

Biotempo (Lima)



<https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Biotempo>

ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

ANAEROBIC BIODIGESTION OF MUSACEAE RESIDUES: ECUADOR CASE

BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA DE RESIDUOS DE MUSACEAS: CASO ECUADOR

Alex Solano-Apuntes¹; Wilmer Ponce-Saltos² & Freddy Zambrano-Gavilanes^{3*}

¹ Instituto de Posgrado, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador. E-mail: apsolanoa@hotmail.com

² Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, INIAP Estación Experimental Portoviejo, Laboratorio de Bromatología y Calidad de los Alimentos, Portoviejo, Manabí, Ecuador. wilmer.ponce@iniap.gob.ec

³ Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador. E-mail: freddyzg_86@hotmail.com

*Corresponding author: freddyzg_86@hotmail.com

Alex Solano-Apuntes: <https://orcid.org/0000-0002-0947-7441>

Wilmer Ponce-Saltos: <https://orcid.org/0000-0002-4250-5184>

Freddy Zambrano-Gavilanes: <https://orcid.org/0000-0003-0004-9122>

ABSTRACT

Ecuador is a country where three sectors with bioenergy potential have been identified: firstly, agriculture, with products such as rice, bananas, cocoa, coffee, sugar cane, hard corn, African palm, hearts of palm, pineapple, and plantain. The second is the livestock sector, with poultry, pig, and beef activities. The third is the forester. The residues generated by Musaceae (Banana and Plantain) are not well used efficiently because they are disposed of in the open air and present environmental and economic problems for banana growers, however, this fruit offers the opportunity to obtain value-added bioproducts due to its chemical composition. Musaceae crops have been established predominantly in lands with a high mechanized agricultural vocation and with great hydrological wealth, these areas are of medium and high vulnerability to productive processes, and are not recommended for intensive urban, industrial, mining, and recreational development. The correct management of organic waste is achieved through different treatments that involve recycling these organic materials, transforming them into value-added products. The recycling of organic matter has received a strong boost with the high cost of chemical fertilizers, with the search for non-traditional energy alternatives, as well as the need for decontamination and waste disposal routes. Aerobic digestion is a process carried out by various groups of microorganisms, mainly bacteria, and protozoa, which, in the presence of oxygen, act on dissolved organic matter, transforming it into harmless end products and cellular matter. The present investigation arises as an alternative for the management and use of the residual biomass of the Musaceae, mainly in the organic waste that they generate, and thus give it an adequate use through the production of biogas in Ecuador.

Keywords: bioenergy – biogas – musaceae – microorganisms – organic waste

RESUMEN

Ecuador es un país donde se han identificado tres sectores con potencial bioenergético: en primer lugar, el agrícola, con productos como el arroz, banano, cacao, café, caña de azúcar, maíz duro, palma africana, palmito, piña y plátano. El segundo es el sector pecuario, con las actividades avícola, porcina y vacuna. El tercero es el forestal. Los residuos que generan las Musáceas (Banano y Plátano) no son bien aprovechados eficientemente debido a que son desechados al aire libre y presenta problemas ambientales y económicos para los bananeros, sin embargo, esta fruta ofrece la oportunidad de obtener bioproductos de valor agregado debido su composición química. Los cultivos de Musáceas se han establecido predominantemente en tierras de alta vocación agrícola mecanizada y con gran riqueza hidrológica, estas zonas son de mediana y alta vulnerabilidad a los procesos productivos, y no son recomendables para el desarrollo urbano intensivo, industrial, minero y de recreación. El correcto manejo de los residuos orgánicos se logra a través de diferentes tratamientos que implican un reciclaje de estas materias orgánicas, transformándolas en productos con valor agregado. El reciclaje de materia orgánica ha recibido un fuerte impulso con el alto costo de los fertilizantes químicos, con la búsqueda de alternativas no tradicionales de energía, así como también, la necesidad de vías de descontaminación y eliminación de residuos. La digestión aeróbica es un proceso realizado por diversos grupos de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos que, en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular. La presente investigación surge como una alternativa para el manejo y aprovechamiento de la biomasa residual de las Musáceas principalmente en los residuos orgánicos que estas generan y así darle una adecuada utilización mediante la elaboración de biogás en el Ecuador.

Palabras clave: bioenergía – biogas – musaceae – microorganismos – residuos orgánicos

INTRODUCCIÓN

El auge en la demanda del consumo energético en todo el planeta y la dependencia de fuentes de energía no renovable, así como los problemas ambientales asociados nos exigen la búsqueda de nuevas tecnologías y fuentes energéticas (Durazno, 2018). El uso global de la energía ha ido aumentando desde la Revolución Industrial en forma creciente. Las fuentes principales de energía son los combustibles fósiles: carbón, gas natural y petróleo, que aportan entre el 75% y el 85% del total de la energía utilizada. Las reservas de combustibles fósiles son limitadas y a corto o mediano plazo, se necesitarán fuentes alternativas de combustibles. Entre ellos, los combustibles producidos biológicamente o biocombustibles (Gonzabay & Moisés, 2016).

Varios países son pioneros en la obtención de energía eléctrica a partir de la generación de biogás a través de procesos anaerobios como Alemania, Reino Unido y Dinamarca, esto indica que es una tecnología madura que puede ser transferida a los sectores industriales y rurales del país (Montenegro *et al.*, 2016). Como indica López (2016), los subproductos agroindustriales y los

residuos de cosecha constituyen en los países agrícolas una fuente importante de alimento, y en la mayoría de los casos, por falta de conocimiento y voluntad técnica, no son aprovechados de manera adecuada. Las energías alternativas están tomando auge ante los altos costos de los hidrocarburos fósiles y el impacto ambiental. La producción de gas metano mediante digestión anaerobia y el tratamiento de aguas residuales para su reutilización es una alternativa viable donde la producción del biogás y el uso eficiente del agua representan una opción alternativa a la problemática regional (García-Galindo *et al.*, 2014).

La biodigestión anaeróbica es un proceso biológico, que en ausencia de oxígeno y dado en varias etapas en las que intervienen distintas poblaciones de microorganismos, haciendo posible la transformación de la fracción orgánica de los RSU (Residuos sólidos urbanos) en biogás. El biogás, es una mezcla de gases, entre los cuales principalmente se encuentran el CH₄ (50-70%) y el CO₂ (30-50%) en mayor proporción, seguido de otros en menor proporción como lo son el vapor de agua, aire (N₂ y O₂) que puede entrar en la alimentación, NH₃ y compuestos de azufre (H₂S) que se forman durante el proceso. Se dice del biogás que es una fuente de energía

secundaria, debido a que es un gas combustible que presenta una elevada capacidad calorífica, sobre 5.700 Kcal/m³, lo que le confiere unas muy buenas características como combustible para aprovechamiento en quemadores, turbinas, calderas, etc. Pudiendo generar a través del calor y electricidad si se cuenta con las instalaciones adecuadas para ello (Millán, 2018).

