

# La caña energética como fuente de generación de energía renovable para calderas de biomasa en la República Dominicana

*Marlen Ramil, Universidad APEC, República Dominicana, mramil@adm.unapec.edu.do*

*Alejandro J. Abril, Universidad UNEV, República Dominicana, aabril@prof.unev.edu.do*

*Marlen C. Alfonso, Universidad APEC, República Dominicana, malfonso@adm.unapec.edu.do*

*Diana R. Abril, Universidad Católica del Maule, Chile, dabril@ucm.cl*

*Ricardo Campo Zabala, Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba. (ATAC), Cuba, campozabala@gmail.com*

*Autor de correspondencia: [mramil@adm.unapec.edu.do](mailto:mramil@adm.unapec.edu.do)*

## Resumen

**Citation:** Ramil, M., Abril, A. J., Alfonso, M., Abril, D. R., & Campo Zabala, R. (2023). La caña energética como fuente de generación de energía renovable para calderas de biomasa en la República Dominicana. *Proceedings of the 2023 Academy of Latin American Business and Sustainability Studies (ALBUS)*, Santo Domingo, Dominican Republic. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10155449>

Las variedades de caña energética se obtienen por hibridación de variedades azucareras comerciales con especies silvestres del género *Saccharum*, cuyo contenido de fibra es igual o mayor a 19%. En el presente trabajo, se muestran los resultados de la siembra y caracterización de cuatro variedades de caña energética, dos de la Universidad de la Florida/Canal Point y dos del INICA de Cuba. Se realizó la caracterización química y morfológica de las variedades y determinación del rendimiento por hectárea. También se realizó su conversión a pellets y su caracterización química y mecánica y poder calórico. Las variedades, en condiciones de secado, mostraron a los 12 meses rendimientos en biomasa seca en el orden de 80-100 t/ha.año, más de 2 veces los de las mejores variedades cañeras y cuatro a cinco veces los reportados para especies forestales. El costo de producción de la caña energética es menor que las especies forestales, el transporte es más simple y emplea la misma tecnología de cosecha de la industria azucarera. Otra de las ventajas de la caña energética, es su capacidad para crecer en terrenos no aptos para la agricultura, por lo que no compite con la producción de alimentos.

**Palabras clave:** Biocombustibles, biomasa vegetal, bosques energéticos, calderas de biomasa, caña de azúcar.

## Introducción

La caña de azúcar constituye una de las plantas de mayor capacidad de conversión de la energía solar en biomasa, dado por sus características de ser una planta del llamado ciclo C4 (Obregón Luna, 1999). Las variedades de caña energética son aquellas F1 no transgénicas obtenidas por hibridación de variedades híbridas azucareras comerciales con especies silvestres, todas del género *Saccharum*; cuyo contenido de fibra base seca es igual o mayor a 19%. Una limitante para la introducción de estas variedades ha sido la tradición de los agricultores de ver la caña solamente como productora de azúcar.

La República Dominicana tiene una gran dependencia de los combustibles fósiles para la generación eléctrica. De acuerdo con la Ley número 57-07 de la Comisión Nacional de Energía (CNE, 2020), sobre Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables de Energía y su reglamento, “instituye un fondo proveniente del diferencial impositivo a los combustibles fósiles, que se mantendrá en el 5 % de dicho diferencial a partir del año 2005 para programas de incentivo al desarrollo de fuentes de energía renovables y al ahorro de energía”. El país cuenta con abundantes fuentes primarias de energía renovable, entre las que figuran las eminentemente agropecuarias, las cuales pueden contribuir a reducir la dependencia de combustibles fósiles importados, si se

desarrolla su explotación, ya que tienen un alto valor estratégico para el abastecimiento del país y/o su exportación.

De acuerdo con la CNE, (2020), “las principales fuentes de biomasa para la generación de energía en el país son la *Acacia Mangium*, *Eucalipto* y *Leucaena* y otros residuos de la agricultura como el bagazo de la caña de azúcar, raleos forestales, aserrín y otros residuos, constituyendo la *Acacia Mangium* como la de mayor consumo en la actualidad”.

A pesar de haber sido divulgado su empleo y ventajas desde hace varios años (Irvine & Benda, 1979; Alexander, 1985), aún no se ha logrado una amplia explotación en el mundo de la caña energética como combustible de calderas de biomasa, empleándose en algunos casos en sustitución de leña en la arrancada de los centrales azucareros. También se está utilizando en la producción de etanol celulósico, como bosques sumideros de CO<sub>2</sub> y como tutores en plantaciones de tomate y otros cultivos protegidos (Abril, 2022). Dentro de las ventajas de la caña energética, es que su siembra, no compite con los cultivos para la producción de alimentos y con las áreas boscosas, ya que puede crecer en terrenos no aptos para la agricultura. Además, estas variedades no son invasivas, crecen en secano y su cosecha emplea la misma tecnología utilizada para la industria azucarera, que constituye una cultura establecida en el país.

