivos de transición (maíz y arroz). La generación de residuos agropecuarios trae consigo problemas ambientales, sociales y económicos, por lo que su gestión es prioritaria. La co-digestión anaerobia, es una alternativa tecnológica viable porque a partir de los residuos agropecuarios potencia el valor energético (biogás) y agronómico (residuos estabilizados). En el sector rural, la sostenibilidad de las tecnologías de tratamiento de residuos (re-valorización), depende de la disponibilidad permanente de éstos, condición que puede lograrse con plantas centralizadas. El objetivo de este estudio, fue analizar geográficamente la generación de residuos agropecuarios sobre un espacio geográfico definido por ser altamente productivo a nivel productor agropecuario y necesarios para la implantación teórica de plantas de co-digestión anaerobia para residuos agropecuarios locales, mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) y considerando criterios de sustentabilidad. La metodología se basó en el uso de bases de datos agropecuarios y mapas temáticos de la provincia de Manabí, definida previamente como la zona geográfica con mayor potencial de generación de este tipo de residuos en el Ecuador. La información cartográfica y censal utilizó Procesos de Jerarquía Analítica (PJA) para dar peso a ciertas restricciones y álgebra de mapas para establecer restricciones físicas, ambientales, sociales y económicas que permitan delimitar las zonas sustentablemente adecuadas para estos fines. Los resultados obtenidos, permitieron establecer áreas delimitadas en la zona geográfica de estudio, con mayor (> 50 ton Sólidos Volátiles o SV) a menor (< 10 ton SV) potencial energético y agronómico. En conclusión, los modelos geográficos basados en SIG permiten establecer zonas apropiadas para la gestión y planificación en el tratamiento y re-valorización de residuos agropecuarios, es decir es una herramienta eficaz en la toma de decisiones a nivel territorial.

Palabras clave: **co-digestión anaerobia, estiércol animal, residuos de cultivos, análisis GIS.**

ABSTRACT

In Ecuador are potentially generated approximately 140,000 ton/day of livestock waste (pigs and cattle) and about 8.9 tonnes / ha of transitional crops (maize and rice). The generation of agricultural waste cause environmental, social and economic problems,

therefore its management is a priority. Anaerobic co-digestion from agricultural wastes is a viable technological alternative because it increases its energetic value (biogas) and agronomic properties (stabilized waste). In the rural sector, the waste treatment technologies sustainability depends on the permanent availability of these wastes, condition that can be achieved with centralized plants. The objective of this study was to analyze geographically the wastes agriculture generation on a highly productive geographical space at the agricultural level by this productivity activity, in where will theoretically implant anaerobic co-digestion plants using Geographic Information Systems (GIS) and considering sustainability criteria (social, economic and environmental). The methodology was based on the use of agricultural databases and thematic maps of the Manabí province, which has the highest agricultural potential of this type of waste generation in Ecuador. The cartographic and census information used the Analytical Hierarchy Process (AHP) to give weight to certain constraints and maps algebra to establish physical, environmental, social and economic constraints that allow the sustainable delimitation of areas. The results obtained allowed to establish areas delimited within the study area, with greater (> 50 ton Volatile Solids or VS) to smaller (<10 ton VS) energetic and agronomic potential. In conclusion, geographical models based on GIS allow the delimitation of appropriate zones for the management and planning in the treatment and re-valorization of agricultural residues, that is to say it is an effective tool for decision making at territorial level.

Keywords: Anaerobic co-digestion, animal manure, crop residues, GIS analysis.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, gracias a la revolución verde (agricultura) y la ganadera (pecuaria) ha crecido la producción y consumo de cereales y carne en los últimos 30 años (FAO, 1996). Actualmente, países en vías de desarrollo y emergentes (América Sur y Central y Asia), son los principales productores de estos insumos (FAO, 2016). Asia, lidera en producción de carne de ganado primario con casi 125 millones de toneladas de carne en el año 2010 y en producción de arroz con 667 millones de toneladas en el año 2014 (FAOSTAT, 2016). A nivel nacional, la actividad agropecuaria es uno de los ejes primordiales para la economía del Ecuador, pues su participación al PIB (Producto Interno Bruto) Nacional oscila entre el 8 al 9% (Monteros et al., 2015). De acuerdo a la última Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, para los rubros porcino y bovino existen alrededor de 4,12 y 1,64 millones de cabezas de ganado, respectivamente. Mientras, el rendimiento de producción de cultivos transitorios se encuentran en 4,41 y 4,47 ton/ha de arroz y maíz duro seco, respectivamente. Manabí, es una de las provincias con mayor producción agropecuaria, pues genera alrededor de 392 mil ton de cultivos transitorios (arroz y maíz duro seco) y alrededor de 894 mil cabezas de ganado vacuno al año (ESPAC-INEC, 2015).

Dentro de la actividad agropecuaria, la generación de residuos (excretas animales y restos vegetales) puede traer problemas ambientales, sociales y económicos por lo que su gestión es prioritaria (Menzi et al., 2010). Desde el punto de vista ambiental, el uso de excretas animales sin tratamiento en la agricultura, puede causar cambios en las características agronómicas del suelo, toxicidad por la presencia de metales y antibióticos y lixiviación de nutrientes a aguas subterráneas (Herrero y Gil, 2008). Algunos estudios, reportan además que el estiércol aplicado en grandes cantidades como fertilizante en climas áridos y semiáridos conduce a la salinización del suelo debido al alto contenido de cloruro de potasio y sodio (KCl, NaCl) (FAO, 1996). En el agua y por efecto de descarga directa o escorrentía de residuos agropecuarios, existen riesgos de contaminación orgánica, microbiológica y eutrofización (FAO, 1996). El almacenamiento de residuos agropecuarios, es fuente de emisiones a la atmósfera tales como gases de efecto invernadero (CH₄, CO₂, NO₂) y olores (NH₃, COV, etc) (Hristov et al., 2013; Jongbloed y Lenis, 1998). En adición a los daños ecológicos, a escala socio-económica los residuos agropecuarios no tratados pue-

den incidir en la salud pública, molestias, pérdida de calidad de vida y un incremento en costos económicos por reparación ambiental (Osterberg y Wallinga, 2004; Sims y Wolf, 1994).

