

## DISPONIBILIDAD DE RESIDUOS DE COSECHA DE ARROZ Y MAÍZ PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL<sup>1</sup>

*Rodolfo Morales-Muñoz<sup>2</sup>; Lwonel Agudo-Martínez<sup>3</sup>;  
Jaime Espinosa-Tasón<sup>4</sup>*

### RESUMEN

Panamá es uno de los países con poca capacidad para expandir su frontera agrícola. La implementación de la ley de incentivos a la producción de biomasa y biocombustibles, impulsó el uso de la caña de azúcar como la materia prima para cumplir con el porcentaje de etanol a mezclar con la gasolina. Sin embargo, la zafra se da en cuatro meses del año y durante los ocho meses restantes la biorefinería deberá procesar otra fuente de carbohidratos. Con el propósito de estimar la oferta de residuos de cosecha de arroz y maíz, se realizó una encuesta sobre el uso de los residuos de cosecha de arroz y maíz en las provincias de Coclé, Herrera, Los Santos y Veraguas, para determinar la oferta de materia prima para la producción de etanol lignocelulósico. Se encontró 46 481 ha de arroz y maíz cultivadas en la zona, los productores que mostraron su disposición a la venta del rastrojo fueron el 60% y 53%, respectivamente. Se concluye que la oferta de residuos de cosecha de arroz y maíz para la producción de etanol lignocelulósico en el área es de 194 t/día, lo que correspondería a la capacidad de una planta de escala piloto o demostrativa.

**PALABRAS CLAVES:** Paja de arroz, rastrojo de maíz, etanol lignocelulósico.

---

<sup>1</sup>Recepción: 24 de marzo de 2015. Aceptado: 29 de abril de 2016. El Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), con el apoyo del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA), la Universidad del Estado de Washington (WSU), la empresa Campos de Pesé y productores nacionales, ejecutó un proyecto de investigación sobre el uso de los residuos de cosechas de arroz y maíz para la producción de etanol.

<sup>2</sup>M.Sc. en Industrias Agrícolas Alimentarias. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC). e-mail: rodolfommz@yahoo.com

<sup>3</sup>M.Sc. en Ingeniería Ambiental. IDIAP. CIAC. e-mail: lwonelagudo@gmail.com

<sup>4</sup>M.Sc. en Socioeconomía. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Azuero (CIAA). e-mail: jaet78@gmail.com

## AVAILABILITY OF RICE AND CORN HARVEST WASTE FOR ETHANOL PRODUCTION

### ABSTRACT

Panama is one of the countries with limited surfaces to expand its agricultural border. The implementation of the law that creates the incentives for the biomass and biofuels production moved the use of sugarcane as raw material for ethanol production. Nevertheless the sugarcane harvest is only done four months during the dry season. During the remaining eight months the bio refinery will have to use another source of carbohydrates. With the purpose of determining the offer of crop residues for lignocellulosic ethanol a poll was done about the use of corn stover and rice straw. It was found that in the zone 46 481 hectares are cultivated between rice and corn. Around 60% and 53% of the producers would sell the stubble of rice and corn, respectively. The offer rice and corn harvest waste for the production of lignocellulosic ethanol in the area is 71 097 t of dry matter per year or 194 t/day, which capacity would correspond to a pilot plant or a demonstrative plant.

**KEYWORDS:** Rice straw, corn stover, lignocellulosic ethanol.

### INTRODUCCIÓN

El modelo de desarrollo occidental con base en un alto consumo de combustibles fósiles derivados del petróleo que es un recurso finito. Los biocombustibles como el etanol son una alternativa para las carencias de combustibles fósiles. Entre las principales materias primas para la producción de etanol están aquellas ricas en carbohidratos como jugos azucarados, almidones y los materiales lignocelulósicos.

Con la ley que crea las políticas e incentivos para la producción de biomasa

y biocombustible (Asamblea Nacional 2011), la industria nacional comenzó a utilizar caña de azúcar como alternativa inmediata para producir etanol, sin embargo la zafra se da en cuatro meses durante la estación seca. El resto del año, la destilería deberá usar otras fuentes de carbohidratos como melazas o azúcar. Están surgiendo nuevas tecnologías para producir alcohol lignocelulósico y Panamá es un país con poca cantidad de tierra para expandir su frontera agrícola (Gazzoni 2009). Por lo tanto, surge la oportunidad de optimizar el uso de recursos como los residuos de cosecha en la producción de etanol.