En el presente trabajo, se muestran los resultados obtenidos de la siembra y caracterización de cuatro variedades de caña energética en una finca experimental, dos variedades de la Universidad de la Florida/Canal Point y dos variedades del Instituto Cubano de Investigaciones de la caña de azúcar (INICA). Se realizó la caracterización química y morfológica de las variedades, determinación del rendimiento por hectárea a los 12 meses. También se realizó su conversión a pellets a escala piloto y caracterización de los pellets obtenidos teniendo en cuenta sus propiedades mecánicas, composición química, contenidos de cloro y azufre y poder calórico. Se realizó una comparación con otras especies de biomasa forestal como *Acacia Mangium*, *Eucalipto* y *Leucaena*.

## Revisión de literatura

La biomasa vegetal, tiene como antecedentes el empleo de la leña y el carbón vegetal como combustible para la cocción. A partir de 1890, en los Ingenios Azucareros, se inicia la quema del bagazo en calderas para generación eléctrica durante la zafra. Actualmente, la capacidad instalada es de 16 MW en los ingenios y 4.2 MW en otras instalaciones. También existen varias instalaciones que han sustituido calderas convencionales por calderas de biomasa como dos empresas textiles de Zona Franca, Gildan Dominicana y Dos Ríos Enterprises (Gómez, 2016).

En un estudio realizado por la Comisión Nacional de Energía (CNE,2018), se estableció la línea base del mercado de biomasa en la República Dominicana. Se determinó que el consumo diario de biomasa en el 2018 fue de 2,219 toneladas métricas. De los tipos de biomasa estudiados, la *Acacia mangium* fue la especie dominante entre productores e intermediarios. El costo total promedio de la acacia triturada es de \$43 dólares la tonelada métrica, con un precio de venta de \$48 dólares por tonelada métrica. Además, se realizó la caracterización química de nueve muestras de biomasa dominicana forestal, herbácea y residual. El contenido energético (PCS) en base seca varió entre 14.8 y 18.2 MJ/kg, siendo la cascarilla de arroz la de menor poder calorífico y la *Acacia mangium* de Monte Plata la de mayor poder calorífico.

En lo referente al sistema de información geográfica de zonas y potencial de producción de biomasa para la generación industrial de calor y energía eléctrica, se determinó el potencial de biomasa del país para la producción de especies forrajeras y árboles de rápido crecimiento mediante un análisis de georreferenciación de alcance nacional y de capacidad de suelos. Se

estableció que existe un potencial de 476,071 hectáreas para la producción de gramíneas y de 449,248 hectáreas adecuadas para el fomento de especies forestales de alto valor para la producción de energía (CNE, 2018).

República Dominicana cuenta con empresas que suministran una fuente alternativa confiable de energía limpia, este es el caso de Dominican Energy Crops, una empresa propietaria de una finca energética que gestiona 5,000 hectáreas de plantaciones de Acacia para la producción de biomasa y, adicionalmente, concentra sus esfuerzos en desarrollar y gestionar fincas energéticas de terceros, con el propósito de suministrar biomasa de calidad de forma constante, confiable y sostenible (El Dinero, 2018). Dominican Energy Crops tiene su centro de producción principal en los Llanos, San Pedro de Macorís.

Ochs, en su publicación titulada “Aprovechamiento de los Recursos de Energía Sostenible de la República Dominicana” (2015) “expresa que el país produce alrededor de 1.5 millones de toneladas de bagazo de caña de azúcar al año y solo el 30% se utiliza para generar electricidad, aunque los principales ingenios azucareros utilizan bagazo para la cogeneración”.

El desarrollo de variedades de caña energética en la República Dominicana, se vincula de forma específica con la Ley 1-12, Estrategia Nacional de Desarrollo 2030 en su Tercer Eje Estratégico que postula “Una economía territorial y sectorialmente integrada, innovadora, diversificada, plural, orientada a la calidad y ambientalmente sostenible, que crea y desconcentra la riqueza, genera crecimiento alto y sostenido con equidad y empleo digno, y que aprovecha y potencia las oportunidades del mercado local y se inserta de forma competitiva en la economía global.” Específicamente en los objetivos 2. Energía confiable, eficiente y ambientalmente sostenible y 3. Competitividad e innovación en un ambiente favorable a la cooperación y la responsabilidad social.

También el desarrollo de estas variedades se vincula con los Objetivos de Desarrollo sostenible para el 2030, en los objetivos 7, “Energía asequible y no contaminante” y 13, “Acción por el clima”.