Asumiendo que la mayor parte del suelo agrícola está siendo utilizado para distintos cultivos de uso alimentario o industrial, surge la oportunidad de utilizar la denominada Biomasa Residual Agrícola (BRA), esta es una fuente de biomasa vegetal a partir de su transformación. La BRA es una fuente de biomasa vegetal procedente de la fracción (hojas, tallos, raíces, etc.) de toda la biomasa generada por un cultivo (Carhuacho, 2015). Como indica Lijarza (2017), en la actualidad se han desarrollado métodos para la transformación de residuos en energía y así alcanzar la meta de conservación de los recursos y del ambiente. Una forma de obtener energía a partir de los residuos es mediante la digestión anaeróbica. El aprovechamiento de los residuos orgánicos generados por la agricultura constituye un aspecto básico a considerar para mejorar la viabilidad económica, el medioambiente y el propio sistema productivo (Roca-Perez *et al.*, 2017).

Con relación al Ecuador, al ser un país con gran potencial agrícola y ganadero, se puede obtener una gran cantidad de desechos (biomasa) que se pueden destinar a la generación de energías alternativa. Sin embargo, el uso de biogás para la generación de energía eléctrica no es una tecnología muy común en nuestro país (Durazno, 2018). Como indica Kummamuru (2016), actualmente la biomasa cubre el 14% de la demanda mundial de energía, pero es utilizado en procesos ineficientes donde no se aprovechan todos sus compuestos. De acuerdo al Ministerio de Agricultura y Ganadería en el país se generan al año una ingente cantidad de residuos, éstos generalmente son quemados, abandonados en el sitio de producción o arrojados en los ríos, constituyéndose en un grave foco de contaminación para los ecosistemas por cuanto debido a su estructura lignocelulósica la biodegradación es lenta (Cueva, 2018).

Ecuador es un país agrícola en el cual se tienen nueve cultivos principales. Entre los cultivos más importantes se encuentran las musáceas, que es de interés mundial por su alto contenido de almidón y material lignocelulósico (Flor, 2017). Los residuos generados por las Musáceas son elevados, ya que en el país es masivo su consumo en especial en el área alimenticia (chifferías), donde solo es de interés su fruto, desperdiciando las cascara y el raquis de la racima, donde es bueno darle un uso adecuado a

todo ese material que se desperdicia en los basureros, un segundo uso como biogás actividad amigable con el medio ambiente; se estima que por cada tonelada de fruto producido se generan aproximadamente 480 kg de hojas, 160 kg de tallo, 3 t de pseudotallo y 440 kg de cáscara; una vez que el plátano cumplió su fase de producción se lo cosecha para diversos fines, quedando varios residuos como el pseudotallo, hojas, raquis y cascara esto varía de acuerdo a su fin, una vez cosechada esta permite el paso a una nueva planta por Medina *et al.* (2018).

Como manifiesta Giraldo & Montoya (2015), la mayoría de estos residuos producidos por las Musáceas se quedan en campo como el pseudotallo en la época de verano servirá como fuente de humedad, ya que está constituido por líquido el mismo que humedece la zona donde se está descomponiendo, también sirve los residuos como rastrojos mismos que se descomponen por la acción microbiana y posteriormente se incorporan al suelo. Sin embargo, los residuos de plátano contienen una buena cantidad de lignocelulosas con un 34,10% lo que es la pulpa y 5,39% en la cascara, que pueden ser aprovechadas para la generación de energía. Los residuos lignocelulósica del banano pueden ser utilizados para la producción de bioetanol, biogás, ácidos orgánicos, entre otros (Romero *et al.*, 2017).

El empleo de biodigestores para la producción de biogás con fines energéticos se ha convertido en una tecnología con mayor acogida debido a los beneficios económicos y ambientales que conlleva su uso, al mismo tiempo que se convierte en una tecnología alternativa rentable en zonas agrícolas debido a la gran cantidad de materia prima disponible a través de estas actividades (Sanchez-Quinde *et al.*, 2020). El problema de la contaminación ambiental provocada por la deficiente tecnología disponible en el país para el manejo de residuos agrícolas ha llevado a que se busquen alternativas adecuadas para estos residuos; sin lograr sus objetivos, los pocos trabajos realizados no han dado los resultados esperados (Sáez & Urdaneta, 2014).

La presente investigación surge como una alternativa para el manejo y aprovechamiento de la biomasa residual de las musáceas en Ecuador en la biodigestión anaeróbica y así destacar su importancia mediante una revisión de literatura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó como estrategias de búsqueda las siguientes combinaciones de palabras clave “plátano o banano”,

“biogas”, “Ecuador y Musaceae”, “biodigestión anaeróbica”, “residuos de plátano o banano”. Se utilizaron en las bases de datos científicas en español e inglés en plataformas regionales (SCIELO y Dialnet) SCOPUS (Springer, Science Direct y Web of Science) y en repositorios (Google Scholar) desde 1999 hasta 2021, totalizando 52 documentos de los cuales 17 pertenecieron a plataformas regionales, 10 a la plataforma SCOPUS y 25 pertenecieron a repositorios.

Aspectos éticos: Los autores señalan que se cumplieron todos los aspectos éticos a nivel nacional e internacional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todas las variedades de plátano y banano comestibles son plantas monocotiledóneas pertenecientes a la familia Musáceas y que descienden de productos de varios y múltiples cruzamientos de dos especies silvestres, *Musa acuminata* C. y *Musa balbisiana* C. La clasificación de las musáceas se basa en dos aspectos fundamentales: el primero de ellos se relaciona con la ploidía o fórmula cromosómica de cada material. De acuerdo con esto, el número básico de cromosomas tanto para banano y plátano comestible es de 11 y podrían ser cultivares diploides (22n), triploides (33n) y tetraploides (44n). El segundo aspecto se relaciona con el nivel o grado de aporte de los caracteres ancestros (*M. acuminata* y *M. balbisiana*), estableciéndose 15 caracteres preponderantes de cada uno, cuyos valores registran variaciones de uno a cinco. Así, el uno corresponde a una característica típica de *M. acuminata* y cinco a *M. balbisiana*; los valores de dos, tres y cuatro, tendrían relación con las características intermedias entre las dos especies progenitoras, basadas en aspectos gobernados genéticamente (Maldonado *et al.*, 2017).

Estas especies han originado por mutaciones o hibridaciones, los cultivares que hoy en día se siembran alrededor del mundo, pertenecientes a los grupos AA, AB, AAA, AAB, AAAA, AAAB, AABB, ABBB. La triploidia fue otro paso importante en la evolución de las musáceas comestibles; se encuentran en los grupos genómicos AAA, AAB y ABB, son plantas más grandes y fuertes que los diploides, con frutos de mayor pseudotallo más esbeltos y hojas más erectas (Oretega *et al.*, 2017).

