



Determinación del potencial de biogás a nivel nacional

Elaborado por: M.Sc. Víquez, Joaquín Ing.

Julio, 2017
San José, Costa Rica

Tabla de contenido

1. Introducción	3
2. Metodología	3
3. Resultados	5
3.1. Café	5
3.2. Palma aceitera	6
3.3. Banano	7
3.4. Piña	8
3.5. Estiércol porcino	9
3.6. Estiércol ganado vacuno	10
3.7. Estiércol aves de corral	12
3.8. Residuos de la caña	13
3.9. Cítricos	14
3.10. Residuos urbanos	15
3.11. Resumen	16
4. Conclusiones	18
5. Referencias bibliográficas	18

1. Introducción

La generación de energías limpias aporta a la Estrategia de Desarrollo Adaptado y Bajo en emisiones en el país. Esta tecnología contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, orienta y fortalece a las actividades agropecuarias para enfrentar los impactos del cambio climático.

Por lo tanto, la Asociación Costarricense de Biogás (ASOBIOGAS), gracias a la cooperación internacional, por medio del apoyo técnico y financiero que brinda la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) en Costa Rica, pretende desarrollar una estimación **del potencial de biogás a partir de residuos agropecuarios** en Costa Rica.

Los objetivos de este trabajo son:

- Determinar el potencial teórico a nivel nacional de los residuos agrícolas orgánicos, las aguas residuales de la agroindustria y las aguas residuales de tipo de ordinario para la producción de biogás.
- Identificar y describir los sistemas de digestión anaerobia para el tratamiento de residuos agrícolas orgánicos y aguas residuales agroindustriales existentes en el país.

2. Metodología

El estudio toma en cuenta únicamente sustratos de origen orgánico con potencial de fermentación que produzca metano; por ejemplo, se omite el aserrín por su poca conversión a metano. Aunque los residuos analizados no son recolectados actualmente, aún se consideran residuos con alto potencial como el rastrojo de la piña. La información está particionada por:

- **Sector:** El sector corresponde a la industria de la cual proviene el residuo considerado, por ejemplo, en la broza de café, el sector es “café”.

Los sectores considerados para este estudio fueron:

1. para cultivos: **café, caña de azúcar, piña, cítricos, palma aceitera, y banano**, que corresponden a 66,67% del área cultivada en Costa Rica (Roldan, 2012).
2. Estiércol de animales, principalmente de ganado vacuno (**carne, leche y doble propósito**), **avícola y porcino**.

3. Se adicionó el sector “urbano” equivalente a **residuos orgánicos domiciliarios**, y **aguas residuales de origen domiciliarios (tipo ordinario)**.
 4. Se omitieron aguas residuales de origen industrial (incluyendo lodos primarios y secundarios), por falta de información del sector.
- **Zona:** En caso de que la información estuviera disponible, cada estimación del potencial de metano fue zonificado según zonas de referencias utilizadas comúnmente en Costa Rica, que corresponden a: Central, Chorotega, Brunca, Huetar Norte, Huetar Caribe, y Pacifico Central (ver Ilustración 1).



Ilustración 1. Zonificación utilizada para el potencial de metano.

- **Tipo de residuo:** El tipo de residuo corresponde al “nombre” entregado al residuo en estudio, por ejemplo “broza” corresponde a la broza o broza del sector “Café”. Un sector en particular puede tener más de un tipo de residuo. Por ejemplo, café tiene la broza como también el mucílago.

Adicionalmente se mencionan algunos supuestos o herramientas utilizadas:

- **Fuentes de información:** Para medir el potencial de cada sector, se tomaron datos de fuentes estadísticas de los diferentes sectores disponibles en línea; no se realizaron entrevistas personales. La información disponible puede tener alrededor de 5 años de vigencia.
- **Forma de calcular:** La estimación para el cálculo de potencial en la hoja de cálculo de Excel adjunto a este informe, es de la siguiente forma:
 - a) El dato base es la cantidad (A) (columna F) del sector en estudio. Por ejemplo, en Pococí (Huetar Caribe) se produjeron 334.206 tonMF¹ de banano/año.
 - b) Luego se multiplica el parámetro de la cantidad (A) x el factor de generación de residuo (B) (Columna I) según el tipo de residuo. Por ejemplo, en el Sector Banano, se genera pinzote con un factor de 0,094 tonMF.pinzote/tonMF.banano; es decir que para el área Pococí perteneciente a la región Huetar Caribe se generó 334.206 tonMF de banano y también generó (334.206 x 0,094) 31.415,36 tonMF.pinzote/año.
 - c) El dato de la cantidad del tipo de residuo (tonMF/año) se multiplica por el contenido de sólidos totales (ST), luego por su contenido de sólidos volátiles (SV_{bs}), y finalmente, se multiplica por su rendimiento de metano (m³CH₄/kg SV). Siguiendo el ejemplo del pinzote, este puede generar:

$$\frac{314.415,36 \text{ tonMF banano}}{\text{año}} \times 8\% \text{ ST} \times 80,5\% \text{ SV}_{bs} \times 0,256 \frac{\text{m}^3 \text{CH}_4}{\text{kg SV}} \times \frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} = 517.926,25 \frac{\text{m}^3 \text{CH}_4}{\text{año}}$$

3. Resultados

A continuación, se presentan los resultados del potencial de producción de metano de los diferentes sectores analizados. La información por cada sector presenta únicamente la estructura del sector, el producto principal, la materia prima y su forma de industrialización. Para conceptualizar el origen de los residuos, luego se detallan las características de los residuos generados de ese sector. Al final de esta sección se presentan los resultados finales de producción de metano por sector, por tipo de residuo y por zona en Costa Rica.