Para que los residuos de cosecha como la paja de arroz y el rastrojo de maíz puedan ser utilizados en la producción de etanol es necesario darles un tratamiento previo. Uno de los tratamientos previos más utilizados es la hidrólisis con ácido sulfúrico. Sin embargo, se requiere el uso de material resistente a la corrosión y manejar un gran volumen de material neutralizante de la solución que se va a fermentar. Para vencer estas dificultades, se ha desarrollado un método conocido como Explosión en Húmedo (Njoku *et al.* 2013).

El uso de residuos de cosecha puede traer beneficios al cultivo como facilitar la germinación y emergencia de la semilla, además de incrementar la salud de la planta. Entre las desventajas de la remoción de los residuos, ocasiona una excesiva exposición del suelo lo que causa erosión. Los nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio removidos con el rastrojo deben ser reemplazados con fertilizantes lo que adiciona un costo al cultivo. La incorporación de la paja en los campos donde se cultiva arroz en fangueo produce metano que es un gas con mayor efecto invernadero que el dióxido de carbono (Abril *et al.* 2009). Al considerar la opción de utilizar los residuos de cosechas, se debe tener presente la sostenibilidad del proyecto basado en las buenas prácticas sobre conservación y fertilidad de suelo.

Para estimar la disponibilidad de rastrojo de maíz se utiliza el índice de cosecha, éste varía en un intervalo entre 47% y 56%. Esto significa que aproximadamente la mitad del peso de la porción de la planta de maíz arriba del suelo es material vegetal (el rastrojo) y la otra mitad es el grano. El índice de cosecha es completamente constante y no cambia mucho en el transcurso de los años aun cuando el rendimiento aumente (Ertl 2013).

La biorefinería requiere un suministro continuo de residuos de cosecha a través de todo el año. Al considerar un sistema logístico de recolección se debe tener en cuenta algunos puntos importantes como: la recolección y transporte a un almacenamiento local, el reemplazo de los nutrientes y el carbón orgánico del suelo, el pago al agricultor o propietario del terreno, compactación en el almacenamiento local y el transporte al usuario final (Morey *et al.* 2010).

En cuanto la relación entre el transporte de la biomasa y el tamaño óptimo de la refinería para la producción de etanol, usando la hidrólisis ácida a través de un modelo en Aspen Plus, se ha demostrado que la capacidad de producción y la producción mínima total, está impactada fuertemente por la

participación del productor de los residuos de cosecha (Leboreiro y Hilaly 2011). Se recomienda que el productor de biocombustible con residuos de cosecha debiera incorporar al agricultor con un 50% de participación.

El propósito de este trabajo fue estimar la oferta de residuos de cosecha de arroz y maíz en un área de un círculo con radio de 100 km tomando como centro la destilería de la empresa Campos de Pesé en Las Cabras, provincia de Herrera.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para el inventario de la oferta de materia prima, se escogió un área de un círculo con un radio aproximado de 100 km alrededor de la destilería de la empresa Campos de Pesé, en Las Cabras. Se observó las provincias y distritos del área seleccionada y se determinó el número de productores de maíz y arroz mecanizado registrados, en los avances de siembra y cosecha del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA) para el mes de noviembre del año agrícola 2013-2014 (Santos 2013).

Con el apoyo de los extensionistas del MIDA, se realizó la encuesta a una muestra de 8,6% de los productores de maíz y a 10,6% de arroz.

En la fase de campo se tomaron datos como coordenadas geográficas de las fincas empleando un Sistema de Posicionamiento Global (GPS, siglas en inglés), nombre del corregimiento, distrito, cantidad de hectáreas cosechadas. Las preguntas del formulario de encuesta fueron cerradas, sobre el tipo de tenencia de la tierra, propiedad del rastrojo, prácticas sobre echar o no ganado a la parcela después de la cosecha, sobre la recolección del rastrojo en forma de pacas, disposición a vender el rastrojo en forma de pacas y participar como socio de una empresa que procesa residuos de cosecha. También, se recolectó información secundaria para complementar la investigación y análisis.