El tratamiento de los residuos agropecuarios, surge como la herramienta de mitigación y gestión más eficaz dentro del rubro. El componente orgánico, medido como Sólidos Volátiles (SV) y que para residuos pecuarios está entre 48 a 64 kg SV/ton y residuos agrícolas entre 731 a 873 kg SV/ton, favorece el uso de tecnologías de tratamiento biológico (Angelidaki y Ellegaard, 2003). La digestión anaerobia es el proceso de conversión microbiana de la materia orgánica en ausencia de oxígeno para la obtención de biogás (Lettinga, 1995; Flores, 2014). Los principales sub-productos del proceso microbiológico son biogás constituido en casi un 70% por metano, el cual posee valor energético y un residuo tratado-estabilizado con propiedades agronómicas (Ward et al., 2008; Flores, 2014). Los últimos estudios en este ámbito, apuntan a la optimización en la producción del biogás a partir de la mezcla de sustratos orgánicos (Álvarez y Lidén, 2008; Li et al., 2009). La co-digestión anaerobia es el proceso de digestión simultánea de dos o más sustratos para mejorar la producción de biogás, pues las características de los sustratos se complementan de manera que se equilibra la cantidad de nutrientes (Álvarez y Lidén 2008). Durante este proceso, el uso de estiércol animal que es rico en proteínas, otorga una fuente abundante de nutrientes, agua y alcalinidad a la mezcla (Angelidaki y Ellegaard, 2003). Mientras, los residuos vegetales ricos en carbohidratos y otros compuestos carbonáceos como la lignina y celulosa, incorporan una fuente de carbono equilibrando la relación carbono-nitrógeno C:N del estiércol (Atandi y Rahman, 2012). La relación ideal de C:N para llevar a cabo el proceso anaerobio está en el orden de 25-30:1, condición que puede ajustarse al mezclar sustratos (Ward et al., 2008). Estudios al respecto, mencionan que la inclusión de residuos agrícolas en un 30% en procesos de co-digestión anaerobia, incrementan la producción de biogás entre 16 a 65% respecto a la degradación del estiércol por si solo (Kalamaras y Kotsopoulos, 2014; Lehtomäki, et al., 2007; Tufaner y Avşar, 2016).

El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), en el ámbito de manejo de residuos agropecuarios ha sido desarrollado por algunos autores. Basnet et al. (2002), utilizaron esta herramienta para identificar y ubicar residuos agropecuarios a escala de cuenca. En Grecia, se utilizó las herramientas

de SIG para estimar la producción de biogás del estiércol de ganado utilizando datos georreferenciados y se obtuvieron modelos predictivos de la producción de energía disponible y biogás (Batziás et al., 2005). En Asia, se han realizado modelos espaciales mediante la utilización de SIG para evaluar los impactos generados por la producción ganadera (Gerber et al., 2005). En Latinoamérica, algunos estudios hacen una aproximación del uso de SIG para el establecimiento de plantas de tratamiento de residuos agropecuarios con un enfoque de valoración energética (Villamar et al., 2016). Pese a que se han realizado estudios similares en varios países, este tipo de análisis aún no se ha hecho en el Ecuador, considerando el potencial energético y agronómico que tiene nuestro país. Además, no se ha establecido valoración geográfica entre los sub-productos obtenidos (biogás, residuos estabilizados) y las zonas donde es factible utilizarlos. Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo, analizar geográficamente zonas factibles para la implantación de sistemas de tratamiento de co-digestión anaerobia a partir de residuos agropecuarios basándose en criterios de sustentabilidad ambiental, económica y social en una zona geográfica en el Ecuador que reporte mayor producción agropecuaria.

II. MÉTODO

ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio está comprendida por el territorio ecuatoriano. La República del Ecuador se ubica al noroeste de América del sur; el territorio continental se localiza entre las latitudes 01° 28' N (desembocadura del río Mataje) a 05° 02' S (afluencia quebrada San Francisco) y de longitud 75°11' W (confluencia ríos Napo y Aguarico) a 81° 04' (Isla de La Plata). Limita al norte con Colombia, al sur y al este con Perú y al oeste con el Océano Pacífico y tiene una extensión total de 256 370 km² (IGM, 2014). El territorio Ecuatoriano se organiza territorialmente en: Parroquias, las cuales conforman los Cantones, estos las Provincias, y estas a su vez las Regiones Administrativas; cada una de estas entidades y los Distritos Metropolitanos tienen un Gobierno Autónomo Descentralizado, encargado de ejecutar políticas dentro de su ámbito (COOTAD, 2015). Es el octavo país más poblado de Latinoamérica, con alrededor 16,44 millones de habitantes (INEC, 2016). Presenta un clima muy variado debido a la presencia de la cordillera de los Andes y según la influencia del mar, el Ecuador continental se halla climatológicamente dividido en: climas húmedos cálidos, climas subhúmedos y climas secos (Moya, 2006). Ecuador es considerado como uno de los países biológicamente más ricos a nivel mundial ya que cuenta con las más variadas formas de vida en su flora, fauna y microorganismos, en su diversidad genética y en su variedad de ecosistemas (IGM, 2014).

FUENTES DE INFORMACIÓN

La información cartográfica necesaria para este proyecto de investigación fue basada en coordenadas geográficas UTM proyectadas en DATUM WGS84 en la Zona 17S. Los datos espaciales fueron coberturas vectoriales del área de estudio a nivel cantonal y correspondientes a la división administrativa (provincia/cantón/parroquia), densidad poblacional (centros residenciales), cuerpos de agua (ríos y lagunas) y viabilidad (IGM, 2013). Los datos espaciales de coberturas vectoriales del uso de suelo y aptitud agrícola se obtuvieron del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca - MAGAP, SINAGAP (2003).