¹ Entiéndase la expresión de la unidad de medida “tonMF” como tonelada métrica de materia fresca.

3.1. Café

- **Estructura del sector a nivel nacional:** Producción en pequeña y mediana escala, centralización del fruto para industrialización (beneficiado), vía cooperativas, asociaciones y empresas privadas.
- **Producto principal:** El principal producto de la industria de café es el grano de oro.
- **Materia prima:** Café fruta.
- **Forma de industrialización (beneficiado):** El café fruta es “chancado” o desbrozado (generando la **1. Broza**). El grano, aún con mucílago es de-mucilaginado (generando **2. Mucílago**). El grano es luego lavado y secado (café pergamino), para luego ser pelado (grano de oro).
- **Subproductos esperados:**
 - A. Broza.**
 - ✓ **Descripción.** Exocarpio de la fruta o cereza del café. Se estima que el 43,6% de la fruta cosechada es broza (Viquez Arias, 2014). Se utiliza como base que una fanega de café, equivale a 253 kg de café fruta (MF).
 - ✓ **Características físicas.** Tiene un contenido de 19,56% de ST y 83,7% de SV_{bs}. Su rendimiento de metano es de 197,5 L CH₄/g SV (Viquez Arias, 2014).
 - B. Mucilago.**
 - ✓ **Descripción.** Mesocarpio de la fruta o cereza del café. Se estima que el 14,9% de la fruta cosechada es mucílago (Viquez Arias, 2014).
 - ✓ **Características físicas.** Tiene un contenido de 7,5% de ST y 82,27% de SV_{bs}. Su rendimiento de metano es de 300,75 L CH₄/g SV (Viquez Arias, 2014)



Ilustración 2. Broza de café (1) y mucilago de café (2).

Fuente: (1) <http://academic.uprm.edu/mmonroig/id59.htm>, (2) Viquez, J.

3.2. Palma aceitera

- **Estructura del sector a nivel nacional:** Según Rodríguez Muñoz (2010) existen 2.106 productores, de los cuales 42% del área cultivada está en fincas con extensiones que superan las 250 ha y un 44% en fincas con extensiones inferiores a las 21 ha. Además, el 31% está en manos de cooperativas, 40% Palma Tica y el 29% restante en productores independientes.

Las zonas de mayor producción son Pacífico Sur (4 plantas extractoras de aceite), Pacífico Central (2 plantas extractoras) y zona Atlántica (1 planta extractora). (Cámara Nacional de Productores de Palma, 2017).

- **Producto principal:** El producto principal es el aceite crudo de palma, el cual 65% se exporta, mientras que el 35% se consume como 1) manteca (64%), margarina (13%), aceites (10,5%) y otros (12,5%) (Rodríguez Muñoz, 2010).
- **Materia prima:** La materia prima es la fruta de la palma aceitera. Actualmente se produce 17,5 ton de fruta/ha.año, y existen aproximadamente 52.600 ha de palma aceitera en CR (equivalente a 863.200 ton de fruta / año) (Rodríguez Muñoz, 2010).
- **Forma de industrialización:** El proceso industrial de extracción del aceite de palma consiste en esterilizar las frutas, desgranarlas, macerarlas, extraer el aceite de la broza, clarificarlo y recuperar las almendras del bagazo resultante. Adicionalmente, de las almendras se obtienen dos productos: el aceite de palmiste y la torta de palmiste (Rodríguez Muñoz, 2010).

El agua de efluente se genera durante el proceso de clarificación del aceite crudo (proveniente del prensado), además de aguas del proceso de separación dentro de la cáscara y la almendra (proveniente del rompimiento de la nuez) (Duarte, 2006).

- **Subproductos esperados:**

A. Efluente o agua residual del proceso

- ✓ **Descripción:** El agua residual es viscosa de un color café. Se estima que se genera 0,834 m³ de efluente/tonMF de fruta fresca, o bien 3,63 ton efluente/ton de aceite crudo (Roldan, 2012).
- ✓ **Características físicas:** Contiene 95-96% de agua, 0,6-0,7% de aceite, y 4-5% de ST. Es ácida (pH 4-5), caliente (80-90 °C) y con alto contenido de DQO (50.000 mg/L), con un rendimiento de metano de 0,31 m³ CH₄/kg DQO (Najafpour, 2006).



Ilustración 3. Agua residual generada de la industria de la palma aceitera.