En los Estados Unidos, tres compañías están operando plantas de bioetanol, a partir de residuos de cosechas y caña energética (Hirasawa & Kajita, 2014). Un estudio realizado en la Universidad Estatal de Luisiana, determinó un costo entre 70 y 110 dólares la tonelada seca de caña energética para su uso como materia prima para la obtención de etanol celulósico (Salassi & Falconer, 2015).

Se reporta en Biofuel Digest (2011) que, en Texas la firma BP ha comenzado la siembra de 120 ha de caña energética para la producción de etanol de segunda generación, que se extenderán a 20,000 ha. Otras plantas de etanol celulósico en la Florida también están empleando caña energética como materia prima. La Universidad de la Florida en cooperación con centros de Luisiana y la Estación del Ministerio de Agricultura de Estados Unidos (Canal Point), están desarrollando variedades de caña energética de alto rendimiento y resistentes a enfermedades y a bajas temperaturas.

Otros países que trabajan en aplicaciones de la caña energética son Brasil, Cuba y el centro francés CIRAD (Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo) que tiene estaciones en varias islas del Caribe.

La caña de azúcar constituye una de las plantas de mayor capacidad de conversión de la energía solar en biomasa, dado por sus características de ser una planta del llamado ciclo C4 (Triana & Leonard, 1990). Las variedades de caña energética son aquellas F1 no transgénicas obtenidas por hibridación de variedades híbridas azucareras comerciales con especies silvestres, todas del género *Saccharum*, cuyo contenido de fibra base seca es igual o mayor a 19%

(Keenlside,1986) También se han denominado “Variedades cañeras de muy alto contenido de fibra” (Jorge & Vera, 2005). Tew y Cobil (2008) clasificaron a la caña energética en dos categorías: Tipo I y Tipo II. El Tipo I es más cercano a la caña azucarera tradicional, pero con un menor contenido de sacarosa y mayor fibra. El Tipo II, solamente tiene muy poco contenido de azúcar y muy alto de fibra y es apto solamente para la generación de biomasa. (Santchurn & Ramdoyal, 2014).

El programa de desarrollo de variedades de Estados Unidos, mantiene el interés en la energía de biomasa. Como resultado, el programa de Luisiana liberó tres cultivares de forma exitosa (Tew & Cobil, 2007)). En la Florida, se han desarrollado varias variedades de caña energética (Mislevy & Martin, 1995) encontraron que la primera generación de híbridos (F1) es la más apropiada como caña energética. Korndorfer, (2011) encontró que la caña energética era más apropiada que la yerba gigante (*Arundo donax* L.) como fuente de biomasa en los suelos arenosos del sur de la florida. Adicionalmente, (Álvarez y Helsel, 2011) concluyeron que la caña energética tenía un gran potencial como fuente de biomasa en la Florida. Mark (2010), presentó un trabajo conjunto con especialistas de 8 estados del sureste de Estados Unidos con las ventajas del empleo de la caña energética en latitudes hasta 33°N (Viator & White, 2010). En el trabajo se identificaron más de 1,500,000 hectáreas con potencialidad para el desarrollo de la caña energética.

En Barbados, se han sembrado cultivares de caña energética con más de 25% de fibra para la generación de electricidad (Rao & Davis, 2007). En las Islas Mauricio, desarrollaron un programa semejante (Ramdoyal & Badaloo, 2002).

En Texas, el programa de biomasa de la Universidad A&M ha intentado obtener híbridos entre *Miscanthus* y caña de azúcar el “Miscane” (Jessup, 2009); con la característica de ser resistente a las congelaciones, para lograr su cultivo en latitudes altas (Viator & White, 2010). Otros países que reportan el desarrollo de variedades de caña energética son Japón, (Sugimoto & Terajima, 2012), y Tailandia (Rao & Weerathaworn, 2009). En Brasil, el pionero en el desarrollo de caña energética fue Canavialis, una compañía privada obteniendo rendimientos 138% superiores a la caña tradicional (Matsuoka & Bressiani, 2012).

En España, la empresa Biothek Ecology Fuel ha reportado el desarrollo de las variedades de caña energética y *Arundo K12* para su empleo como combustible renovable (Traxco, 2015). También se han estudiado las posibilidades de la caña energética como fuente fibrosa en la industria de celulosa y papel (Triana & Abril, 2008).

Estudios realizados por el Instituto Cubano de Investigaciones de la caña de Azúcar (INICA) (Ponce, 1993), muestran los resultados de la selección y evaluación de individuos del banco de germoplasma de la caña de azúcar, en relación con los índices agrícolas que determinan la producción de biomasa. Se analizó el contenido de fibra, como elemento fundamental que caracteriza una variedad para uso energético. Los individuos seleccionados, incluyeron F1, BC1 de *Saccharum Officinarum* por *Saccharum Spontaneum* y variedades de *Saccharum Robustum*, *Saccharum Barberi* y *Saccharum Sinense*. Los más prometedores pasaron a una etapa de estudios intensivos para observar su comportamiento agrícola en diferentes suelos y zonas climáticas del país y evaluar su reacción ante la roya y el carbón.