La información fue tabulada en una base de datos en MS Excel® versión 15 y analizadas en InfoStat® (InfoStat/L). Las respuestas de la encuesta se analizaron como variables dicotómicas, codificadas con valores de 1 para la presencia (afirmativa), y 0 para la no presencia (negativa). El análisis estadístico de los datos consistió en tablas y gráficos de frecuencia absoluta y relativa.

Para el cálculo de la oferta de residuos de cosecha se utilizó la ecuación siguiente:

$$D = r \times A \times c \times p \times (100-h)/100 \text{ [Ec. 1]}$$

Dónde:

D=Disponibilidad de residuo de cosecha en términos de materia seca.

r=Rendimiento de residuo en t/ha.

c=Porcentaje recolectado por motivos ambientales.

A=Área cosechada en hectáreas.

p=Porcentaje de productores que venden el residuo de cosecha.

h=Porcentaje de humedad del residuo de cosecha.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontró que el área del círculo de radio aproximado de 100 km alrededor de la destilería Campos de Pesé, comprendía las provincias de Herrera, Los Santos, Coclé y Veraguas. El total de productores de maíz mecanizado de las cuatro provincias fue de 725, mientras que los productores de arroz mecanizado fueron de 585.

Se realizó la encuesta un total de 105 productores. De este total hubo 43% de productores que producían maíz, mientras que 41% arroz. El 16% restante producía tanto arroz como maíz.

## Maíz:

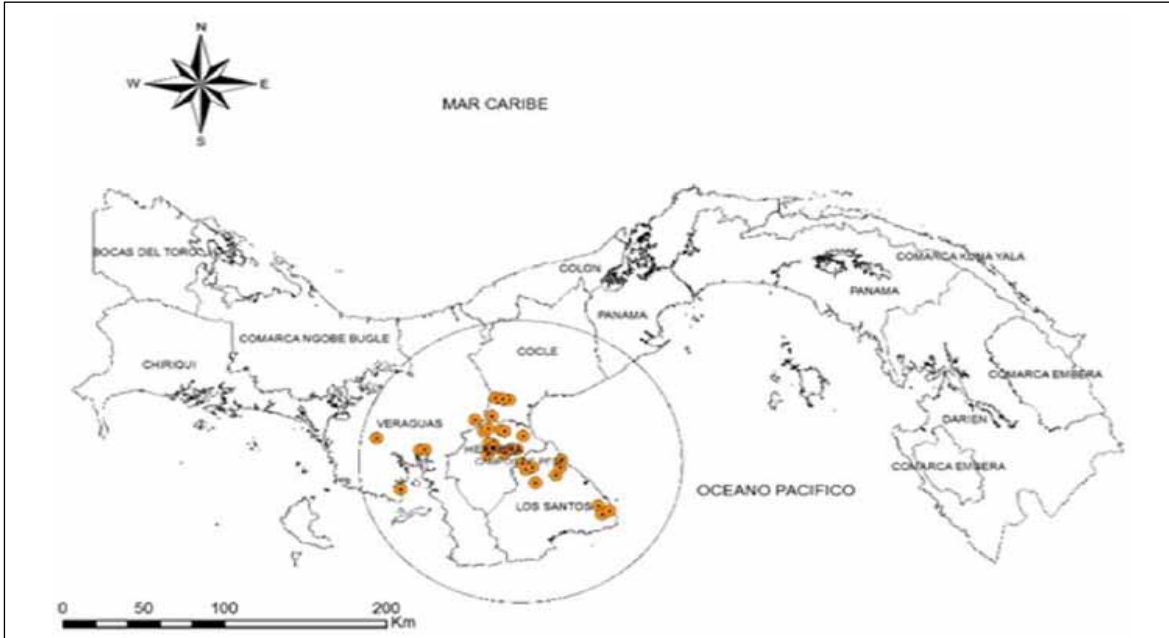
Los productores de maíz consultados fueron 62 distribuidos al azar en la zona de estudio (Figura 1). La frecuencia relativa muestra que el 53% de los entrevistados estarían dispuestos a vender el rastrojo de maíz y el 63% estaría dispuesto a participar como socio de una empresa procesadora de rastrojo de maíz (Figura 2).