La información espacial y alfanumérica respecto a la producción de cereales (arroz y maíz) y al número de cabezas de gana-

do porcino, bovino y avícola a nivel parroquial se obtuvieron del Censo Agropecuario disponible en Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca - MAGAP, SINAGAP (2016). Los cálculos de cantidad de materia orgánica y la producción de metano de cada tipo de residuo se basaron en los valores teóricos descritos en la Tabla I. Mientras que el potencial energético se obtuvo a partir de la transformación de 1 m³ de metano equivale a 0,01MW-h descrito por Ishikawa et al. (2006).

TABLA I
VARIABLES CONSIDERADAS PARA LA DETERMINACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LOS RESIDUOS AGROPECUARIOS

RUBRO	CANTIDAD DE RESIDUO (kg/animal d) o (t/ha)	MATERIA ORGÁNICA (kg SV/t)	PRODUCCIÓN DE METANO (m ³ /kg SV)
Avícola	0,1 ⁴	160 ¹	0,3 ¹
Bovino	10 ⁴	160 ¹	0,2 ¹
Porcino	1,5 ⁴	160 ¹	0,3 ¹
Arroz	Variable de acuerdo a cada hacienda ³	81,09% del peso del residuo ²	0,24 ¹
Maíz		94,97% del peso del residuo ⁵	0,24 ¹

Fuente: 1Angelidaki y Ellegaard (2003), 2Jabeen et al. (2015), 3MAGAP, SINAGAP (2016), 4Montalvo y Guerrero (2003), 5Zou et al. (2016).

PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

La selección de la provincia con mayor potencial energético se realizó mediante la comparación de los datos de producción agrícola obtenidos por el MAGAP del año 2016. El análisis de la información geográfica se realizó con el software ArcGIS 10.2.1 de ESRI, considerando ciertos criterios y factores de limitación. Los criterios de limitación de las áreas con disponibilidad de residuos agropecuarios a nivel parroquial, suponen restricciones económicas: proximidad de la planta de co-digestión anaerobia los residuos resultantes de la actividad agropecuaria (Al Seadi, 2000), generación de materia orgánica mayor a 10 toneladas por día y red de energía mediante las líneas de transmisión (Ma et al., 2005). Restricciones sociales: las cuales se enfocan en los problemas potenciales de olores debido a la proximidad de las áreas residenciales y rutas o vías de acceso (Ma et al., 2005; Pan et al., 2007). Restricciones ambientales: que son aquellas zonas protegidas o bosques, cuerpos de agua superficiales cercanas a las plantas de co-digestión (Ma et al., 2005). Finalmente restricciones físicas: comprendidas como zonas de inundación y pendientes del terreno (Ma et al., 2005). Estos criterios son indispensables para la determinación de sitios sustentables y viables para el emplazamiento de tecnologías centralizadas de co-digestión anaeróbica. Adicionalmente, las coberturas económicas se consideraron como factores de importancia a los cuales se asignó su respectivo peso de aceptabilidad de acuerdo al Proceso de Jerarquía Analítica (PJA) descrito por Saaty (1990). El PJA es una herramienta que captura los aspectos cuantitativos y cualitativos de la información que facilita la toma de decisiones multicriterio (Ma et al., 2005). El PJA permite la comparación de las alternativas en pares para asignarles pesos de importancia. La Tabla II resume la escala de intensidad de importancia para la comparación de pares de alternativas de los factores seleccionados.

Los pesos de importancia de los factores económicos fueron sometidos al Radio de Consistencia (RC) determinado por las ecuaciones:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

determina la contribución de toneladas de materia orgánica en la determinación de zonas factibles para la implantación de sistemas de co-digestión anaerobia según su uso de suelo. A nivel de fincas, se observa en la Figura 4 que en la época de invierno para arroz y maíz si se sobrepasa las 10 t SV; mientras que, para la época de verano la cantidad no sobrepasa las 10 t SV para arroz y en maíz solamente se observa que una finca sobrepasa las 10t SV/d. Además, se constata que el cereal que aporta mayor cantidad de materia orgánica es el maíz en época de invierno con valores totales de 3140,6 t SV/d en la provincia. La materia orgánica total proveniente del arroz en el ciclo de invierno fue de 177 t/día para el año 2016. En el tercer cuatrimestre de producción de arroz, la cantidad de SV disminuyó a 7,3 t/d en el total de la provincia de Manabí. Para el caso de maíz en el ciclo de invierno en las parroquias Sucre, Rocafuerte, Calceta y Junín la cantidad de SV sobrepasó las 50 t/d; mientras, que en verano no sobrepasó las 29 t SV/día. Con respecto al uso de suelo los residuos generados por la producción de arroz y maíz potencialmente ocupan zonas con propiedad agropecuaria, debido a que el mayor uso de suelo de la población está destinado a tierras agrícolas. Por otro lado, en el periodo de invierno, tanto el maíz como el arroz se distribuyeron cerca de los cuerpos de agua y ocuparon algunas zonas de bosques.

La Figura 5 resume la distribución de materia orgánica (t SV/d) del estiércol de ganado en la provincia de Manabí a nivel de fincas. Con respecto al estiércol de ganado avícola, la generación de SV no alcanzó las 10 t/d, localizándose en las parroquias: Abdón Calderón, Andrés de Vera, Ángel Pedro Giler, Ayacucho, Bahía de Caraquez, Calceta, Canuto, Chone, Colón, El Anegado, El Carmen, El Colorado, Flavio Alfaro, Jipijapa, Junín, La Pila, Leonidas, Plaza Gutiérrez, Lodana, Montecristi, Picoaza, Ricaurte, Rocafuerte, San Pedro de Suma, Santa Ana, Santa Rita, Sucre y Wilfrido Loor Moreira. Para este rubro, en total se generó 91,3 t SV/d en la provincia de Manabí. Para el rubro porcino la cantidad de SV no sobrepasó las 10 t/d en cada parroquia. La parroquia Wilfrido Loor Moreira generó la mayor cantidad de SV procedentes de ganado porcino con 1,21 t/d, en total se generó 3 t SV/d en la provincia de Manabí. Por otro lado, el ganado bovino se distribuyó a lo largo de toda la provincia de Manabí, pero cada finca no superó las 10 t SV/d. En total, se generó 1.435 t SV/d procedente del ganado bovino en la provincia de Manabí. Además, respecto a la Figura 5 y relacionado con el uso de suelo, el ganado avícola y porcino ocuparon algunas zonas destinadas a tierras agropecuarias; mientras, que el ganado bovino se localizó en zonas de bosques, cuerpos de agua, tierras agropecuarias y en vegetación arbustiva de la provincia de Manabí. Esta condición revela el tipo de actividad pecuaria existente en la provincia, basada en producción intensiva y semi-intensiva de ganado porcino y avícola y de tipo extensiva para el ganado bovino.