El plátano es originario del sur-este asiático, pertenece a la familia de las musáceas y es uno de los principales cultivos tropicales que tienen una gran demanda en los mercados internacionales, lo cual hace que los

países productores se vean beneficiados no solo por el autoconsumo, sino también por su comercialización a países europeos y estados unidos, además, de generar fuentes de trabajo para miles de personas (Murillo & Morales, 2018). Como manifiesta Rojas *et al.* (2019), hoy en día, el plátano se cultiva en al menos 107 países con una producción mundial de más de 76 millones de toneladas métricas. El plátano es socioeconómicamente importante debido a su alto consumo como alimento básico. La mayoría de plátano de cocción es producido en África Central y Occidental, mientras en América, países como Ecuador, Colombia, Guatemala y Perú son grandes productores y exportadores, aunque, solamente el 1,62% de la producción mundial de plátano es exportada (Cárdenas-González *et al.*, 2017).

Manejo y Labores culturales del plátano y banano

Para un buen desarrollo productivo del plátano y banano se hace necesario efectuar Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) tales como: riego, aporque, despunte, resiembra, deshije, podas, decapitación foral. El manejo agronómico de las musáceas consiste en realizar las buenas prácticas como la selección de semillas las cuales deben estar limpias de raíces viejas y fracciones necrosadas además se las debe desinfectar con insecticidas y funguicidas utilizados convencionalmente en el cultivo, los cormos que se utilicen deben ser homogéneos al momento de sembrar, de tener el control de malezas, las prácticas culturales como el deshermane, deschante, deshoje, deshije, apuntalamiento, control de malezas entre otras; como también realizar un programa de fertilización y las prevenciones de las plagas y enfermedades (Castellón *et al.*, 2017).

Deshermane. Esta actividad consiste en identificar la futura planta madre y eliminar con machete a ras del suelo, los brotes llamados “hermanos”, que no tienen el vigor necesario para obtener una buena producción. Esta técnica es similar a la del deshije, pero se efectúa a los 4 meses después de la siembra, tiempo en el que se puede identificar el mejor brote (Torres, 2012).

Deschante. Esta labor consiste en eliminar las vainas del pseudotallo, las que se secan una vez cumplido su ciclo de vida. Para ello, se debe utilizar un machete. Deben cortarse únicamente las vainas que estén completamente secas y que se desprenden fácilmente al tirarlas. Nunca deben eliminarse vainas verdes, desgarrándolas o rasgándolas, ya que por las heridas ocasionadas pueden penetrar bacterias u otros agentes infecciosos (Torres, 2012).

Deshoje. Esta práctica consiste en realizar la limpieza y eliminación de las hojas secas, con daños mecánicos o con

presencia de enfermedades que funcionen como inoculo de algún patógeno. El corte de la hoja se debe realizar lo más cercano a la base en caso de eliminar totalmente la hoja afectada y cuando las lesiones son menores, se recomienda utilizar una poda quirúrgica exclusivamente en la parte afectada. Cuando la planta se encuentra con el racimo; se eliminan las hojas que interfieran con el desarrollo del racimo con el afán de alcanzar mayor exposición de luz, calor y el regular el paso de aire (Vargas *et al.*, 2017).

Deshije. El deshije se basa en la selección de un hijo lateral promisorio (los hijos primarios) que va a generar la próxima generación y la eliminación de los otros hijos conocidos como hijos de agua (plantas improductivas); otro de los objetivos del deshije, es conservar la secuencia de madre, hijo y nieto; así como también mantener el ordenamiento lineal de las plantas dentro de las hileras (Vargas *et al.*, 2017).

Apuntalamiento. Es una labor que se debe realizar en todas las plantas que tienen racimo para evitar que se caigan y se pierda la fruta. Los materiales que sirven para este trabajo son: caña de bambú, caña brava, piola de yute, piola de plástico tipo suncho (Agrocalidad, 2018).

Control de Malezas. Este tipo de control de malezas se debe realizar en el terreno y sus alrededores de manera permanente para evitar la competencia por nutrientes y que éstas se conviertan en hospedadoras de plagas, como la Sigatoka Negra, Mal de Panamá, Nematodos, entre otros. El control puede ser manual o químico mediante la aplicación de plaguicidas (Agrocalidad, 2018).

Fertilización. La planta de banano morfológicamente tiene un sistema radical extraente y presenta rápido crecimiento vegetativo; lo que provoca una gran capacidad de extracción de nutrientes del suelo. La fertilización se puede realizar de forma granular, orgánica y foliar dependiendo de las necesidades del cultivo en relación con los análisis foliares y de suelo. La dosis por planta varía entre 60-120 g por planta dependiendo del estado fenológico del cultivo; no obstante, se recomienda utilizar mayor frecuencia en las fertilizaciones con una menor dosis, por ejemplo: aplicar 3 sacos de 45 kg/ha cada 3 semanas o 2 sacos de 45 kg/ha cada 2 semanas dependiendo de la formulación requerida por el cultivo (Vargas *et al.*, 2017).

Control de plagas y enfermedades. Durante el desarrollo del cultivo, las plagas producen diferentes tipos de daño y pueden ocasionar importantes pérdidas económicas. Las principales plagas que afectan el cultivo de banano

son: Picudo negro, Cochinilla, Escamas y Nematodos; así como las enfermedades que producen diferentes tipos de daños sobre el cultivo de banano son: Sigatoka negra, Marchitez y Podredumbre bacteriana (Vargas *et al.*, 2017).

El cultivo de plátano en el Ecuador

El Ecuador cuenta con importantes productos agrícolas, y entre ellos uno de los más significativos es el plátano en sus distintas variedades, producto que por su versatilidad para ser transformado en la industria y por la preferencia de los consumidores se convierte en una opción válida para transformarlo en muchas más opciones de las que existen en el mercado, ya que su potencialidad apenas está expuesta, pues la planta en sí brinda multiplicidad de usos para ser transformada en la nueva matriz productiva, tanto las hojas y tallos son ricos en fibra y celulosa, sustancias que pueden ser usadas como materia prima en la industria (Paz & Pesantez, 2013).