A las variedades seleccionadas se les efectuó un análisis de contenido de fibra, materia seca y humedad a varias edades de cosecha y diferentes tiempos después de cortadas. A las de mejor comportamiento integral (Agrícola, fitopatología y energético) se les determinó el calor de combustión de su materia seca (Milanés, 1994), además de la producción de tallos y biomasa por el método de estimación.

Los individuos de mejor comportamiento fueron los F1. El material seleccionado presentó alta resistencia a las enfermedades como roya y carbón, tanto en condiciones naturales como en prueba bajo infección artificial. La mayor producción de biomasa de tallos correspondió a las variedades F1 aportando entre 100 y 180 toneladas por hectárea por año, en dependencia del tipo de suelo y las condiciones de lluvia imperantes.

En relación con la época de cosecha, son más versátiles las variedades de caña energética que las productoras de azúcar. Se pueden cosechar con 10 o 12 meses de edad. El aumento de la edad y los efectos de la floración ayudan a la desecación de los tallos, lo que favorece el aprovechamiento energético (Obregón, 1999).

La utilización de la caña como combustible, se debe realizar con humedad menor de 25 %, la cual se alcanza de 30 a 45 días después de cortadas las cañas. Después de 2 meses de cosechadas adquieren la humedad de equilibrio entre 12 y 15 %. El valor como combustible de la caña energética es equivalente a 15 t de petróleo/ha por año, para un rendimiento de 100 t/ha. Se reporta en un estudio del balance energético de variedades de 12 meses y rendimientos de 100 t/ha/año (Jorge & Vera, 2005), que cada hectárea sembrada de estas variedades representa 15 t de petróleo equivalente. Sobre las características del terreno, el mismo autor destaca que estas variedades crecen en terrenos muy pobres que no son aptos para otros cultivos, por lo que otra ventaja de este tipo de caña es que no compite con las áreas para la producción de alimentos.

Otra de las ventajas de la caña energética, es el alto número de cañas que produce por plantón, no solo en caña planta, sino en los retoños (Matsuoka & Stolf, 2012), lo cual influye en los altos rendimientos obtenidos al generar de tres a cinco veces más tallos que las variedades tradicionales (Matsuoka, 2013).

Se reporta que la longitud de las fibras son el doble de las variedades tradicionales (2 mm) y las propiedades de las muestras de papel obtenidas son semejantes a las producidas con maderas duras (Triana & Abril, 2008).

Una de las dificultades para la introducción de la caña energética, ha sido la falta de un valor de referencia de estas variedades, no en relación al contenido de azúcar, que es el método tradicional, sino en referencia a los combustibles fósiles que sustituye. Un trabajo de Abril y colaboradores (2019) hace una propuesta de valorar las variedades de caña energética en referencia al petróleo o carbón sustituido, lo cual puede representar un estímulo para los productores de estas variedades.

En general, un cultivo energético debe reunir las siguientes características para ser viable.

- Ser fácil de procesar para convertirlo en una forma factible de alimentar una caldera.
- Alta densidad de energía.
- Alto rendimiento en materia seca/área/año
- Disponible todo el año.
- Favorable costo de producción.
- Renovable.
- No competir con la producción de alimentos.

## **Materiales y Métodos**

### **Siembra de variedades de caña energética**

Se sembraron 4 variedades de caña energética, dos de la Universidad de La Florida, Estados Unidos de América, UFCP 821655 y UFCP 781013 y dos variedades del Instituto Cubano de

Investigaciones de la caña de azúcar, (INICA), Cuba, C90-176 y C90-178. Las variedades se adquirieron en forma de esquejes, con certificación de libres de plagas y enfermedades, mediante los permisos correspondientes de la Dirección de Sanidad Vegetal del Ministerio de la Agricultura de la República Dominicana. Las siembras se realizaron en el mes de septiembre.

En la Tabla 1, se muestran los parámetros establecidos para la siembra de las cuatro variedades.

**Tabla 1.** Parámetros establecidos para la siembra de los esquejes de las cuatro variedades de caña energética.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Forma de siembra	manual
Distancia entre surcos	0.80 m
Altura de surcos	0.20 m
Profundidad de siembra de esquejes	0.15 m
Distancia entre esquejes	0.20 m
Número de yemas en los esquejes	2
Fertilizante empleado	NPK 25-05-18
Fertilizante añadido	20 g/esqueje
Riego en la siembra	20 litros/m <sup>2</sup>
Riego posterior	Sin riego

Se sembraron aproximadamente 0.1 ha de cada variedad en una finca experimental localizada en el municipio de Guerra, dedicada a la siembra de variedades de caña y yerba elefante. Las características del suelo están clasificadas como tipo III y corresponden a vertisuelos negros sin regadío.