Los pesos de importancia de los factores según el PJA obtenidos fueron: 0,64 para el factor de proximidad de los posibles sitios de implantación de sistemas de tratamiento de co-digestión anaerobia a las haciendas; 0,28 para el factor de proximidad a las vías de transporte y 0,07 para el factor proximidad a las líneas de transmisión de energía. Se determinó que el factor que tiene un gran peso de importancia es la proximidad de los posibles sitios de implantación de sistemas de tratamiento de co-digestión anaerobia a las haciendas; mientras que la proximidad a las líneas de transmisión de energía representa un menor peso de importancia en comparación con los otros dos factores: proximidad a las haciendas, proximidad a las vías de transporte.

Las Figuras 6 y 7 describen las zonas factibles en función de las restricciones físicas, económicas, sociales y ambientales para la implantación de sistemas de tratamiento de co-digestión anaerobia en época de invierno y verano respectivamente en la provincia de Manabí. Las restricciones físicas están comprendidas por las pendientes mayores al 15% y por las zonas de inundación. Las restricciones económicas están comprendidas por las distancias menores a 200 metros de la red de energía (líneas de transmisión), proximidad de las haciendas y terrenos de agricultura a las zonas factibles y las cargas de residuos mayores a 10 t SV/d. Las restricciones sociales están comprendidas por la distancia a las zonas pobladas debido a la generación de olores y distancia a los caminos. Finalmente, las restricciones ambientales definidas por las áreas correspondientes a cuerpos de agua dulce (ríos y lagunas), áreas de protección ambiental (bosques) y aguas subterráneas no permeables. En total las zonas no restringidas en época de invierno se localizan en 30 parroquias al sur de la provincia de Manabí y corresponde a un área de 1524,3 km² (8%) de la provincia. En época de invierno las zonas no restringidas o de factibilidad se localizan en la parroquia de Portoviejo ocupando un área de 33,35 km² (0,17%) de la provincia como lo indica la Figura 7.

Con respecto al potencial de generación de energía procedente de los residuos agropecuarios en las zonas factibles para la implantación de sistemas de tratamiento de co-digestión anaerobia en la provincia de Manabí en invierno y verano respectivamente se obtuvo que el mayor potencial energético lo aportan los cereales (arroz y maíz) con 7582,7 MW-h de energía a partir de biogás, seguidamente el ganado bovino con 1155 MW-h, luego el ganado avícola con 195 MW-h y por último el ganado porcino que aporta con 4,1 MW-h de energía a partir de biogás. En total en la época de invierno en las parroquias factibles a ser implantados dichos sistemas de tratamiento se generarían 8937,2 MW-h de energía procedente de los residuos agropecuarios. Mientras que en la época de verano la parroquia de Portoviejo aporta con 10,5 MW-h a la provincia de Manabí.