En el Ecuador, el plátano además de ser un producto tradicional, su producción genera importantes divisas para el país. Se cosechan mayoritariamente dos variedades de plátanos que son el dominico y el barraganete. En la zona local del Guayas y Los Ríos se encuentra la producción de dominico. En toda la zona de Santo Domingo y en Manabí Cantón “El Carmen” está dedicado al cultivo y exportación de barraganete. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en Ecuador hay plantadas un estimado de 141.441 hectáreas de plátano. Con 50.376 has, la provincia de Manabí ubicada al sur-occidente del país es la mayor productora concentrando el 35,6% del área total. A nivel nacional, el 71,6% de los cultivos de plátano son establecidos como monocultivo lo que indica cierto grado de especialización de la producción; el plátano tiene una contextura más firme que el banano y un contenido más bajo de azúcares. Entre las características del plátano verde una porción de 100 g suministra 32 g de carbohidratos, 1,2 g de proteína, 0,3 g de grasa y 135 kcal. Los plátanos además tienen un alto contenido de agua y un bajo contenido de proteína. Generalmente contienen alrededor de 20 mg de vitamina C y 120 mg de vitamina A por 100 g. Contiene además un bajo contenido de calcio, hierro y vitaminas B y suministran únicamente 80 kcal por 100 g. De ahí el fundamento de consumirlo aproximadamente 2 kg para suministrar 1 500 kcal (Sepúlveda *et al.*, 2017).

Fenología del plátano

El Plátano es una planta herbácea, perteneciente a la familia de las musáceas, que consta de un tallo subterráneo (Cormo o Rizoma) del cual brota un Pseudotallo aéreo;

el Cormo emite raíces y yemas laterales que formaran los hijos o retoños. Morfológicamente, el desarrollo de una planta de plátano comprende tres fases: Vegetativa, Floral y de Fructificación (Guerrero, 2011).

Las hojas, representan la inversión de recursos en los procesos fisiológicos, su crecimiento depende

fundamentalmente del desarrollo de su área foliar, se ha determinado que en el desarrollo de frutos requiere mínimo de 7 a 10 hojas funcionales respectivamente en lo que respecta al cultivo del plátano (Hernández *et al.*, 2007). En la Figura 1 se encuentra la Fenología del plátano.

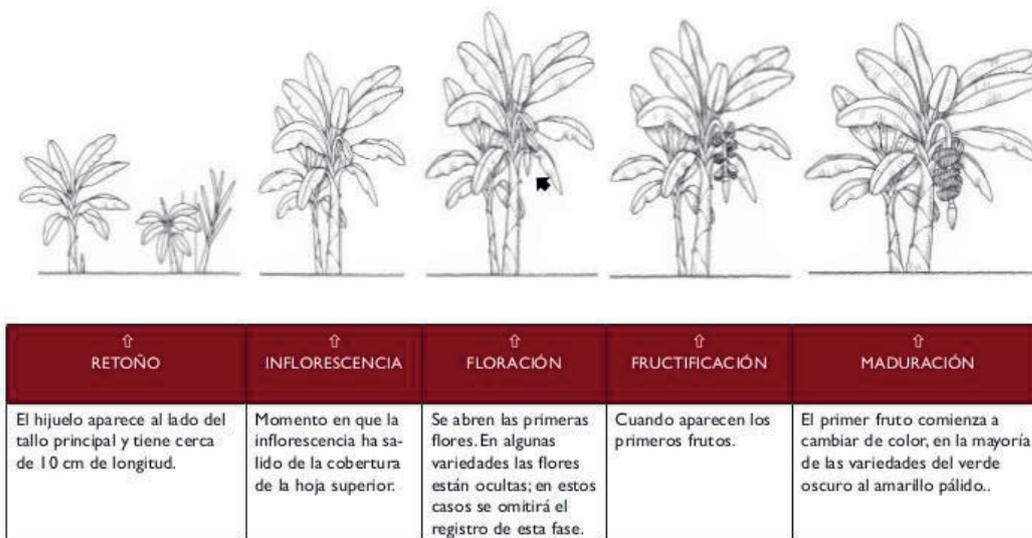


Figura 1: Fenología del Plátano

Fuente: Yzarra & López (2017).

La producción de plátano verde es de mayor importancia dentro del Ecuador, con una producción anual de 430 mil t. Consecuentemente la industria del plátano genera 285 mil de t de desechos por año, los mismos que contienen celulosa, hemicelulosa, lignina, almidón, y pectina. La mayor concentración de producción y desperdicios se ubican en la provincia de Manabí la cual produce 230 mil t de plátano y un desperdicio de 143 mil t. La recolección de la producción deja cuatro tipos de residuos: raquis, pseudo tallo, hojas y bananas de descarte. De cada t de plátano recolectado, se generan tres t de pseudo tallo, 150 kg de raquis y 480 kg de hojas en materia húmeda. Estos residuos suelen ser dejados sobre las plantaciones como abono, pero en ocasiones se termina convirtiendo en foco de infecciones o también descartado como basura hacia basureros. Actualmente, estos desechos se usan como material para abono de tierra y no tienen ningún fin como producto con valor agregado que pueda servir dentro del mercado (Flor, 2017).

El cultivo de banano en Ecuador

Ecuador es el primer exportador de banano en el mundo (Ortiz-Ulloa *et al.*, 2021), es así que hasta mayo del 2020

se exportaron 174'741.774 cajas frente a 158'323.073 cajas de igual periodo del 2019, lo que equivale a un incremento anual de 10,37%, con un promedio mensual de 34,9 millones de cajas frente al promedio mensual del 2019 de 31,8 millones de cajas, de las cuales en el trópico se produce el 89 %; en la zona baja de la Sierra, 10 %, y en el Oriente, 1 % (AEBE, 2020). Como manifiesta Moreira (2019), Ecuador tiene al momento 162.234 hectáreas sembradas de Banano y cuenta con 4,47 productores de la fruta, de ellos se generan cerca del 95% de residuos vegetales, ya que por lo general sólo se utiliza el fruto para la comercialización y consumo, mientras que las demás partes de la planta como las cáscaras o piel del plátano no son aprovechados por el cultivador. Para Vásquez-Castillo *et al.* (2019), con respecto a las pérdidas postcosecha, estas fluctúan entre el 10 y 80 % y son causadas por un inadecuado manejo tanto de la postcosecha como en lo agronómico. La fruta que no es apta para la exportación, debido a los estándares de alta calidad exigidos por los importadores, es utilizada en la agroindustria, para alimentos de animales o fruta fresca para el mercado nacional (FONTAGRO, 2006).

Fenología del banano

El ciclo fenológico del cultivo de banano se puede dividir en tres grandes etapas, iniciando desde la fase infantil (fase 1), hasta la fase reproductiva de la planta (fase 3). La duración del ciclo fenológico en promedio oscila en 404 días y está determinada por la variedad, la altitud, latitud

y las condiciones edafoclimáticas de cada una de las regiones productivas. El cultivo de banano tiene un ciclo de transición, esto consiste en que presenta diferentes estadios en una misma planta; donde se puede tener una planta madre en producción, un hijo desarrollado y un nieto o nueva brotación (Vargas *et al.*, 2017).