#### **Muestreo de caña energética para análisis físico-químicos**

Se seleccionó el método DIECA, (Badilla, 2002) donde se tomaron 5 metros lineales en dos surcos. En ambos se seleccionaron 6 cañas al azar por punto de muestreo, para hacer un total de 20 cañas por muestra. Se cortaron de forma integral las cañas, incluyendo cogollo, tallos y hojas. Se transportaron hacia el laboratorio para su procesamiento antes de las 4 horas de cortada.

#### **Caracterización morfológica de las variedades de caña energética**

Las determinaciones del largo de fibras se realizaron mediante un microscopio MOTIC SMZ-161 Series stereo Zoom Microscope acoplado a un software de análisis de imágenes usando el método modificado TAPPI T 9 wd-75 (Holocellulose in wood).

#### **Caracterización físico-química de las muestras de caña energética**

##### **Determinación de cenizas.**

Se realizó por combustión en una mufla a 550°C, de acuerdo al método por pesada ASTM D1102-56.

##### **Determinación de carbohidratos estructurales (celulosa, hemicelulosas y lignina).**

Se realizó la determinación de celulosa, hemicelulosa y lignina, de acuerdo a la norma NREL TP-510-42618, empleando espectroscopia UV-visible y HPLC.

##### **Determinación del rendimiento de las variedades de caña energética al año de sembradas.**

Se realizó el procedimiento siguiente para cada variedad:

- Se marca un área de 1m<sup>2</sup> a partir del centro de un plantón y se repite en otras 2 áreas.
- Se cuenta el número de cañas en el área seleccionada y se promedian.

- Se realiza el corte de 20 cañas de la variedad de forma aleatoria en todo el campo.
- Se cortan las cañas en porciones adecuadas de aproximadamente 40 cm y se pesan.
- Calcular el rendimiento en t/ha, multiplicando el peso de una caña por el número de caña por metro cuadrado por 10000 m<sup>2</sup>/ha.

#### **Determinación de la humedad de la caña.**

Se realizó la determinación de humedad en caña por secado en estufa, por el método ICUMSA GS7-5 (1994).

### **Confección de pellets de caña energética para su evaluación como combustible**

#### **Recepción**

Se cortaron en el campo experimental, de forma manual aproximadamente 250 kg de caña de cada una de las 4 variedades con edades de 12 meses, de forma integral (tallos, paja y cogollo), se cortaron en trozos de aproximadamente 40 cm.

#### **Secado de la caña**

Los trozos de caña se secaron en secador solar con cubierta de policarbonato, durante 6 horas a temperatura de 60°C y humedad externa de 50%, alcanzando una humedad entre los 20% y 25%.

#### **Molida**

La molida de la caña seca se realizó con un molino de martillos (Buskirk, USA, Modelo HM1000) equipado con un motor de 20HP y malla de salida con perforaciones de 3 mm.

#### **Peletización**

El Molino de martillos está conectado con la peletizadora mediante un transportador de manera de lograr un proceso continuo de molida-peletización. Los pellets obtenidos se dejaron reposar hasta alcanzar la temperatura ambiente y se envasaron en bolsas de PE selladas de 20 kg. Los pellets se evaluaron de acuerdo a las normas del Pellet Fuels Institute (2018).

#### **Determinación de composición química y poder calorífico de pellets de caña energética**

Las determinaciones se realizaron a través de la Empresa X Solutions de Chile en los laboratorios de la Universidad Católica del Maule, Chile, de acuerdo a las normas Norma ISO 17225-2 (2014) "Biocombustibles sólidos - Especificaciones de combustibles y clases.

Se procesaron 2 kg de cada muestra en forma de pellets.

Las muestras se prepararon de acuerdo a la norma UNE-CEN/TS 14780 EX aplicable a biocombustibles sólidos.

#### **Tratamiento matemático de los resultados experimentales.**

En general, se les determinó el coeficiente de variación a los resultados experimentales, de acuerdo a la expresión  $CV \pm t.s/n^{1/2}$ , donde CV es el coeficiente de variación, t es el estadígrafo de t de student para 95% de confianza y n-1 grados de libertad, n es el número de determinaciones.

## Resultados

### Siembra de variedades de caña energética.

#### Supervivencia a los 30 días.

En la Tabla 2, se muestran los resultados de supervivencia de los esquejes a los 30 días de sembrados.