Fuente: <https://www.shutterstock.com/video/search/green-effluent>

3.3. Banano

- **Estructura del sector a nivel nacional:** La industria bananera costarricense cuenta con dos organizaciones gremiales, que agrupan a la mayor parte de los productores bananeros costarricenses. ANAPROBAN es la Cámara de Productores Bananeros Independientes, que agrupa especialmente a aquellos productores de capital costarricense, y la Cámara Nacional de Bananeros (CANABA), es una entidad gremial que agrupa a gran parte de productores bananeros, tanto de capital nacional como extranjero (Corbana, 2017).
- **Producto principal:** El producto principal es el banano de exportación. Los datos de área sembrada y cantidad de producción están disponibles en la Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (se toman los datos disponibles para el año 2016).
- **Materia prima:** La materia prima es el racimo de banano. Actualmente existe aproximadamente 42.416 ha de banano en Costa Rica (equivalente a 1.588.742 ton de fruta / año) (Roldan, 2012).
- **Forma de industrialización:** El proceso industrial de banano es muy sencillo. La fruta se recolecta y se lleva a la planta de empaque. Aquí se lava, desmana (1. Generación del **pinzote**), se vuelve a lavar, se selecciona (2. generación de **banano de rechazo**), se delecha, se fumiga y se empaca (Corbana, 2017).
- **Subproductos esperados:**
 - A. **Pinzote**
 - ✓ **Descripción:** Es el vástago o tallo del racimo de banano. Es largo, con alto contenido de humedad y fibras. Muy utilizado para la fabricación de papel. Se estima que se genera 0,094 ton de pinzote por ton de banano producido (Roldan, 2012).

- ✓ **Características físicas:** El pinzote se estima que contiene 7,95% de ST y 80,53% de SV_{bs} (Zhengyun, 2013), con un potencial de metano de 0,256 m³ CH₄/kg SV (Khan, 2009).

B. Banano de descarte

- ✓ **Descripción:** Es banano que no tiene calidad para exportación ni tampoco tiene salida para consumo nacional. Típicamente puede ser utilizado para alimentación animal. Se estima que se genera 0,114 ton de banano de rechazo por ton de banano producido (Roldan, 2012).
- ✓ **Características físicas:** El banano tiene de ST 11,51% y de SV_{BS} 88,52% (Zhengyun, 2013), con un potencial de metano de 0,367 m³ CH₄/kg SV (Khan, 2009)



Ilustración 4. (1) Pinzote de banano, (2) banano de descarte

Fuente: (1) <https://lisafindley.com/tag/lek-chailert/>

3.4. Piña

- **Estructura del sector a nivel nacional:** Actualmente existe aproximadamente 43.000 ha de piña en Costa Rica, equivalente a 1.858.599 ton de fruta / año (CANAPEP, 2017).
- **Producto principal:** El producto principal es piña fresca de exportación. Los datos de área sembrada y cantidad de producción están disponibles en (CANAPEP, 2017).
- **Materia prima:** La materia prima es la fruta de la piña.
- **Forma de industrialización:** El proceso industrial de piña es sencillo. La fruta se recolecta y se lleva a la planta de empaque. En la planta se lava y se pre-selecciona. La piña de descarte se descorona (1. Producción de **corona**). La piña no descartada, a una parte se le elimina la corona (1.

Producción de **corona**). Toda la piña es luego cerada, empacada y refrigerada para exportación. En el campo, luego de 27 meses de producción, la planta de piña es eliminada para una nueva plantación (2. producción de **rastrojo** de piña). (Viquez J., 2013)

- **Subproductos esperados:**

- A. Rastrojo**

- ✓ **Descripción:** Es el cultivo de la piña, que luego de su ciclo productivo, es eliminado para una nueva siembra. Se estima una producción de 0,63 kg de rastrojo por kg de piña producida. Esta estimación se basa en una densidad de siembra de 60.000 plantas/ha, con un peso de la planta de 2,86 kg/planta y 60% (parte superior); además de un rendimiento de piña de 70 t/ha-año en Costa Rica (Viquez, J; Viogaz; 2013).

- ✓ **Características físicas:** Se estima que el rastrojo tiene de 9,9% ST y 93,2% SV_{bs} , con un potencial de metano de $0,279 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg SV}$ (Viquez, J; Viogaz; 2013).

- B. Corona**

- ✓ **Descripción:** Es la parte superior de la piña, que para algunos casos es removido según exigencias de mercado. Se estima que por cada tonMF de piña generada, se produce 0,003 tonMF de corona (Roldan, 2012).

- ✓ **Características físicas:** La corona se estima contiene ST de 14,1% y de 83,8% SV_{bs} , con un potencial de metano de $0,263 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg SV}$ (Viquez, Joaquin (Viogaz), 2013).



Ilustración 5. (1) Rastrojo de piña y (2) corona de piña
Fuente: (1) y (2). Viquez, J.