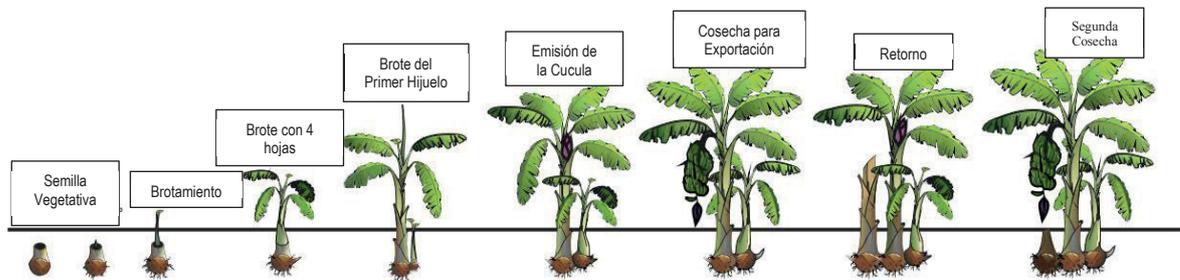


Figura 2: Fenología del cultivo de banano

Fuente: Guía práctica para el manejo de banano orgánico en el Valle del Chira (Torres, 2012).

El residuo del cultivo y procesamiento del banano está compuesto principalmente por restos de pseudotallo, hojas y bananos rechazados. El pseudotallo se deja normalmente en el suelo de la plantación como abono orgánico o se mezcla con frutos rechazados para preparar alimentos para el ganado. Cuando este residuo se vierte de forma incontrolada, se descompone anaeróbicamente produciendo gases de efecto invernadero y malos olores con el consiguiente impacto ambiental negativo (Roca-Perez *et al.*, 2017). En el cultivo, solo el racimo de banano es la parte aprovechable, lo cual corresponde al 20% o 30% de la planta; mientras el 70-80% de ésta se considera residuo por utilizar. Este residuo está representado por el tronco de la planta con sus hojas, el brote floral, el raquis y la cáscara. La cáscara representa entre el 35% y el 40% del banano, residuo potencialmente aprovechable en la fabricación de diferentes productos de valor agregado como es el almidón (Yusufu & Mosiko, 2014; Melo-Sabogal *et al.*, 2015). Para Chávez & Rodríguez (2016) se han desarrollado métodos para usar el pseudotallo y el raquis como harina en la producción de alimentos, pero no existe una metodología, ni política que lo regule. El área cultivada de banano en Ecuador supera las 150.000 ha que producen aproximadamente 5 millones de raquis o tallo floral del banano, residuo sobrante producto de la cosecha y que en muchos de los casos no se gestionan de forma correcta (Ullauri-Espinoza *et al.*, 2020).

Actualmente, estos desechos se usan como material para abono de tierra y no tienen ningún fin como producto con valor agregado que pueda servir dentro del mercado. La cáscara del plátano verde está compuesta de aproximadamente por 12% en masa de almidón, que

puede ser usado como materia prima para la creación de bioplásticos o bioetanol para la producción de energía (Flor, 2017).

Biodigestión anaeróbica en la generación de biogás

La digestión anaerobia es un proceso que involucra la transformación de la materia orgánica en biogás (metano, 60-70 %; dióxido de carbono, 30-40 %). Durante este proceso participan varios grupos de microorganismos que llevan a cabo un metabolismo coordinado en cuatro etapas: la primera es la hidrólisis, donde la materia orgánica es fermentada, produciendo compuestos sencillos (monómeros); la segunda es la acidogénesis, que produce ácidos orgánicos; la tercera es la acetogénesis, caracterizada por la formación de acetatos, propionatos y butiratos, y finalmente, la cuarta etapa es la metanogénesis, donde microorganismos producen metano a través de la ruta acetotrófica e hidrogenotrófica (Gonzales-Sanchez *et al.*, 2015). La producción de biogás, a través de la fermentación anaeróbica, es uno de los procesos biológicos más frecuentes usados por la naturaleza, para descomponer los materiales orgánicos. En él se encuentran gases como el metano, CO₂, H₂ y trazas de otros gases. El proceso es sumamente complejo en el que intervienen un elevado número de especies bacterianas, productoras o no de metano, que contribuyen de algún modo a la formación de este gas (Romero *et al.*, 2017).

La digestión anaerobia posibilita la degradación de la fracción orgánica biodegradable presente en los residuos sólidos urbanos, transformándola en biogás, con alto contenido en metano y susceptible, por tanto, de aprove-

chamiento energético y en un residuo final estabilizado, con una alta tasa de destrucción de microorganismos patógenos, que reúne las condiciones para poder ser utilizado como mejorador del suelo. Por ello, la digestión

anaerobia presenta un balance energético positivo possibilitando tanto la prevención de la contaminación como la recuperación sostenible de la energía (Reyes, 2017).

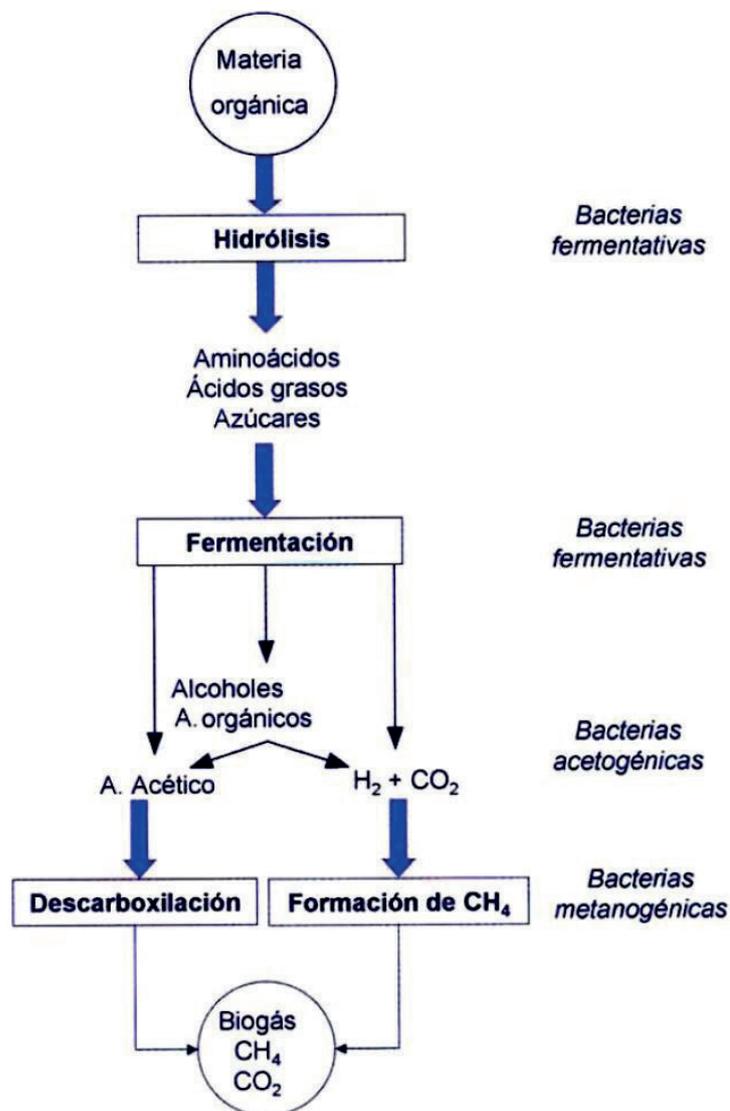


Figura 3. Degradación anaeróbica: acción de los tres grupos de bacterias

Fuente: (Vedera *et al.*, 2006).