**Tabla 2.** Resultados de la siembra de las cuatro variedades a los 30 días.

Variedad	Esquejes sembrados ( $\pm 20$ )	Supervivencia (%)	Cañas por plantón (promedio)	Altura de tallos promedio (cm)
C90-176	800	82	8	25
C90-178	800	88	7	22
UFCP 821655	800	83	9	23
UFCP 781013	800	81	7	24

Como se destaca en la tabla, los porcentajes de supervivencia de ambas variedades fueron muy altas, debido a la buena calidad de las semillas y la rapidez del envío y sembrado. Se observó que los esquejes tenían gran cantidad de yemas activas, lo que se debe a proceden de cañas de 9 a 10 meses de edad.

#### Caracterización química de las variedades de caña energética. (12 meses)

En la Tabla 3. Se muestran los resultados de la caracterización química de las cuatro variedades de caña energética, mediante los métodos NREL.

**Tabla 3.** Caracterización Química de las variedades de caña energética. (12 meses)

No	Determinación	Valor (%)			
1	Variedad	<b>C90-176</b>	<b>C90-178</b>	<b>UFCP 821655</b>	<b>UFCP 781013</b>
2	Celulosa	46 $\pm$ 2	45 $\pm$ 2	47 $\pm$ 2	48 $\pm$ 2
3	Hemicelulosas	29 $\pm$ 3	29 $\pm$ 3	28 $\pm$ 4	28 $\pm$ 3
4	Lignina	23 $\pm$ 3	23 $\pm$ 3	20 $\pm$ 3	20 $\pm$ 3
5	Cenizas	1.7 $\pm$ 0.1	1.8 $\pm$ 0.1	2.0 $\pm$ 0.2	2.0 $\pm$ 0.2

Comparando las composiciones químicas entre las cuatro variedades, ANOVA por programa SPSS 25, se encontró que no existen diferencias significativas entre las mismas, lo cual es de esperar teniendo en cuenta que proceden, en todos los casos, de variedades F1 no transgénicas obtenidas por hibridación de variedades híbridas azucareras comerciales con especies silvestres, todas del género *Saccharum* (Jorge & Vera, 2005). Es de destacar los bajos contenidos de cenizas, lo que favorece su empleo como combustible en calderas.

#### Caracterización morfológica de las variedades de caña energética.

Los resultados de la caracterización morfológica de las cuatro variedades de caña energética se muestran en la Tabla 4. Se comparan con variedades azucareras, Pino y Eucaliptus. Es de destacar que el largo de fibra de las variedades energéticas es aproximadamente el doble de las variedades azucareras y mayores que las del Eucalipto, lo cual les aporta una característica muy favorable para su empleo en aplicaciones como fibra vegetal en las industrias de papel, tableros, productos moldeados y usos en la artesanía.

**Tabla 4.** Caracterización morfológica de las variedades de caña energética

<b>Variedad</b>	<b>Largo de fibra (mm) (L)</b>	<b>Diámetro de fibra (µm) (D)</b>	<b>Delgadez (L/D)</b>
Caña energética: C90-176	2.2±0.2	24±0.3	92
Caña energética: C90-178	2.1±0.2	24±0.3	88
Caña energética: UFCP 1	2.1±0.2	23±0.3	87
Caña energética: UFCP 2	2.0±0.2	23±0.3	87
Ja 60-5 (Caña Azucarera) **	1.1	23	49
Ba. 43-26 (Caña Azucarera) **	1.3	22	57
Pino ( <i>Pinus sylvestris</i> ) **	2.9	28	104
<i>Eucalyptus globulus</i> , (7-year) **	1.0	13	77

\*\* La Industria de los Derivados de la Caña de Azúcar. In Chapter. IV. p. 115. Compendio de los Derivados de la Caña de Azúcar. ICIDCA (2004) ISBN 959-7165-14-7.

### **Rendimiento de las variedades de caña energética al año de sembradas.**

En la Tabla 5 aparecen los valores de la caracterización y rendimientos por hectárea de las cuatro variedades estudiadas, a los 12 meses de sembradas.

**Tabla 5.** Rendimiento por hectárea de las variedades a los 12 meses.

<b>VARIEDAD</b>	<b>C90-176</b>	<b>C90-178</b>	<b>UFCP 821655</b>	<b>UFCP 781013</b>
No. De cañas promedio por m2	46	45	53	52
Largo de tallos cm	232	228	205	234
Diámetro de los tallos (cm)	4.8	4.6	3.8	3.6
Distancia entre yemas cm	18	17	16	17
Peso de la paja kg (20 cañas)	0.70	0.73	0.95	0.90
Peso del cogollo kg (20 cañas)	1.85	1.75	1.60	1.65
Peso de los tallos kg (20 cañas)	8.69	8.70	7.00	7.05
Peso total kg (20 cañas)	11.24	11.18	9.59	9.60
Rendimiento (t/ha)	259	252	254	250
Rendimiento Tallos (t/ha)	200	196	186	183

Las variedades C90-176 y C90 -178, se diferencian de las UFCP, en que las primeras tienen un diámetro de tallos mayor. Sin embargo, las UFCP, tienen un mayor número de cañas por metro cuadrado, lo cual en cierta forma uniforma los rendimientos obtenidos por hectárea. Los rendimientos en todos los casos están en el orden de las 200 t/ha, valores muy superiores a cualquier cultivo energético.