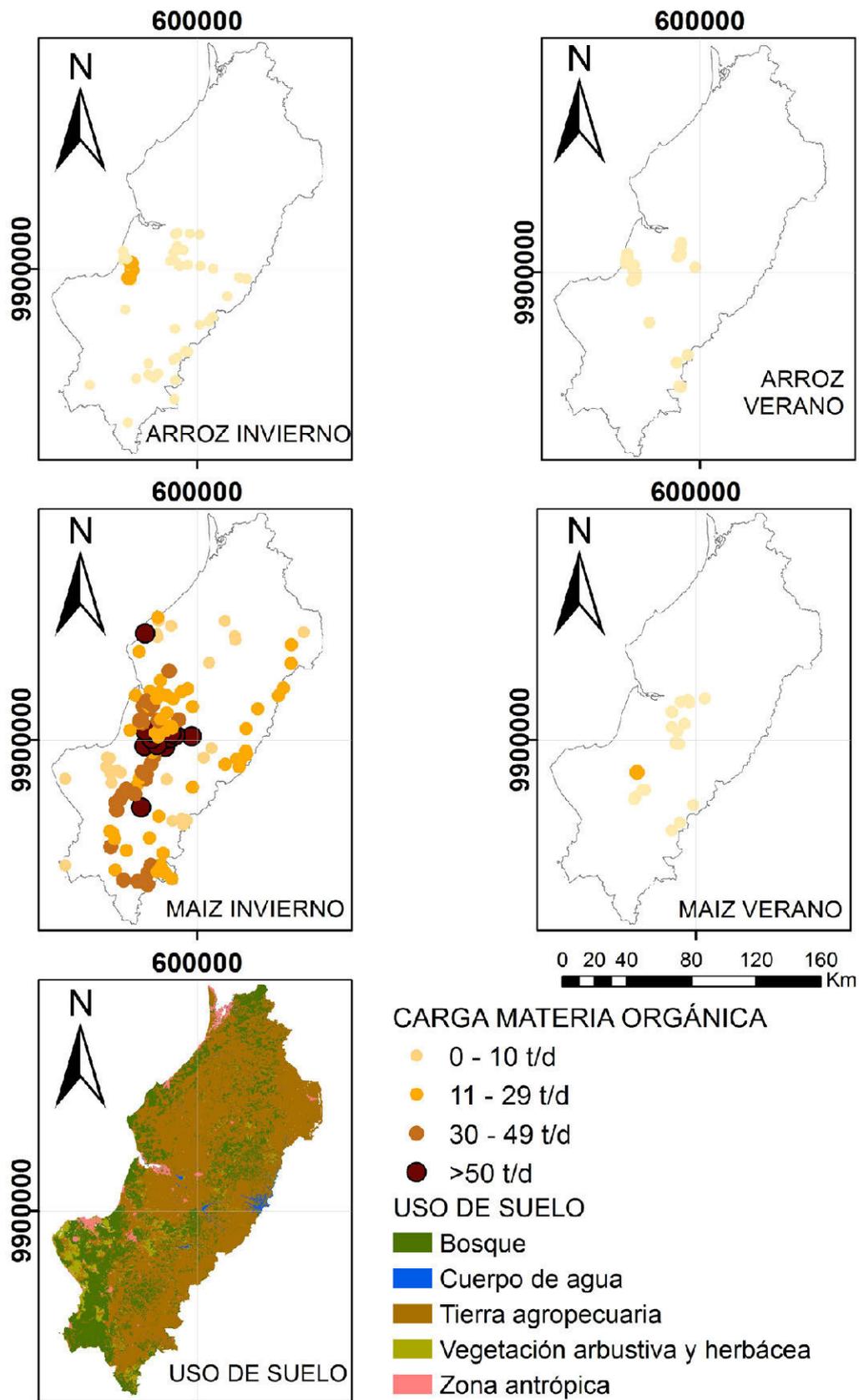
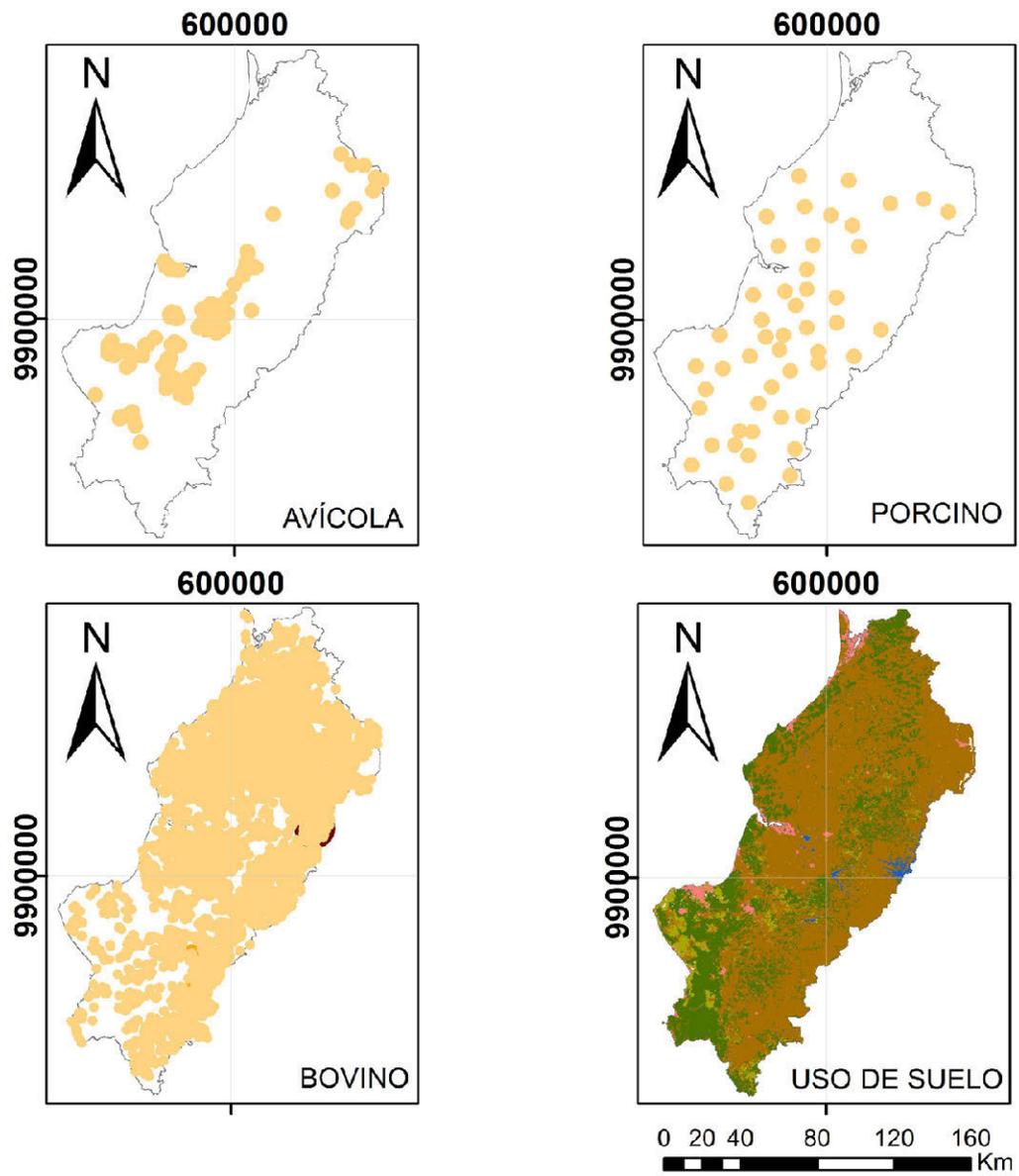


Figura 4. Distribución en invierno y verano del contenido de materia orgánica de cereales en fincas en la provincia de Manabí expresado en toneladas por día (representado en círculos) y uso de suelo a nivel de la provincia de Manabí.