A nivel mundial, el uso del biogás es variante, va desde emplearse como combustible para la cocina, calefacción, electricidad, combustible para los vehículos, hasta utilizarlo como el gas “principal” para ser procesado e introducido en gasoductos de gas natural. Las mayores aplicaciones del biogás se han dado en China, India y Europa. China es de los países pioneros en el uso del biogás. Este país perteneciente al continente asiático desarrolló un programa que inició en los años setenta con

un resultado de más de 7 millones de digestores, aunque sufrió de varias fallas (Arthur *et al.*, 2011).

En el país la producción de biogás está creciendo principalmente en la zona rural donde los campesinos aprovechan los residuos orgánicos para producir esta energía alternativa a través de los llamados biodigestores familiares de bajos costos. Ecuador por sus condiciones geográficas, la riqueza de sus recursos naturales cuenta

con un enorme potencial de energías renovables útiles para la preservación del ambiente (Brito *et al.*, 2016).

Biogás de plátano y banano y estimación en Ecuador

La cosecha de banano y plátano genera cantidades muy altas de residuos. Soffner (2001) menciona que cada hectárea de banano que se cosecha puede generar hasta 200 t/año de residuos en estado húmedo. Si se considera que el contenido de humedad de estos residuos está en el rango de 85 a 95 %, es posible estimar que la cantidad de residuos de la cosecha de plátano y banano juntos en Ecuador, en estado seco, podría alcanzar 2 millones de toneladas anualmente (asumiendo 95% de humedad). Estos residuos están constituidos por hojas, pseudotallos y raquis. No se incluyen frutas de banano que esporádicamente son abandonados en el campo por problemas de calidad.

No obstante, no todo este material está disponible para usarlo con fines energéticos, pues en la actualidad se usan parcialmente. Las hojas han sido empleadas, en parte, para alimento de ganado o para ayudar el sistema de transporte del mismo banano (en los cajones de los camiones). Las fibras obtenidas de las hojas han sido empleadas, por ejemplo, para producir artesanías. Por otro lado, parte de los residuos de la cosecha de banano es dejada en el campo para uso como abono, o simplemente son abandonados debido a la dificultad que presenta su recolección y transporte (esto ocurre con frecuencia en la mayoría de los países productores de banano). En este caso, hojas y tallos son descompuestas por medios biológicos. Sin embargo, durante la degradación se genera metano (CH_4) que, además de ser un poderoso gas de efecto invernadero, constituye energía desperdiciada.

Por lo mencionado, resulta difícil estimar la cantidad real de residuos que estaría disponible para uso energético y no energético. Esto es, aproximadamente 0,925 millones de GJ/año (asumiendo un poder calorífico inferior de 12 MJ/kg). Para determinar el potencial energético de los residuos lignocelulósicos de la cosecha de banano a nivel nacional se considera que al menos 50 % de esos residuos podrían recuperarse y usarse con fines energéticos y se asume que el poder calorífico inferior de los residuos de la cosecha de banano de 12 MJ/kg (igual que para los raquis). Así, el potencial energético total aprovechable de dichos materiales podría llegar a cerca de 12 millones de GJ/año.

Cualquier uso de estos materiales lignocelulósicos requiere identificar sus propiedades físicas y químicas. Si el

objetivo es expandir el análisis de usos de otras partes de la planta del banano, una fuente de consulta interesante que reporta la composición química de raquis y otras partes de la planta es Mohapatra *et al.* (2010). A pesar del uso limitado de estos materiales en nuestro país, en otros países se han dado pasos importantes para adecuar procesos para su uso energético y no energético. Un estudio efectuado en Australia muestra que las hojas de la planta de banano son un recurso adecuado para biodigestión y producción de compuestos y que no existen barreras tecnológicas para la práctica de biodigestión (Clarke *et al.*, 2008). Otro estudio, efectuado por Tock *et al.* (2010) en Malasia, indica que la producción de biogás es prometedora, debido a que las hojas de banano producen biogás de elevada pureza si se compara con biogás obtenido a partir de desechos humanos o animales (principalmente de cerdos).

En una investigación usando cáscaras de banano y plátano sembradas con estiércol de vaca Tambuwal *et al.* (2019) consiguieron producir más biogás que cuando se usaron de forma independiente, en esta misma investigación se muestra que las cáscaras de plátano, tanto frescas como secas, producen una menor cantidad de biogás en comparación con las cáscaras de banano, por lo que requerirán un tratamiento previo para mejorar su producción de biogás. De igual manera en otro estudio Latinwo & Agarry (2015) encontraron que la codigestión de estiércol de vaca con cáscara de plátano como cosustrato redujo el tiempo de inicio para la generación de biogás y aumentó la producción de biogás en un 18 % en comparación con el estiércol de vaca solo, con producción máxima de biogás a un pH de 6,7 y 6,9, así como a una temperatura de 29 y 30 °C.

En Ecuador según datos levantados por Martínez *et al.* (2015), las principales provincias más productoras de banano son Los Ríos, El Oro y Guayas y de plátano Manabí, Los Ríos, Santo Domingo de los Tsáchilas y Guayas, siendo que de banano son producidos 8'237.546 t/año y de plátano 542.207 t/año, generando diferentes tipos de residuos como el raquis, vástago y el rechazo con un valor aproximado de 53'995.481 t/año, lo que tendría un potencial energético de 8.565 GW/h (Tabla 1). En el informe anual del el Operador Nacional de Electricidad – CENACE en 2020, el país alcanzó una producción neta total de energía de 26.979,96 GWh, siendo que este valor se puede incrementar en la matriz productiva un 31,75% por los residuos del banano y plátano como se demuestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Producción, residuos, masa de residuos y potencial energético del banano y plátano en Ecuador.