3.5. Estiércol porcino

- **Estructura del sector a nivel nacional:** En la actualidad existen alrededor de 3.500 productores² de cerdos ubicados en todo el país, los cuales abastecen el 90% del consumo nacional con una producción de más de 700 mil cabezas anuales (Carrillo, Castro, & Urbina, 2014).
- **Producto principal:** Los productos principales de esta actividad son cerdos de engorde, o bien lechones al destete para venta a otras fincas de engorde. (Carrillo, Castro, & Urbina, 2014).
- **Materia prima:** La materia prima en la producción porcino es principalmente alimento concentrado, con algunos medicamentos. Algunas fincas alimentan con desperdicios orgánicos.
- **Forma de industrialización:** El cerdo es producido principalmente en fincas medianas o grandes, aunque el número de fincas de subsistencia o pequeñas son la mayoría. Las aproximadamente 3.589 fincas, comercializan en pie directo a 18 mataderos del país (a través de intermediarios), para su procesamiento en las 46 plantas de deshuese y su venta en 3.625 comerciantes detallistas (Ministerio de Economía, Industria y Comercio, 2015).
- **Subproductos esperados:**
 - A. **Estiércol**
 - ✓ **Descripción:** Materia sólido, con alto contenido de humedad, pero consistencia “sólida”. Está disponible usualmente en forma líquida como se muestra en la Ilustración 6, pues el estiércol es lavado en las granjas. La cantidad de estiércol se basa en la población porcina estimada por INEC, 2014. Se estima un peso promedio de 50 kg por cerdo y un % de excreción de 5,8% por peso vivo (PV), siendo esto el equivalente a 1,06 tonMF de estiércol por cerdo al año.
 - ✓ **Características físicas:** El estiércol, sin el agua de lavado, se estima tiene ST de 15% y SV de 83%_{bs} (Roldan, 2012) con un potencial de metano de 0,27 m³ CH₄/kg SV (Summary of Laboratory Results from KTBL-Workgroup "Biogaserträge", 2015)

² Según el Censo Agropecuario 2014, indica que existen 14.355 fincas porcinas. (INEC, 2014)



Ilustración 6. Aguas residuales de la industria porcina

Fuente: Víquez, J.

3.6. Estiércol ganado vacuno

- **Estructura del sector a nivel nacional:** Conformado principalmente por pequeños y medianos productores agropecuarios. Existen un aproximado de 45.782 fincas ganaderas en el país, con 59% dedicadas a la producción de leche (17.400 a doble propósito y 9.558 a lechería especializada) (Madriz, 2013). Para la estimación de este potencial, se dividió en:
 1. Vacuno.Leches
 2. Vacuno.2Propósito y
 3. Vacuno.Carne.
- **Producto principal:** El producto principal del sector vacuno es la carne de res y la leche.
- **Materia prima:** La materia prima de producción es principalmente pasto producido en las mismas fincas de producción, e insumos como alimento concentrado, medicamento y otros.
- **Forma de industrialización:** El 60% de la leche es industrializada formalmente. El 70% de esta se convierte en leche fluida y polvo, procesada por 7 principales empresas lácteas, y 133 plantas pequeñas de lácteos registradas en Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA) (Madriz, 2013) La carne es industrializada localmente.

- **Subproductos esperados:**

- A. Estiércol de ganado Leche – Vacuno. Leche**

- ✓ **Descripción:** Materia sólido, con alto contenido de humedad, pero consistencia “sólida”. Está disponible usualmente en forma “líquida” como se muestra en la Ilustración 7 pues el estiércol es barrido y lavado en las instalaciones. La cantidad de estiércol se asume un 7,38% de excreción (400 kg PV) (Viquez J., 2009), y un tiempo de recolección de 24 horas para efectos de potencial máximo; el real dependerá del tiempo de estabulado de los animales, siendo esto un total de 10,77 tonMF/año.animal.
 - ✓ **Características físicas:** El estiércol, sin el agua de lavado, se estima tiene ST de 12,5% (Viquez J., 2009) y 83% SV_{bs} (US Environmental Protection Agency, 2017) con un potencial de metano de 0,15 m³ CH₄/kg SV (Summary of Laboratory Results from KTBL-Workgroup "Biogaserträge", 2015).

- B. Estiércol de ganado de doble Propósito – Vacuno.2 Propósito**

- ✓ **Descripción:** Materia con alto contenido de humedad pero consistencia “sólida”. Está disponible usualmente en forma de “líquida” como se muestra en la Ilustración 7, pues el estiércol es barrido y lavado en las instalaciones. La cantidad de estiércol se asume un 7,38% de excreción (Viquez J., 2009), y un tiempo de recolección de 24 horas para efectos de potencial máximo; el real dependerá del tiempo de estabulado de los animales, siendo esto un total de 10,77 tonMF/año.animal.
 - ✓ **Características físicas:** El estiércol, sin el agua de lavado, se estima tiene ST de 12,5% (Viquez J., 2009) y 83% de SV_{bs} (US Environmental Protection Agency, 2017) con un potencial de metano de 0,15 m³ CH₄/kg SV (Summary of Laboratory Results from KTBL-Workgroup "Biogaserträge", 2015)

- C. Estiércol de ganado de carne. Vacuno. Carne**

- ✓ **Descripción:** Materia sólido, con alto contenido de humedad, pero consistencia “sólida”. Está disponible usualmente en forma “líquida” como se muestra en la Ilustración 7 pues el estiércol es barrido y lavado en las instalaciones. La cantidad de estiércol se asume un 7,38% de excreción (Viquez J., 2009) y un tiempo de recolección de 24 horas para efectos de potencial máximo, el real dependerá del tiempo de estabulado de los animales, siendo esto un total de 10,77 tonMF/año.animal.