## Estimación de la oferta de materia prima: Rastrojo de maíz

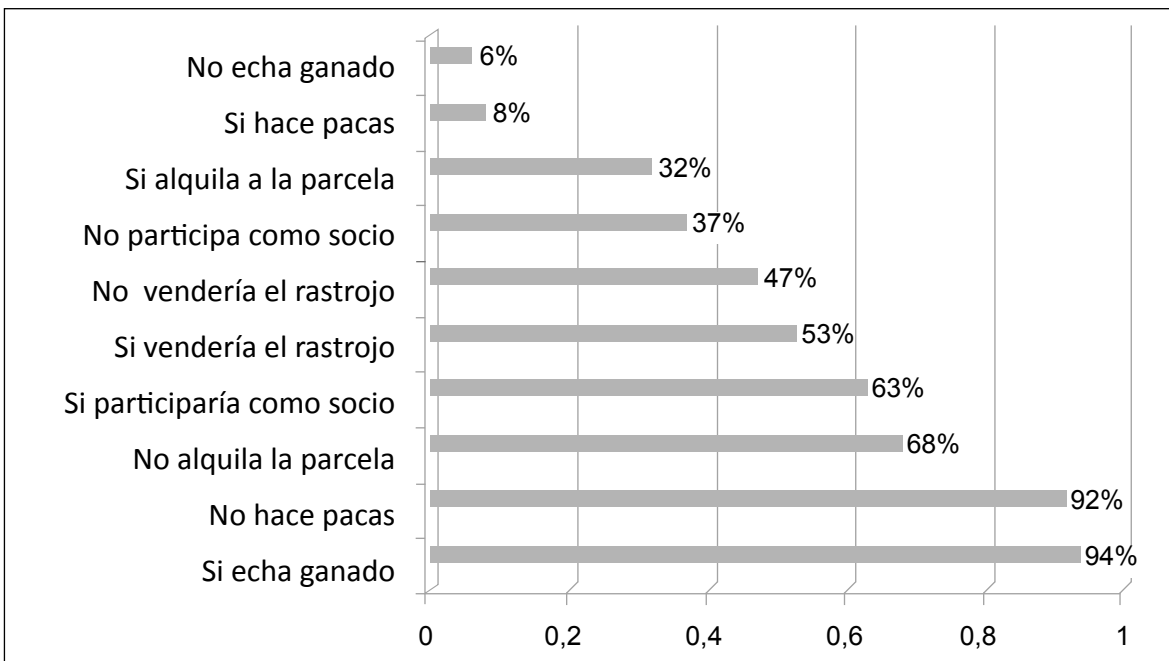
La superficie sembrada y cosechada de maíz en las provincias de Coclé, Herrera, Los Santos y Veraguas suma 15 924 ha (ver Cuadro). Si consideramos que el 53% de los productores venderían el rastrojo de maíz. El grano de maíz representa entre 47% y 56% de la biomasa arriba del suelo, el rastrojo de maíz corresponde aproximadamente a una igual cantidad en peso de maíz en grano cosechado, lo que se sugiere que debe tomar de 2,5 t/ha a 5 t/ha de rastrojo (Ertl 2013) y el resto se deja para la conservación del suelo. Se asume que se deja un 35% del rastrojo para la conservación del suelo. El rendimiento de grano promedio es de 4,54 t/ha y de rastrojo sería 4,82 t/ha con una humedad de 15%.