TONELADAS DE SÓLIDOS VOLÁTILES

- 0 - 10
- 11 - 29
- 30 - 49
- >50

USO DE SUELO MANABI

- Bosque
- Cuerpo de agua
- Tierra agropecuaria
- Vegetación arbustiva y herbácea
- Zona antrópica

Figura 5. Distribución de materia orgánica en toneladas por día de ganado avícola, bovino y porcino en Manabí (representado en círculos) y uso de suelo en esta provincia

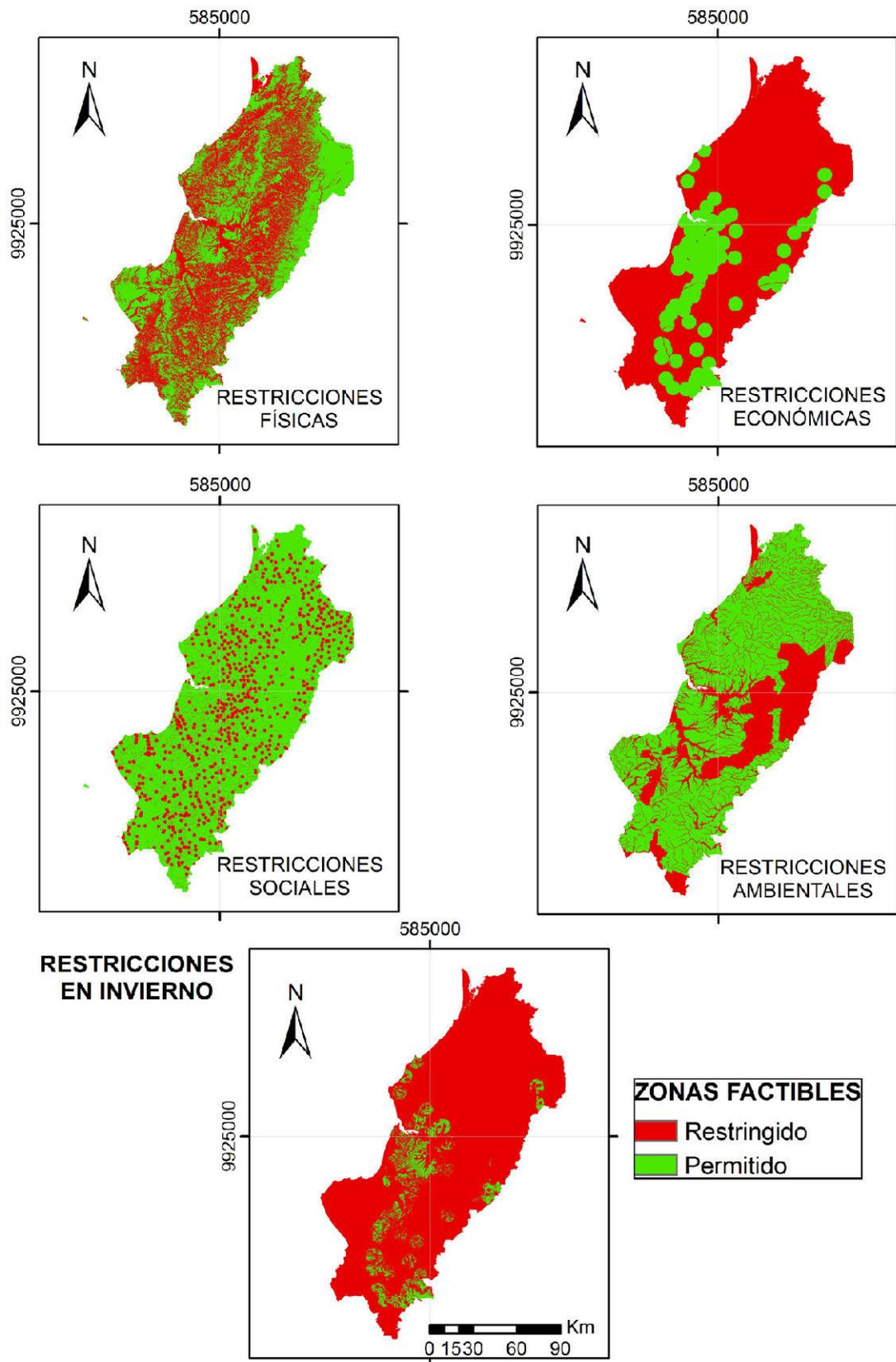


Figura 6. Zonas factibles en función de las restricciones físicas, económicas, sociales y ambientales para la implantación de sistemas de tratamiento de co-digestión anaerobia en época de invierno en Manabi