- ✓ **Características físicas:** El estiércol, sin el agua de lavado, se estima tiene ST de 12,5% (Viquez J., 2009) y 83% SV_{bs} (US Environmental Protection Agency, 2017) con un potencial de metano de 0,15 m³ CH₄/kg SV (Summary of Laboratory Results from KTBL-Workgroup "Biogaserträge", 2015)



Ilustración 7. Estiércol barrido en finca lechera.

Fuente: Viquez, J.

3.7. Estiércol aves de corral

- **Producto principal.** El producto principal es la producción de carne y huevo.
- **Materia prima.** La materia prima es principalmente alimento concentrado y medicamento.
- **Forma de industrialización.** Las aves, depende del sistema de producción (carne o huevo), son producidas en corrales estabulados, colocadas en jaulas o libres en el suelo sobre granza de arroz.
- **Subproductos esperados.**

A. Estiércol avícola

- ✓ **Descripción:** Materia sólido, con alto contenido de humedad, pero consistencia "sólida". Está disponible usualmente en forma sólida como se muestra en Ilustración 8 pues el estiércol es recogido hasta el final del periodo, o bien recogido diariamente (minoría); la pollinaza en su defecto es recolectada al final del periodo de cosecha y está mezclado con granza de arroz. La cantidad de estiércol se asume un 0,0365 tonMF/animal.año (Williams, sf).

- ✓ **Características físicas:** El estiércol de ave, se estima tiene ST de 26,3% y 76% SV_{bs} (Lorimor, Powers, & Sutton, 2004), con un potencial de metano de 0,198 m³ CH₄/kg SV (Summary of Laboratory Results from KTBL-Workgroup "Biogaserträge", 2015).



Ilustración 8. Estiércol avícola.

Fuente: Víquez, J.

3.8. Residuos de la caña

- **Estructura del sector a nivel nacional:** La industria de la caña está organizada por medio de la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA). Existen cerca de 13 Ingenios (LAICA, 2013) que procesan caña de +10.000 entregadores, provenientes principalmente de Guanacaste y Zona Sur (69,5%). El 54% de las zonas pertenecen a los mismos ingenios, mientras que el 46% restante son de agricultores. (Chaves Solera, 2009)
- **Producto principal:** Los productos principales de la industria son Azúcar Crudo, Azúcar Blanco de plantación, Azúcar de alta polarización, y Melaza. (Central Azucarera Tempisque, 2017). El 38% aproximadamente de la melaza se va para etanol (producción de vinaza). (Chaves Solera, 2009)
- **Materia prima:** El tallo de la caña de azúcar es la materia primera del proceso. (LAICA, 2013)
- **Forma de industrialización:** La caña es molida para extraer el jugo, el cual luego es clarificado, generando el bagazo y la cachaza. Luego el jugo clarificado es evaporado y se promueve la formación de cristales de azúcar. Seguidamente es colada para extraer finalmente el azúcar

blanco o crudo, el refino y por otro lado la melaza. Este último, puede ser fermentado para la producción de alcohol. (Central Azucarera Tempisque, 2017)

- **Subproductos esperados:**

- A. Cachaza**

- ✓ **Descripción:** Es una sustancia marrón, compuesta por sacarosa, azúcares simples, coloides coagulados, cera y fibra de caña, todos subproductos del proceso de clarificación del jugo de caña por medio de la sulfitación. Según (Mornadini & Quaia, sf), se genera 0,04 Tm de cachaza por tm de caña procesada (4%).
 - ✓ **Características físicas:** La cachaza tiene un contenido de ST promedio de 30% (Roldan, 2012), y contenido de SV de aproximadamente 85%. El rendimiento de metano de 0,1 m³ CH₄/kg SV (Hernández & Tabla, 1999)

- B. Vinaza**

- ✓ **Descripción:** La vinaza es un líquido derivado de la destilación del vino resultante de la fermentación de jugos o mieles. Se produce 3,25 m³ de vinaza por tonelada de melaza fermentada, o bien 0,13 m³ de vinaza por tonelada de caña procesada para alcohol. (Mornadini & Quaia, sf); otro dato es 12,5 L vinaza / L de alcohol producido (Jose & Molina, 1992), (Baez-Smith, 2006). En Costa Rica el alcohol es producido actualmente en tres unidades fabriles: TABOGA, CATSA y PUNTA MORALES. Para vinaza solo se considera Taboga y CATSA, pues Punta Morales procesa alcohol hidratado. Los datos de alcohol producido son de la zafra 2005-2006 (Chaves, 2006).
 - ✓ **Características físicas:** La vinaza es una sustancia color claro, ácida, con temperaturas entre 65 y 105°C, con un DQO de 20.000 y 6.000 mg/L, DBO de 17.000-50.000, ST entre 6-9%, dependiendo si se produce con miel o jugo de caña, 85-90% de SV_{bs}, y un rendimiento de metano de 0,3 m³ CH₄/kg de DBO₅ (Baez-Smith, 2006).