La oferta de materia seca (MS) de rastrojo de maíz se determino usando la [Ec. 1] sería:

Oferta de rastrojo de maíz =  $4,82 \text{ t/ha} \times 15 \text{ 924 ha} \times 53\% \times 65\% \times (100- 15)/100$   
 Oferta de rastrojo de maíz = 22 475 t



**Figura 1. Distribución geográfica de la muestra de los productores de maíz encuestados.**



**Figura 2. Frecuencia relativa de respuestas al uso del rastrojo de maíz en las provincias centrales de Panamá.**

**CUADRO. NÚMERO DE PRODUCTORES Y SUPERFICIE CULTIVADA DE MAÍZ Y ARROZ EN LAS PROVINCIAS CENTRALES DE PANAMÁ.**

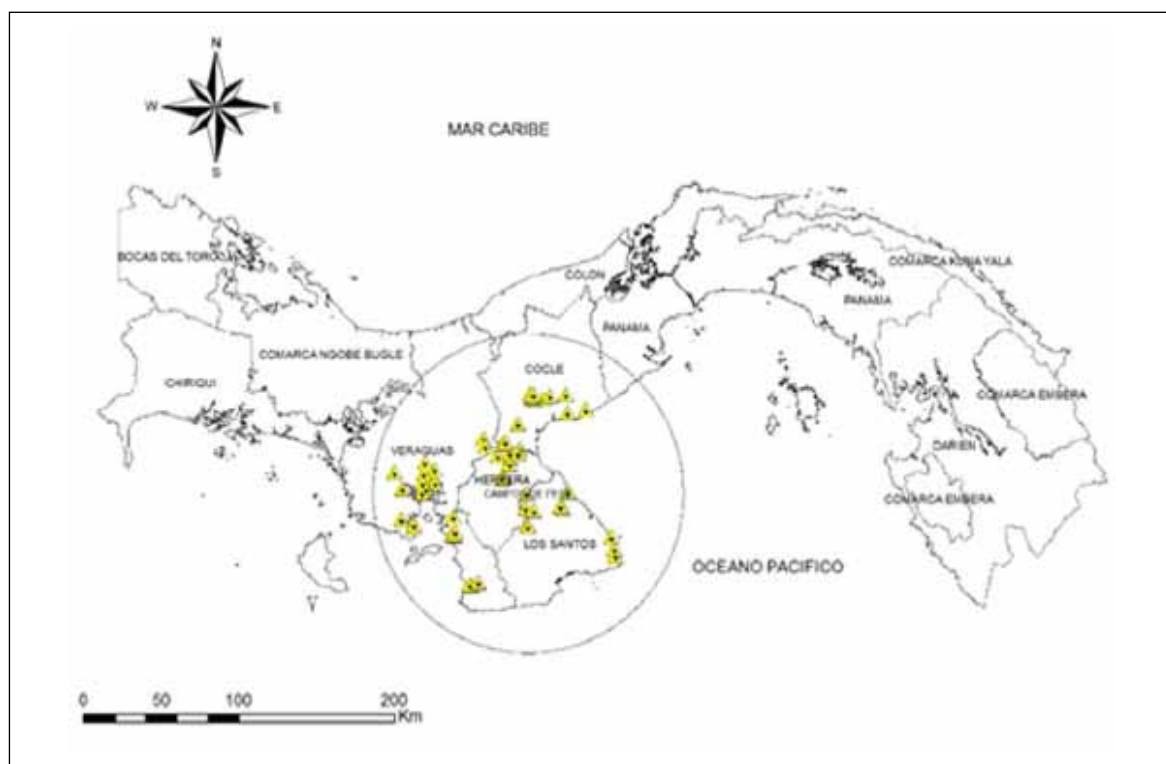
Provincia	Arroz mecanizado		Maíz mecanizado	
	Número de productores	Superficie cultivada (ha)	Número de productores	Superficie cultivada (ha)
Coclé	263	9 584	10	302,30
Herrera	45	655	126	1570,00
Los Santos	161	10 073	583	13 963,88
Veraguas	116	10 245	6	87,70
TOTAL	585	30 557	725	15 923,88

Fuente: Santos 2013

**Arroz**

Los productores de arroz consultados fueron 60 y lo que representó el 10,25% con una localización geográfica al azar (Figura 3). Las frecuencias relativas de las respuestas muestran que

el 77% de los productores de arroz, le echan ganado a la parcela después de la cosecha. Sin embargo, el 60% vendería la paja de arroz y el 57% estaría dispuesto a participar como socio de una empresa procesadora de paja de arroz.

**Figura 3. Distribución geográfica de la muestra de los productores de arroz encuestados.**

La paja de arroz se recoge durante la cosecha de la última coa desde el mes de octubre a diciembre. En la estimación de la cantidad de paja de arroz que se produce se utilizó una relación de residuo/producto de 1,5 es decir que por cada tonelada de arroz se produce 1,5 t de residuo o paja (Diep 2015).