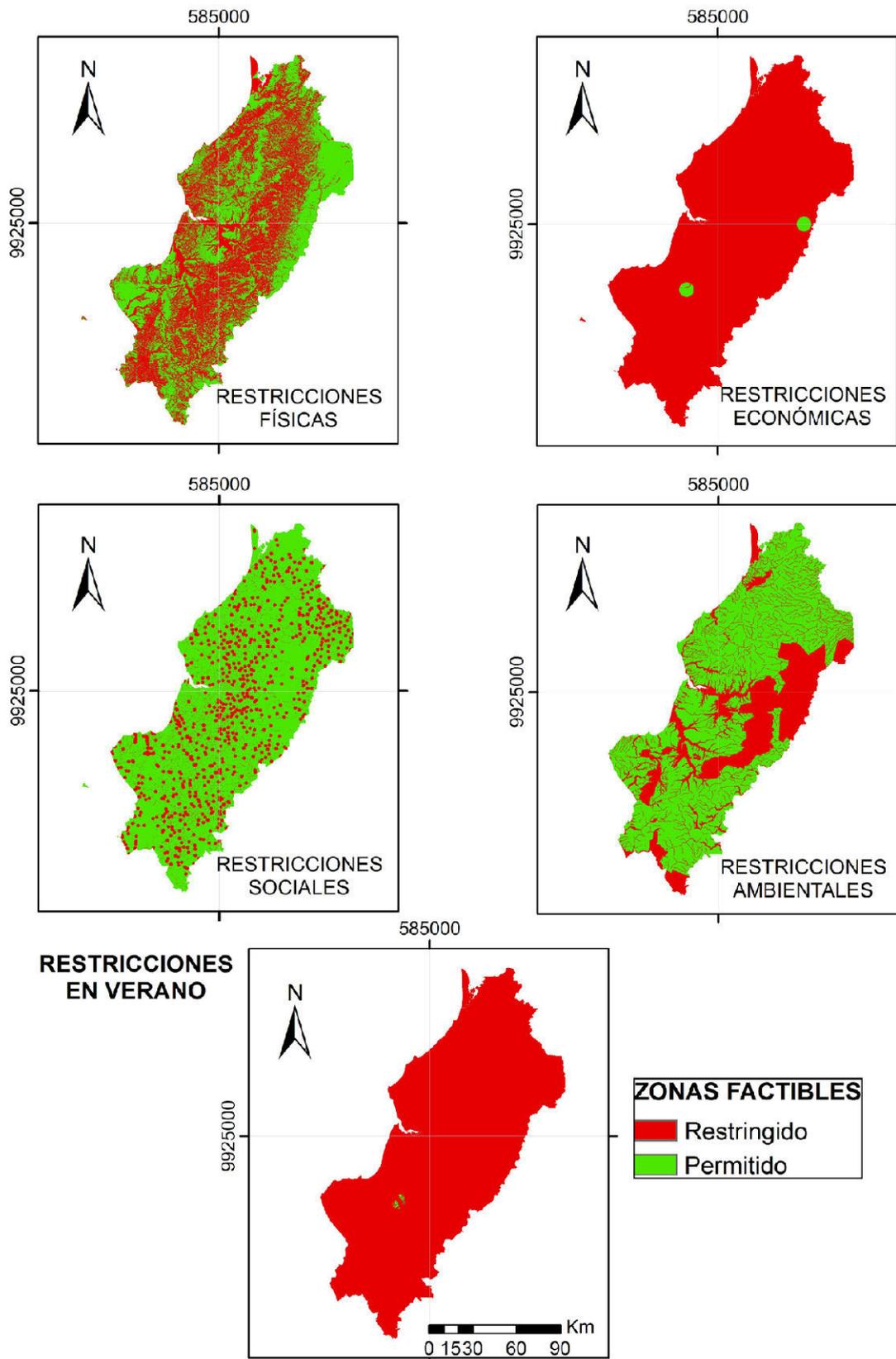


Figura 7. Zonas factibles en función de las restricciones físicas, sociales, económicas y ambientales para la implantación de sistemas de tratamiento de co-digestión anaerobia en época de verano en Manabí

IV. CONCLUSIONES

La provincia de Manabí es la más adecuada para la re-valorización de residuos agropecuarios a partir de co-digestión anaerobia, pues consta con la mayor superficie de labor agropecuaria a nivel nacional y su producción agropecuaria con respecto a cereales y ganadería es representativa del total nacional. Adicionalmente, en Manabí existe una mayor producción de materia orgánica de residuos provenientes del maíz en la época de invierno, los cuales sobrepasan las 50 toneladas de SV por día en las parroquias Sucre, Rocafuerte, Calceta y Junín. Mientras, que el ganado bovino lidera en producción total de materia orgánica en toda la provincia de Manabí, pues su distribución cubre casi toda la provincia. La razón radica que en producción ganadera, Manabí lidera a nivel nacional. El ganado bovino, en esta provincia ocupa zonas importantes de vulnerabilidad ambiental como cuerpos de agua y bosques, lo cual implica un estudio posterior enfocado a tratamiento que no considere este espacio físico en la provincia.

Con respecto a la importancia de los factores, la proximidad de las haciendas a las zonas factibles de implantación de sistemas de sistemas de tratamiento de co-digestión anaerobia de residuos agropecuarios tiene un gran peso de importancia frente a los factores de proximidad a las vías de transporte y líneas de transmisión de energía porque la materia orgánica

que aporta cada hacienda debe estar lo más próxima posible a los sistemas de tratamiento para que haya una mayor generación de energía y aprovechar al máximo la materia orgánica.

Las zonas establecidas como factibles o de sustentabilidad para la implantación de sistemas de tratamiento de co-digestión anaerobia representan el 8% del área total de la provincia de Manabí en invierno y el 0,17% de la superficie de la provincia en época de verano. Esta gran diferencia se debe a que en época de invierno existe mayor facilidad y acceso a los recursos naturales como el agua y suelo agrícola, mientras que en verano se evidencia la disminución de zonas factibles por la baja producción agropecuaria.

El potencial de generación de energía a partir de biogás en las zonas factibles, correspondió a 8937,2 MW-h en la época de invierno. Mientras que en la época de verano la parroquia de Portoviejo aporta con 10,5 MW-h a la provincia de Manabí.

Por lo tanto, este estudio geográfico preliminar en donde se identificó y cuantificó el potencial de generación de residuos agropecuarios en Manabí, abre oportunidades respecto a identificar las zonas factibles sustentablemente para la implantación de sistemas de co-digestión anaerobia, siendo una fácil herramienta de toma de decisiones en la gestión geográfica de los residuos agropecuarios.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación fue realizado con la colaboración del Grupo de Investigación en Tecnologías Ambientales (GITA).

REFERENCIAS

- Angelidaki, I. y Ellegaard, L. (2003). Codigestion of manure and organic wastes in centralized biogas plants. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 109, 95-105.
- Al Seadi, T. (2000). Danish Centralised Biogas Plants-Plants descriptions. Bioenergy Department, University of Southern Denmark, 27pp.
- Álvarez, R. y Lidén, G. (2008). Anaerobic co-digestion of aquatic flora and quinoa with manures from Bolivian Altiplano. *Waste management*, 28(10), 1933-1940.
- Atandi, E. y Rahman, S. (2012). Prospect of anaerobic co-digestion of dairy manure: a review. *Environmental Technology Reviews*, 1(1), 127-135.
- Basnet, B. B., Apan, A. A., Raine, S. R. (2002). Geographic information system based manure application plan. *Journal of Environmental Management*, 64(2), 99-113.
- Batzias, F. A., Sidiras, D. K. y Spyrou, E. K. (2005). Evaluating livestock manures for biogas production: a GIS based method. *Renewable Energy*, 30(8), 1161-1176.
- COOTAD. Registro Oficial Suplemento 303 de 19-oct.-2010. TITULO II: Organización del territorio. Quito, Ecuador, 16 de enero de 2015
- ESPA-INEC, Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2015). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua- ESPAC 2015. Recuperado de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/> (revisado: febrero, 2017).
- FAO-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1996). Enseñanzas de la revolución verde: hacia una nueva revolución verde. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/003/w2612s/w2612s06.htm> (revisado: mayo, 2017).
- FAO-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1996). Environmental Impact of Animal Manure Management. Recuperado de <http://www.fao.org/WAIRDOCS/LEAD/X6113E/x6113e00.htm#Contents> (revisado: abril, 2017).
- FAO-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009). El estado mundial de la agricultura y la alimentación: La ganadería a examen. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/012/i0680s/i0680s00.htm> (revisado: diciembre, 2016).
- FAO-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2016). La Ganadería y el medio ambiente. Recuperado de <http://www.fao.org/livestock-environment/es/> (revisado: diciembre, 2016).
- FAOSTAT. (2016). Compare data [Gráfico]. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/en/#compare> (revisado: febrero, 2017).
- Flores, T. (2014). Evaluación del comportamiento del proceso de digestión anaerobia, de las aguas residuales del matadero municipal de Cochabamba Rada & Asociados S.A (tesis de pregrado). Universidad del Valle, Cochabamba, Bolivia. 5-11.