Ilustración 9. Aplicación de vinaza en cultivo de caña

Fuente: (Alfaro & Ocampo, sf)

3.9. Cítricos

- **Estructura del sector a nivel nacional:** Según el Programa Nacional de Naranja, se encuentran involucrados con la actividad más de 4.055 productores, de los cuales en su mayoría son pequeños y medianos productores con una participación del 40% de la superficie total del cultivo; concentrados en Huetar Norte, Chorotega, Brunca y Central Occidental, Sur y oriental. Aproximadamente el 87 % de la producción de la fruta fresca que se produce en el país se destina a la industria, concentrada en dos plantas: TicoFruit y El Oro (Jimenez, 2012).
- **Producto principal.** Los productos principales de la industria son la fruta fresca y el jugo concentrado (Jimenez, 2012).
- **Materia prima:** La materia primera del proceso es la naranja, y otros cítricos.
- **Forma de industrialización.** La fruta es recolectada y procesada en dos plantas industriales. Primero se extrae el jugo que lleva un proceso de concentración para la producción de broza. A la cáscara se le extraen aceites esenciales y el restante es deshidratado y convertido en alimento animal (Linnenberg, Hernandez, Amador, & Víquez, 2012).

- **Subproductos esperados.**

- A. **Cáscara de naranja**

- ✓ **Descripción y características:** Es un material sólido, semi seco, con 15% de ST (Roldan, 2012), 85% de SV y un rendimiento de 0,27 m³CH₄/kg SV (Raposo, 2012). Se utilizaron datos únicamente de la producción de cascara de cítricos de Ticofrut al ser la única fuente disponible de información (Linnenberg, Hernandez, Amador, & Viquez, 2012).



Ilustración 10. Ejemplo de la broza o cáscara de naranja.

Fuente: (Linnenberg, Hernandez, Amador, & Viquez, 2012)

3.10. Residuos urbanos

- **Estructura del sector a nivel nacional:** Los residuos urbanos, son 1) los **residuos orgánicos domiciliarios** corresponden a la fracción orgánicos de los residuos generados por los costarricenses. Actualmente, los residuos son recolectados y depositados, según vertedero, botadero o relleno sanitario disponible en la zona. Y 2) las **aguas residuales de origen domiciliario o municipal** se generan con las actividades comunes de los costarricenses; actualmente son tratadas por diferentes vías, desde tanque sépticos, hasta plantas de tratamiento.
- **Producto principal.** N/A.
- **Materia prima:** N/A
- **Forma de industrialización.** N/A

- **Subproductos esperados.**

- A. Residuos orgánicos domiciliarios**

- ✓ **Descripción:** El residuo orgánico domiciliario corresponde a la fracción orgánica (55%) de todos los residuos generados por la población costarricense, estimando 1,2 kg por persona diarias (Gobierno de CR, 2016).
 - ✓ **Características:** Es tradicionalmente mezclado con los otros residuos del hogar (papel, video, cartón, entre otros). Separado, es un residuo orgánico, con un contenido de ST de 15%, con un contenido de SV de 80% bs, con un potencial de metano de 0,25 m³ CH₄/kg SV (Raposo, 2012).

- B. Aguas residuales domiciliarias**

- ✓ **Descripción:** Son las aguas residuales (aguas negras y grises) generadas diariamente por la población; no se considera las aguas residuales de negocios, comercios o industria. Se estima que se generan cerca de 120 L de agua residual por persona al día. (Eddy, 2003)
 - ✓ **Características:** Son aguas residuales, altamente diluidas, principalmente con residuos de jabón, y materia orgánica por excreta de humano. Tiene un contenido de DQO de 350 mg/L con un potencial de metano de 0,25 m³ CH₄/kg DBO (Eddy, 2003)

3.11. Resumen

Según el análisis de los datos, Costa Rica tiene el potencial de producción de **377.589.185 m³ de CH₄ al año**, equivalente a más de 1 millón de m³ de metano al día. Convertidos en potencia eléctrica, es el equivalente 165 MW. Las siguientes gráficas muestran un resumen de este potencial:

% DE PARTICIPACIÓN POR ZONA

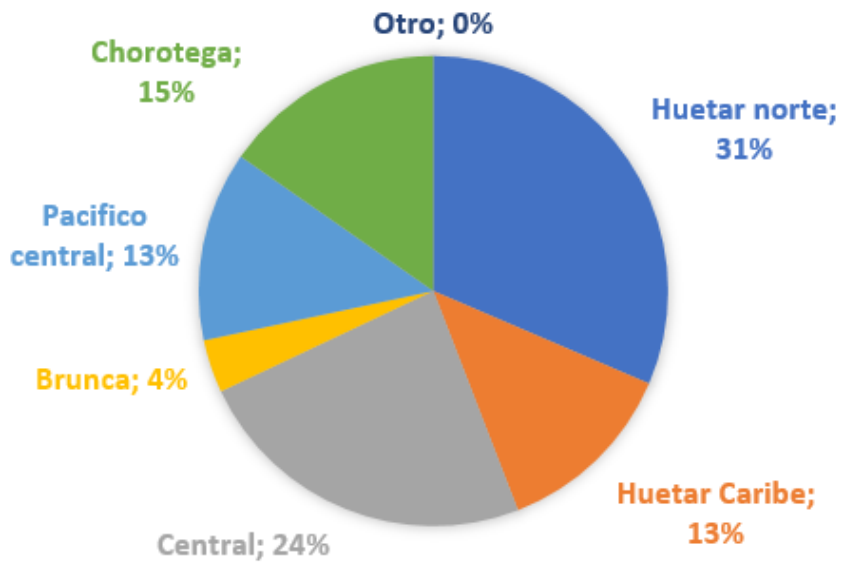


Ilustración 11. Participación porcentual en el potencial de metano por zona en Costa Rica.

Fuente: Elaboración propia.

% DE PARTICIPACIÓN POR SECTOR

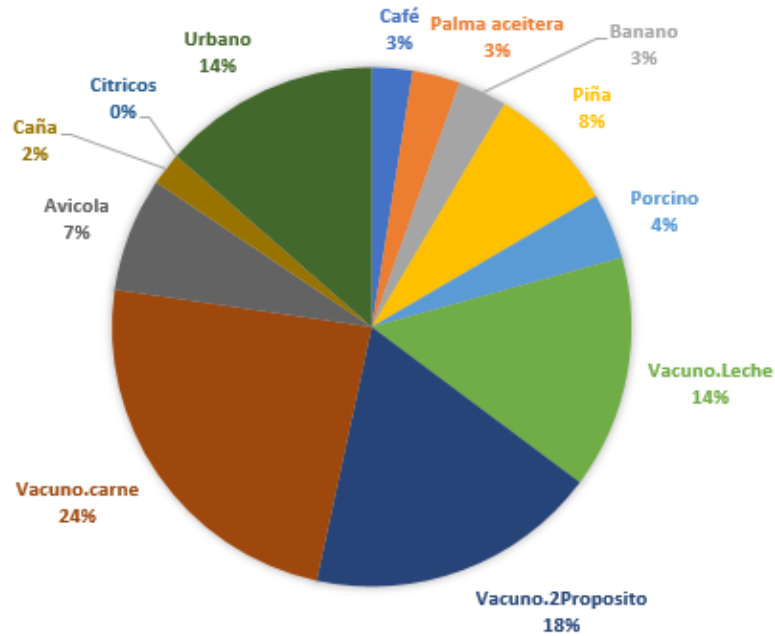


Ilustración 12. Participación porcentual en el potencial de metano por sector en Costa Rica.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 13. Participación porcentual en el potencial de metano por tipo de residuo en Costa Rica.

Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusiones

- Existen un potencial de producción de metano superior al millón de m³ de CH₄ diariamente en Costa Rica.
- Las zonas Huetar norte, Central y Chorotega representan las zonas de mayor potencial, sumando un 71%.
- El sector ganadero, específicamente el vacuno tiene el mayor potencial, sumando más del 56% del potencial máximo entre el ganado de leche, doble propósito y de carne.
- Coherente con el punto anterior, el sustrato de estiércoles en general (porcino, vacuno y avícola), suman casi el 70% del potencial máximo de producción de metano en Costa Rica.
- Este estudio, realiza un análisis del potencial total, en base a la producción de sustrato de un sector en particular, sin embargo, no realiza una diferenciación entre la disponibilidad y calidad

de este sustrato, para la producción de metano en sí. Por citar un ejemplo, el sector vacuno, aunque altamente potencial, su disponibilidad es cuestionada al estar disperso en el campo.