Los productores que han hecho pacas de paja de arroz informaron que la máquina para embalar tiene una capacidad hasta 1000 pacas por día. Cada paca tiene un peso de 15,9 kg y 1 ha de arroz produce aproximadamente 300 pacas<sup>5</sup>, es decir 4,8 t/ha de paja de arroz. La diferencia entre los dos sistemas de cálculo puede estar influida por la altura de corte de la planta de arroz durante la cosecha.

La superficie sembrada y cosechada de arroz en las provincias de Coclé, Herrera, Los Santos y Veraguas suma 30 557 ha (ver Cuadro). Si se considera que el 60% de los productores venderían el rastrojo de arroz, que de acuerdo a consultas hecha a productores (Figura 4), 1 ha de arroz produce 4,8 t/ha de paja y debe dejar un 35% de la paja de arroz en el campo para la conservación del suelo y tiene una humedad de 15%

(Diep 2015). Entonces la oferta materia seca (MS) de paja de arroz según la [Ec. 1] en la zona sería:

$$\text{Oferta de paja de arroz} = 4,8 \text{ t/ha} \times 30\,557 \text{ ha} \times 60\% \times 65\% \times (100 - 15)/100$$

$$\text{Oferta de paja de arroz} = 48\,622 \text{ t MS}$$

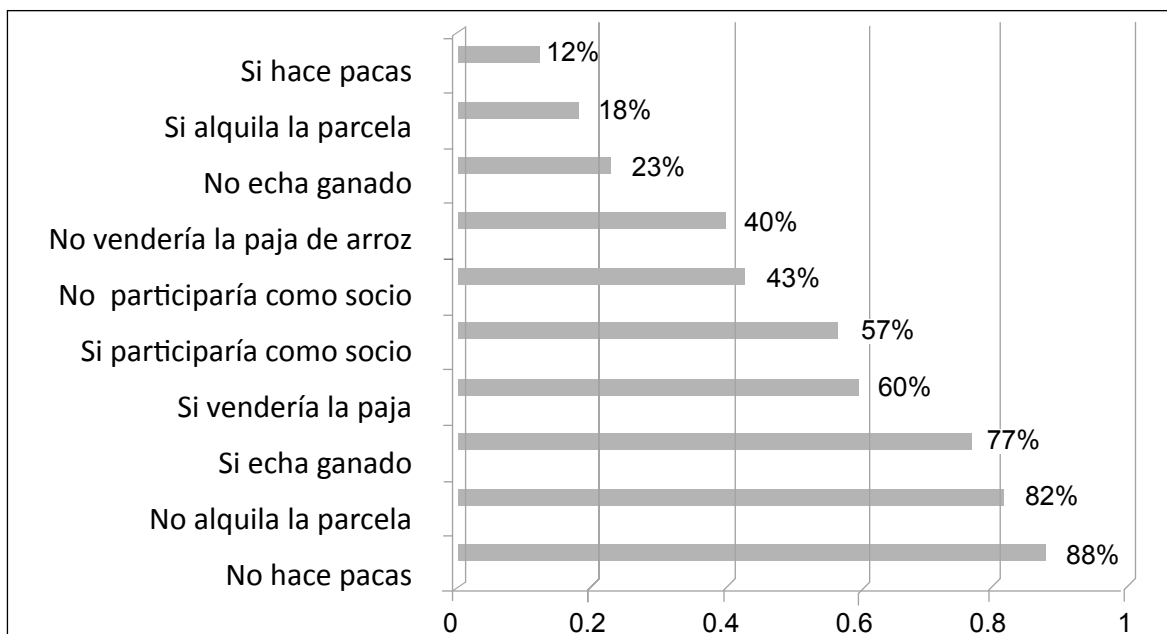
La oferta de rastrojo de maíz y paja de arroz es de 22 475 t MS/año y 48 622 t MS/año, respectivamente y la sumada es de 71 097 t MS/año.