- Gerber, P., Chilonda, P., Franceschini, G., Menzi, H. (2005). Geographical determinants and environmental implications of livestock production intensification in Asia. *Bioresource Technology*, 96(2), 263-276.
- Herrero, M., Gil, S. (2008). Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. *Ecología austral*, 18(3), 273-289.
- Hristov, A.N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A., Yang, W., Tricarico, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J., Oosting, S. (2013). Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera - Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO₂. Editado por Pierre J. Gerber, Benjamin Henderson y Harinder P.S. Makkar. *Producción y Sanidad Animal* FAO Documento No. 177. FAO, Roma, Italia. 1-6.
- IGM-Instituto Geográfico Militar. (2013). Cartografía de libre acceso. Recuperado de: <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/descargas/cartografia-de-libre-acceso/> (revisado: diciembre, 2016).
- IGM-Instituto Geográfico Militar. (2014). Contextos históricos y políticos generales. *Atlas Geográfico de la República del Ecuador*, 2013, 19-28.
- IGM-Instituto Geográfico Militar. (2014). El medio ambiente. *Atlas Geográfico de la República del Ecuador*, 2013, 245-250.
- INEC-Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2016). Contador poblacional. Recuperado de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/>
- Ishikawa, S., Hoshiba, S., Hinata, T., Hishinuma, T., Morita, S. (2006). Evaluation of a biogas plant from life cycle assessment (LCA). *International Congress Series*, 1932, 230-233.
- Jabeen, M., Zeshan, Yousof, S., Haider, M. R. y Malik, R. N. (2015). High-solids anaerobic co-digestion of food waste and rice husk at different organic loading rates. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 102, 149-153.
- Kalamaras, S. D., y Kotsopoulos, T. A. (2014). Anaerobic co-digestion of cattle manure and alternative crops for the substitution of maize in South Europe. *Bioresource Technology*, 172, 68-75.
- Lehtomäki, A., Huttunen, S., y Rintala, J. A. (2007). Laboratory investigations on co-digestion of energy crops and crop residues with cow manure for methane production: Effect of crop to manure ratio. *Resources, Conservation and Recycling*, 51(3), 591-609.
- Lettinga, G. (1995). Anaerobic digestion and wastewater treatment systems. *Antonie van Leeuwenhoek*, 67(1), 3-28.
- Li, R., Chen, S., y Li, X. (2009). Anaerobic Co-digestion of Kitchen Waste and Cattle Manure for Methane Production. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 31(20), 1848-1856.
- Ma, J., Scott, R., DeGloria, S., Lembo, A.J. (2005). Siting analysis of farm-based centralized digester systems for distributed generation using GIS. *Biomass and Bioenergy*, 28, 591-600.
- Menzi, H., Oenema, O., Burton, C., Shipin, O., Gerber, P., Robinson, T. y Franceschini, G. (2010). Impacts of Intensive Livestock Production and Manure Management on the Environment. *Island Press*, 1, 1-26.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca - MAGAP, SINAGAP. (2003). Catálogo de Datos-Metadatos. Recuperado de: http://geoportal.agricultura.gob.ec/catalogo_datos/visualizador.html
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca - MAGAP, SINAGAP. (2014). Censos y Encuestas: III Censo Nacional Agropecuario, Censos Sectoriales: avícola, florícola y Censo de Impacto de Invierno 2012. Recuperado de: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/index.php/resultados-censo-provincial> (revisado: diciembre, 2016).
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca - MAGAP, SINAGAP. (2016). Catálogo de Datos-Metadatos. Recuperado de: http://geoportal.agricultura.gob.ec/catalogo_datos/visualizador.html (revisado: enero, 2017).
- Montalvo, S y Guerrero, L. (2003). Tratamiento anaerobio de residuos. Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Monteros, A y Salvador, S. (2015). Panorama Agroeconómico Del Ecuador Una Visión Del 2015. Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información MAGAP, 1-16.
- Moya, R. (2006). Climas del Ecuador. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología -INAMHI-, 1-10.
- Osterberg, D., y Wallinga, D. (2004). Addressing Externalities from Swine Production to Reduce Public Health and Environmental Impacts. *American Journal of Public Health*, 94(10), 1703-1708.
- Pan, L., Yang, S.X., DeBruyn, J. (2007). Factor analysis of downwind odours from livestock farms. *Biosystems Engineering*, 96(3), 387-397.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 48(1), 9-26.
- Sims, J. T., y Wolf, D. C. (1994). Poultry Waste Management: Agricultural and Environmental Issues. *Advances in Agronomy*, 52, 1-83.
- Tufaner, F., y Avşar, Y. (2016). Effects of co-substrate on biogas production from cattle manure: a review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(9), 2303-2312.
- Villamar, C. A., Rivera, D., y Aguayo, M. (2016). Anaerobic co-digestion plants for the revaluation of agricultural waste: Sustainable location sites from a GIS analysis. *Waste Management & Research: The Journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, 34(4), 316-326.
- Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., y Jones, D. L. (2008). Optimization of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource Technology*, 99(17), 7928-7940.
- Zou, S., Wang, X., Chen, Y., Wan, H. y Feng, Y. (2016). Enhancement of biogas production in anaerobic co-digestion by ultrasonic pretreatment. *Energy Conversion and Management* 112, 226-235.