Estos rendimientos se obtuvieron en un campo experimental, por lo que en condiciones prácticas de un campo normal, los rendimientos pueden ser menores, en el orden de 120-150 t/ha.año.

### **Contenido de humedad de las variedades de caña energética.**

En la Tabla 6, se muestran los contenidos de humedad de los componentes de las cuatro variedades. Estos valores son de importancia para su empleo como combustible directo en calderas de biomasa. La humedad de los tallos de las variedades C90-176 y C90-178, son inferiores a las de las variedades de la Universidad de la Florida, lo que les confiere una ventaja para su uso como combustible. En todos los casos, a los 30 días de cortadas, todas las variedades secadas al aire adquieren un contenido de humedad entre 15% y 20 %, lo que se corresponde con lo reportado por Jorge (2005).

**Tabla 6.** Contenido de humedad de las variedades. (%)

VARIEDAD	C90-176	C90-178	UFCP 821655	UFCP 781013
Paja	27.5	30.2	28.5	32.2
Cogollo	54.0	55.3	56.0	55.5
Tallos	50.2	51.3	57.2	56.3

**Confección de pellets de las variedades de caña energética para su evaluación como combustible.**

### Propiedades mecánicas de los pellets producidos a escala piloto.

**Tabla 7.** Propiedades mecánicas de los pellets.

No	Análisis	C90-176	C90-178	UFCP 821655	UFCP 781013
1	Durabilidad Mecánica (%)	96±4	95±6	93±4	95±4
2	Densidad a Granel (kg/m <sup>3</sup> )	660.5±0.4	663.0±0.5	662.5±0.4	661.5±0.3
3	Finos (%<3.15 mm)	1.6±0.4	1.7±0.3	1.8±0.5	1.8±0.6
4	Diámetro (mm)	6.1±0.2	6.0±0.3	6.2±0.3	6.1±0.2
5	Longitud (mm)	30.0±0.6	32.0±0.7	31.0±0.8	33.0±0.6

Las propiedades mecánicas de los pellets obtenidos a partir de las cuatro variedades de caña energética se muestran en la Tabla 7. Se emplearon las normas del Pellet Fuel Institute (2018) Los resultados muestran que no existen diferencias en las características físicas de los pellets obtenidos, lo cual es de esperar teniendo en cuenta que las composiciones químicas de las diferentes variedades (celulosa, hemicelulosas, lignina y cenizas) no tienen diferencias. Los valores se encuentran dentro de los rangos recomendados para el empleo de pellets como combustible en calderas de biomasa, en especial una durabilidad mecánica mayor de 90%, mayor del valor de 85% recomendado por la norma.

### Determinación de composición química y poder calorífico de pellets de caña energética.

En la Tabla 8. Se muestran los resultados de la determinación de la composición química y el poder calorífico superior e inferior de las cuatro variedades de caña energética.

**Tabla 8.** Composición química y poder calorífico de pellets de caña energética.

No	Análisis	C90-176	C90-178	UFCP 821655	UFCP 781013
1	Humedad (%)	8.3±0.2	8.1±0.3	8.5±0.2	8.5±0.3
2	Cenizas (%)	1.5±0.1	1.6±0.2	1.7±0.2	1.6±0.1
3	PCS (MJ/kg)	18.5±0.3	18.0±0.4	18.1±0.4	18.5±0.5
4	PCI (MJ/kg)	15.6±0.3	15.1±0.4	15.0±0.3	15.4±0.5
5	Carbono (%)	48.3±0.3	47.6±0.5	48.0±0.4	47.9±0.5
6	Hidrógeno (%)	5.5±0.2	5.8±0.3	6.0±0.2	5.7±0.3
7	Nitrógeno (%)	1.1±0.2	0.9±0.3	1.0±0.3	1.0±0.3
8	Azufre (mg/kg)	0.023±0.005	0.025±0.003	0.028±0.004	0.024±0.005
9	Cloro (mg/kg)	0.016±0.002	0.015±0.003	0.017±0.002	0.016±0.003

Poder calórico superior (PCS)    Poder calórico inferior (PCI)

Es de destacar el bajo contenido de cenizas que presentan las 4 variedades y el alto valor del poder calorífico, lo que favorece su empleo como combustible en calderas. El Poder calorífico es similar al reportado para las especies maderables y residuos forestales (CNE, 2018). Los

contenidos de cloro y azufre son muy bajos, lo cual es otra ventaja para su empleo como combustible de calderas de biomasa.