Cultivo	Producción t/año*	Tipo de residuo	Masa de residuo t/año	Potencial energético TJ/año	Potencial energético GW/h
Banano	8'237.546	Raquis	8'237.546	3.536	982
		Vástago	41'187.730	23.220	6 450
		Rechazo fruta	1'235.632	2.173	604
Plátano	542.207	Raquis	542.207	233	65
		Vástago	2'711.035	1.528	424
		Rechazo fruta	81.331W	143	40
Total	8'779.753	-	53'995.481	30.833	8.565

Fuente: Modificado de Martínez *et al.* (2015). * Datos referenciales 2010.

El deficiente manejo y disposición que se hace de los desechos agroindustriales está conduciendo a preocupantes problemas ambientales que va en aumento debido a la producción desechos, los cuales directa o indirectamente llegan a las corrientes superficiales y por otra parte deteriora los suelos y pastizales agrícolas.

Debido a la problemática ambiental por residuos generados al año se ha despertado cierto interés para el aprovechamiento de los desechos considerados como residuo para la obtención de nuevos productos de valor agregado, es así que la presente revisión de literatura destacó la importancia del manejo y aprovechamiento de la biomasa residual de las musáceas en Ecuador en la biodigestión anaeróbica, demostrando que tanto residuos del banano como el plátano tienen un potencial energético, que sin duda alguna a futuro pueden aportar en la matriz energética ecuatoriana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (AEBE), Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador. 2020. *Exportaciones mensuales de banano*. https://fb329f0a-8a6c-4216-9e2f-dcf8067bce4d.filesusr.com/ugd/f4cd67_b323daf852214493803c7bed216e49f7.pdf
- Agrocalidad. 2018. *Manual de aplicabilidad de buenas prácticas agrícolas para banano*. OSIA Marketing y Diseño.
- Arthur, R.; Baido, F. & Antwi, E. 2011. Biogas as potential renewable energy source. *Renewable Energy*, 36: 1510-1516.
- Brito, H.; Echeverría, M.; Yaulema, F.; Palmay, P.; Mendoza, M.; Patiño, T. & Haro, C. 2016. *Generación de Biogás a partir de Estiércol de ganado a nivel de finca en el oriente Ecuatoriano*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. XXXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 59 congreso internacional agua, sananmiento, ambiente y energía renovable. Cartagena, Colombia. doi:10.13140/RG.2.2.25157.04327.
- Cárdenas-González, J. E.; Zapata-Henao, S. & Sánchez-Torres, J. D. 2017. Análisis productivo de plátano en alta densidad y su relación con la precipitación en Urabá. *Revista Politécnica*, 13: 27-35.
- Carhuancho, L. F. 2015. *Valorización energética de la Biomasa Residual Agrícola de banano y mango en la región de Piura-Perú*. Tesis de Maestría previo a la obtención del título de Master en Tecnología Agroambiental para una Agricultura Sostenible, Universidad politécnica de Madrid.
- Castellón, M. K.; Benjamin, P.W. & Enrique, C.S. 2017. Comportamiento agronómico del cultivo del plátano, variedad curare enano en Sandy Bay Costa Caribe norte de Nicaragua. *Revista Ciencia e Interculturalidad*, 21: 115-128.
- Chávez, P.Á. & Rodríguez, G.A. 2016. Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamerica. *Revista Academica & Virtualidad*, 9: 90-107.
- Clarke, W. P.; Radnidge, P.; Lai, T. E.; Jensen, P. D. & Hardin, M. T. 2008. Digestion of waste bananas to generate energy in Australia. *Waste Management*, 28: 527-533.

- Cueva, C.C. 2018. *Aprovechamiento de residuos de plátano, cacao y maíz como sustratos para la producción del hongo "Pleurotus ostreatus", en la comunidad la magdalena de Francisco de Orellana*. Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, pp. 87.
- Durazno, C.A. 2018. *Valorización de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas*. Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Carrera de Ingeniería Ambiental.
- Flor, B.R. 2017. *Evaluación de la composición de las biomásas residuales de plátano verde (Musa spp) y papa (Solarum tuberosum) antes y después del proceso de extracción de almidón*. Tesis de Grado, Universidad San Francisco de Quito (USFQ), Colegio de Ciencias e Ingeniería.
- FONTAGRO. 2006. *Informe*. http://s1.fontagro.org/sites/default/files/prop_06_05.pdf
- García-Galindo, O.; Pedroza-Sandoval, A.; Chávez-Rivero, J.; Trejo-Calzada, R. 2014. Evaluación de fuentes de materia orgánica fecal como inóculo en la producción de metano. *Revista Tecnológica y Ciencias del Agua*, 6: 35-49
- Giraldo, C. N. & Montoya, M. N. 2015. *Caracterización de residuos de banano (pseudotallo y hojas) mediante análisis termogravimétrico para uso potencial como biocombustible sólido*. Tesis de Grado, Universidad de Medellín, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Medellín-Colombia.
- Gonzabay, V.A. & Moises, S.M. 2016. *Diseño y construcción de un biodigestor anaeróbico vertical semi continuo para la obtención de gas metano y biol a partir de las cascarras de naranja y mango*. Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador, Carrera de Ingeniería Industrial.
- Gonzales-Sanchez, M.E.; Perez-Fabiel, S.; Wong-Villareal, A. & Bello-Mendoza, R.O. 2015. Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia. *Revista Argentina de Microbiología*, 47: 229-235.
- Guerrero, M. 2011. *Guía Técnica de del cultivo de Plátano*. El Salvador: Impresos Múltiples.
- Hernández, M.; Marín, M. & García, J. 2007. Respuesta en el rendimiento del plátano (Musa AAB cv Hartón) en función de la nutrición mineral y su ciclo fenológico. P I. Crecimiento y producción. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 24: 607-626.
- Kummamuru, B. 2016. *WBA Global Bioenergy statistics 2017*. World Bioenergy Association.
- Latinwo, G.K. & Agarry, S.E. 2015. Modelling the kinetics of biogas production from mesophilic anaerobic co-digestion of cow dung with plantain peels. *International Journal of Renewable Energy Development*, 4: 55.
- Lijarza, G.Y. 2017. *Producción de biogás a partir del estiércol de ganado vacuno y gallinaza durante el proceso de digestión anaeróbica a escala de laboratorio*. Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.
- López, G. C. 2016. *Composición química y digestibilidad in situ de las cascarras de banano (Musa paradisiaca), Frejol Gandul (Cajanus cajan), y Maíz (Zea mays) colonizados con hongos (Pleurotus sp)*. Tesis de Grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias pecuarias, Carrera de Ingeniería Agropecuaria.
- Maldonado, C.C.; Molina, B.V.; Ricardo, C.B.; León, P.J. & Reyes, B.W. 2017. *El Barraganete en Ecuador*. Babahoyo-Ecuador: CIDEPRO.
- Martínez, J.M.R.; Lora, E.E.S. & González, L.N.L. 2015. *Bioenergía: Fuentes, conversión y sustentabilidad*. La Red Iberoamericana de aprovechamiento de residuos orgánicos en producción de Energía. Primera Edición 332 p.
- Medina, M. J.; Sánchez, H. M.; Hidalgo, M. A.; Jiménez, R. E. & Ruíz, S. T. 2018. Un estudio sobre el potencial del uso de residuos lignocelulósicos. *Revista, MICA*, 1: 6-23.
- Melo-Sabogal, D.Y.; Torres-Grisales, J.A. & Sema-Jimenez, J.A.V. 2015. Aprovechamiento de Pulpa y cascara del plátano (*Musa paradisiaca*