Los productores que no venderían los residuos agrícolas de arroz y maíz representan 40% y 47% de la población potencial, respectivamente. Para promover el desarrollo del etanol lignocelulósico basado en residuos de cosecha de arroz y maíz se tendría que desarrollar una compañía para la utilización de estos residuos dentro de la población de productores de estos rubros.

El tamaño óptimo de una biorefinería para la producción de etanol lignocelulósico usando la hidrólisis ácida tiene una capacidad instalada para procesar 2 000 t MS/día (Leboreiro y Hilaly 2011). Al sumar la oferta es 71 097 t MS/año o 194 t MS/día y no es suficiente para abastecer una planta de producción

<sup>5</sup> Quijada, S. 2014. Cosecha de pacas de paja de arroz (entrevista). Molino Lago Cirino. El Coco de Penonomé, Coclé, república de Panamá.





**Figura 4. Frecuencia relativa de respuestas al uso del rastrojo de arroz en las provincias centrales de Panamá.**

comercial de etanol lignocelulósico. La oferta de residuos de cosecha de arroz y maíz combinados correspondería a la capacidad de una planta piloto o demostrativa.

### CONCLUSIONES

- La oferta de residuos de cosecha de arroz y maíz como materia prima para la producción de etanol lignocelulósico, en las provincias de Coclé, Herrera, Los Santos y Veraguas en un radio de 100 km alrededor de la destilería de la empresa Campos de Pesé es de 71 097 t MS/año.

- La cantidad de materia seca que se obtiene es para abastecer una planta piloto o demostrativa de producción de alcohol lignocelulósico.

### BIBLIOGRAFÍA

- Abril, D; Navarro, E; Abril, A. 2009. La paja de arroz. Consecuencias de su manejo y alternativas de aprovechamiento. Agron. 17(2): 69-79.
- Diep, NQ; Sakanishi, K; Nakagoshi, N; Fujimoto, S; Minowa, T. 2015. Potential for rice straw ethanol production in the Mekong Delta, Vietnam. Renewable Energy 74: 456-463.

- Gazzoni, DL. 2009. Biocombustibles y alimentos en América Latina y el Caribe. San José, CR. IICA. 118 p.
- Ertl, D. 2013. Sustainable Corn Stover Harvest (en línea). IOWA CORN. Consultado 2 feb. 2015. Disponible en [https://www.iowacorn.org/documents/filelibrary/research/research\\_reports/iowaCornResearchBrochure\\_FINAL\\_31478BB786257.pdf](https://www.iowacorn.org/documents/filelibrary/research/research_reports/iowaCornResearchBrochure_FINAL_31478BB786257.pdf).
- Asamblea Nacional. 2011. Ley N° 41 que establece lineamientos para la política nacional sobre biocombustibles y energía eléctrica a partir de biomasa en el territorio nacional. *In* Gaceta Oficial 26770: Diario Oficial. Panamá. 10 p.
- Leboreiro, J; Hilaly, AK. 2011. Biomass Transportation Model and Optimum Plant Size for the Production of Ethanol. *Bio resource Technology* 102(3): 2712-2723.
- Morey, RV; Kaliyan, N; Tiffany, DG; Schmidt, DR. 2010. A Corn Stover Supply Logistics System. *Applied Engineering in Agriculture* 26: 455-461.
- Njoku, SI; Uellendahl, H; Ahring, BK. 2013. Comparing oxidative and dilute acid wet explosion pretreatment of Cocksfoot grass at high dry matter concentration for cellulosic ethanol production. *Energy Science & Engineering* 1(2): 89-98.
- Santos, N. 2013. Registro de productores de maíz y arroz. (Correo electrónico). Los Santos, PA, MIDA.

### **AGRADECIMIENTO**

Deseamos expresar nuestro agradecimiento al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA) por su apoyo y seguimiento en utilización de los resultados de este trabajo dentro del marco de la Alianza de Energía y Clima Para Las Américas (ECPA). A la Dra. Birgitte K. Ahring de la Universidad del Estado de Washington (WSU) por sus recomendaciones y opiniones. Al señor Rafael González de la empresa Campos de Pesé por sus aportes. Al personal del Ministerio de Desarrollo Agropecuario y muy especialmente a los extensionistas y productores nacionales que participaron en la recolección de la información.