5. Referencias bibliográficas

- INEC. (2014). *VI Censo Nacional Agropecuario*. San Jose: Gobierno de la Republica.
- Alfaro, R., & Ocampo, R. (sf). *Cambios Físico-Químicos provocados por la Vinaza en un Suelo Vertisol en Costa Rica*. DIECA.
- Baez-Smith, C. (2006). Anaerobic Digestion of Vinasse for the Production Of methane in the sugar cane distillery. *SPRI Conference on Sugar Processing*, (págs. 268-287).
- Camara Nacional de Productores de Palma. (16 de julio de 2017). *Canapalma*. Obtenido de <http://www.canapalma.cr/index.php/novedades/8-noticias/20-estratificacion-de-los-productores-segun-extension-de-tierra-4>
- CANAPEP. (16 de Julio de 2017). Obtenido de <https://canapep.com/estadisticas/>
- Carrillo, J. M., Castro, A., & Urbina, A. (2014). *La ganadería en el contexto agroalimentario, la generación de empleo y los retos del cambio climático: hacia una nueva política de sostenibilidad competitiva*. Ministerio de Agricultura.
- Central Azucarera Tempisque. (29 de Julio de 2017). Obtenido de <https://www.catsa.net/como-trabajamos/area-industrial/fabricacion-del-azucar/>
- Chaves Solera, M. (2009). *Actualidad del Sector Azucarero Costarricense*. Grecia, Alajuela, Costa Rica: LAICA.
- Chaves, M. (2006). Antecedentes de la producción de etanol en Costa Rica. *XVI Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI)*. Heredia.
- Corbana. (16 de Julio de 2017). *Corbana*. Obtenido de <http://www.corbana.co.cr>
- Coto Chinchilla, O. (2013). *Evaluación de la Generación de Residuos Agrícolas Orgánicos (RAO) en Costa Rica e Identificación de Sector Prioritario*. San Jose: FITTACORI.
- Duarte, S. (2006). *Estudio de factibilidad técnico, económico y ambiental para el aprovechamiento de biogás producido del tratamiento del fuente de palma aceitera*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Eddy, M. &. (2003). *Wastewater engineering: treatment and reuse*. McGraw-Hill.
- Gobierno de CR. (2016). *Plan Nacional para la gestión integral de residuos*. San José: Ministerio de Salud.

- Hernández, A., & Tabla, Y. (1999). Generación de biogás a partir de cachaza con diferentes características. *Tecnología Química*, Vol. 19, no. 1.
- Jimenez, J. F. (2012). *Cadena Agroalimentaria de cítricos*. Puriscal: Ministerio de Agricultura de Costa Rica.
- Jose, F., & Molina, E. (1992). Efecto de la aplicación de vinaza en la producción de caña de azúcar y las características de suelos guanacastecos. *Agronomía Costarricense*, 55-60.
- Khan, M. T. (2009). Anaerobic digestion of banana waste, a potential source of energy in Uganda. *Proceedings Tropentag (2009): International Research and Food Security*.
- LAICA. (2013). *Resultados agroindustriales finales de la zafra 2012-2013*. San Jose: LAICA.
- Linnenberg, C., Hernandez, C., Amador, R., & Víquez, M. (2012). *Estudio de factibilidad para un biodigestor industrial para TicoFrut*. San José.
- Lorimor, J., Powers, W., & Sutton, A. (2004). *Manure characteristics*. Iowa: Iowa State University.
- Madriz, J. A. (2013). Situación Actual y Perspectivas del Sector Lácteo costarricense. *20° Congreso Nacional Lechero*. Heredia: Cámara Nacional de Productores de Leche.
- Ministerio de Economía, Industria y Comercio. (2015). *Estudio sobre el mercado porcino en Costa Rica*. San Jose: Gobierno de la República.
- Mornadini, M., & Quaia, E. (sf). Alternativas para el aprovechamiento de la vinaza como subproducto de la actividad sucroalcoholera. *Avance Agroindustrial*, 1-11.
- Najafpour, G. D. (2006). High-rate anaerobic digestion of palm oil mill effluent in an upflow anaerobic sludge-fixed film bioreactor. *Process Biochemistry*, 41(2), 370-379.
- Raposo, F. D.-C. (2012). Anaerobic digestion of solid organic substrates in batch mode: an overview relating to methane yields and experimental procedures. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 861-877.
- Rodríguez Muñoz, G. (2010). *Análisis del desempeño de la cadena productiva de la palma aceitera, 2004-2008*. San Jose: Secretaría Ejecutiva de Planificación.
- Roldan, C. (2012). *Informe de capacidad de energías limpias disponibles en Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria. (16 de Julio de 2016). *Boletín Estadístico Agropecuario N°26*. Abril: Ministerio de Agricultura de Costa Rica. Obtenido de <http://www.infoagro.go.cr/BEA/BEA26/BEA26.pdf>
- (2015). *Summary of Laboratory Results from KTBL-Workgroup "Biogaserträge"*. Austria.

- US Environmental Protection Agency. (24 de julio de 2017). *Common Manure Handling Systems*. Obtenido de https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/ag_101_agriculture_us_epa_0.pdf
- Viquez Arias, J. (2014). Rendimiento de la producción de metano a partir de pulpa y mucilago de café (coffea arabica). *UTN Informa.*, 16-21.
- Viquez, J. (2009). Producción y caracterización de excreta. *ECAG Informa*, 54-56.
- Viquez, J. (2013). *Estudio de factibilidad para la producción de electricidad utilizando biogás generado a partir de corona, rastrojo y fruto de la piña*. Heredia: Viogaz.
- Viquez, Joaquin (Viogaz). (2013). *Estudio de rendimiento de metano de rastrojo y corona de piña*. Heredia: Viogaz.
- Williams, C. M. (sf). Poultry waste management in developing countries. *Poultry Development Review*, 1-2.
- Zhengyun, Z. R. (2013). Biogas Yield Potential Research of the Wastes from Banana Manufacturing Process under Mesophilic Anaerobic Fermentation. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 4740-4744.