- spp) para la obtención de Maltodextrina. Revista Biotecnología del Sector Agropecuario y Agroindustrial, 13: 76-85.
- Millán, C.A. 2018. *Estudio sobre biodigestores anaeróbicos, aplicando al tratamiento de la fabricación orgánica de los residuos municipales*. Tesis de Grado para obtener el grado de Ingeniero en Recursos Mineros, Universidad de Cantabria, Pp, 28.
- Mohapatra, D.; Mishra, S. & Sutar, N. 2010. Banana post-harvest practices: Current status and future prospects-A review. *Agricultural Reviews*, 31: 1-18.
- Montenegro, O. K.; Rojas, C. A.; Cabeza, R. I. & Hernández, P. M. 2016. Potencial de biogás de los residuos agroindustriales generados en el departamento de Cundinamarca. *Revista, ION*, 29: 23-37.
- Moreira, M.D. 2019. *Ensayo Biotecnológico de residuos Agroindustriales de cacao (Theobroma cacao) y guineo (Musa paradisiaca) como sustrato para la obtención de vitamina B2 empleando Saccharomyces cerevisiae*. Tesis de grado para optar por el grado académico de Ingeniería en Biotecnología Ambiental.
- Murillo, V.E. & Morales, M.J. 2018. *Evaluación del desarrollo fenológico y productivo de plátanos élites Harton enano (AAB), en su segundo ciclo, establecidas en la Finca el Pegón UNAN-León 2016-2017*. Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Agroecología Tropical, Univerisad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN_LEÓN.
- Ortiz-Ulloa, J. A.; Abril-González, M.F.; Pelaez-Samaniego, M.R. & Zalamea-Piedra, T.S. 2021. Biomass yield and carbon abatement potential of banana crops (*Musa* spp.) in Ecuador. *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 18741-18753.
- Oretega, N.; Komeva, S.; Ruiz, O.; Santos, E. & Peralta, E. 2017. Obtención de Multimeristemas y Callos de diferentes variedades de banano y Plátano (*Musa* spp.) a partir de "Meristemas apicales" y "Scalps". *Revista Tecnológica ESPOL*, 23: 99-104.
- Paz, R. & Pesantez, Z. 2013. Potencialidad del platano verde en la nueva matriz productiva del Ecuador. *Revista Científica Yachana*, 2: 203-210.
- Reyes, A.E. 2017. Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. *Revista Científica de FAREM-Esteli. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano*, 6: 60-81.
- Roca-Perez, L.; Leon, T. D.; Andrade, C. J. & Boluda, H. R. 2017. Aprovechamiento de residuos orgánicos en distintos cultivos de Ecuador. *Revista Científica, Axioma*, 16: 84-95.
- Rojas, A.F.; Rodríguez-Barona, S. & Montoya, J. 2019. Evaluación de alternativas de aprovechamiento energético y bioactivo de la cascara de plátano. *Revista Información Tecnológica*, 30: 11-24.
- Romero, H.; Gadway, K. & Castillo, A. 2017. *Potencial biotecnológico y bioeconómico de residuos lignocelulósicos de la agroindustria del Banano*. II Congreso Internacional, Ciencia y Tecnología, 1: 695-705.
- Sanchez-Quinde, M. A.; Martillo-Pazmiño, I. O.; Fiallo-Moncayo, D. X. 2020. El biodigestor como medida ecológica para la generación de gas en las empresas de cría de animales. *Revista FIPCAEC*, 16: 39-57.
- Sáez, A. & Urdaneta, J. 2014. Manejo de residuos sólidos en America Latina y el Caribe. *Revista Omnia*, 3: 121-135.
- Sepúlveda, W.S.; Ureta, I.; Hernández, G.A. & Solorzano, G.K. 2017. Consumo del plátano en Ecuador: Hábitos de compra y disponibilidad a pagar de los consumidores. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente-RAMA*, 10: 995-1014.
- Soffner, M.L.A. 2001. *Produção de polpa celulósica a partir de engaço de bananeira*. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba/SP.
- Tambuwal, A.D.; Okoh, E.V. & Ogbiko, C. 2019. Biogas production from banana and plantain peels blended with cow dung in an *in vitro* biodigester system. *Lapai Journal of Applied and Natural Sciences*, 4: 160-164

- Tock, J.Y.; Lai, C.L.; Lee, K.T.; Tan, K.T. & Bhatia, S. 2010. Banana biomass as potential renewable energy resource: A Malaysian case study. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14: 798-805.
- Torres, S. 2012. *Guía práctica para el manejo del banano orgánico en el valle del Chira. Perú*: Hidalgo Impresores E.I.R.L.
- Ullauri-Espinoza, M., Cervantes-Alava, A., Condoy-Gorotiza, A., Barrezueta-Unda, S., & Barrera-Leon, J. 2020. Evaluación del método de ignición para determinar materia orgánica en suelos de la provincia el Oro-Ecuador. *Fave: Sección Ciencias Agrarias*, 19: 25-36.
- Vargas, C.; Watler, W.; Morales, M. & Vignola, R. 2017. *Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de banano en Costa Rica*. Ficha Técnica del cultivo de banano en Costa Rica. CLADA-CATIE, 56 p.
- Vásquez-Castillo, W.; Racines-Oliva, M.; Viera, W. & Seraquive, M. 2019. Calidad del fruto y pérdidas postcosecha de banano orgánico (*Musa acuminata*) en el Ecuador. *Revista Enfoque UTE*, 10: 57-66.
- Vedera, A.; Gomez, L.C. & Garcia, H.F. 2006. Producción de biogas a partir de residuos vegetales (I). *Ingeniería Química*, 432:114-122.
- Yusufu, P.A. & Mosiko, T. B. 2014. Effect of firm ripe plantain fruit flour addition on the chemical, Sensory and Microbial Quality of fura powder, 32: 38-44.
- Yzarra, T.W. J. & López, R.F.M. 2017. *Manual de observaciones fenológicas*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 92 p.

Received December 17, 2021.

Accepted March 12, 2022.