### Comparación de la caña energética con otras fuentes de biomasa vegetal para la generación de energía.

En la Tabla 9, se realiza una comparación entre las principales fuentes de biomasa vegetal empleadas en la República Dominicana para la generación de energía en calderas.

**Tabla 9.** Comparación de la caña energética con principales especies de biomasa forestal

Propiedad/Especie	Caña energética (1)	Acacia Mangium (2)	Eucalipto (3)	Leucaena (4)
Rendimiento (t/ha.año)	80-100	12-19	16-25	15-20
Poder Calorífico (MJ/kg) (seca)	18.3	18.1	19.7	17.1
Costo por t (USD)	26	43	48	nd
Especie invasora	no	no	no	si
Tipo de tecnología	Azucarera	Forestal	Forestal	forestal

(1) Abril, 2019 (2) CNE,2018 (3) Brown, 2000 (4) Aldana & Casanova, 2010

En la Tabla se destaca que los valores de poder calórico, son semejantes, con un valor ligeramente superior para el eucalipto. Los rendimientos de la caña energética, son 4 a 5 veces superiores que los de las especies forestales, siendo posiblemente una de las especies vegetales de mayor rendimiento conocidas. El costo de producción de la caña energética es menor que el de las especies forestales, lo cual se debe fundamentalmente a que no requiere del proceso de astillado, el transporte es más simple y además emplea la misma tecnología que se utiliza en la industria azucarera, de la cual existe una gran tradición en el país. Otras de las ventajas de la caña energética, es su capacidad para crecer en terrenos no aptos para la agricultura, por lo que no compite con la producción de alimentos.

### Conclusiones

Se logró la introducción en República Dominicana de cuatro variedades de Caña energética, las cuales tuvieron una adaptación excelente a las condiciones climáticas del país. Las variedades, en condiciones de secano, han mostrado un vigoroso crecimiento y ahijamiento. A los 12 meses las cuatro variedades presentan rendimientos en biomasa alrededor de 200 t/ha.año, lo cual representa para caña seca, en el orden de 80-100 t/ha.año, más de 2 veces los de las mejores variedades cañeras y cuatro a cinco veces los reportados para especies forestales. Se logró, además, establecer un procedimiento a ciclo completo, de corte, secado, molida y paletizado de la caña energética, sin necesidad de molida en un ingenio azucarero. El costo de producción de la caña energética es menor que las especies forestales, el transporte es más simple y además emplea la misma tecnología de recolección que se utiliza en la industria azucarera, de la cual existe una gran tradición en el país. Otras de las ventajas de la caña energética, es su capacidad para crecer en terrenos no aptos para la agricultura, por lo que no compite con la producción de alimentos, representando además una vía para su empleo como bosque sumidero de CO<sub>2</sub>, por su gran capacidad para fijar este gas de efecto invernadero, como una importante contribución al medio ambiente. Una perspectiva de empleo de estas variedades es su conversión en pellets para la exportación, de los cuales existe un creciente mercado a precios muy favorables en Europa y los Estados Unidos de América.

## Referencias

- Abril, A., Ramil, M., Abril, D., & Campo-Zabala, R. (2019). Caña energética como combustible de calderas de biomasa. Propuesta de precio como alternativa al petróleo y al carbón. ICIDCA Sobre los derivados de la caña de azúcar, 53(3),15-19. <https://www.researchgate.net/publication/341494349>
- Abril, A., Ramil, M., Abril, D., & Campo-Zabala, R.(2022). *Siembra y caracterización de cuatro variedades de caña energética en República Dominicana. Resultados preliminares.* Congreso Diversificación 2022. La Habana, Cuba.
- Alexander, A.G. (1985). *The energy cane alternative.* Elsevier Science Publishers. B.V. 509 pp. Amsterdam.
- Alvarez, J. & Helsel, Z.R. (2011). Economic Feasibility of Biofuel Crops in Florida: *Energycane on Mineral Soils*, 2011, (on line) <http://edis.ifas.ufl.edu/SC089>.
- Badilla, F. F. (2002). Un programa exitoso de control biológico de insectos plaga de la caña de azúcar en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 64, 77-87. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6868>
- Biofuels Digest.(2011). BP mulling 70 million gallon cane ethanol plant in Texas? September 28, 2011, (en línea). <https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2011/09/28/bp-mulling-70-million-gallon-cane-ethanol-plant-in-texas/>
- Brown, C.(2000). Perspectivas mundiales del suministro futuro de madera procedente de plantaciones forestales. Oficial Forestal (plantaciones) Dirección de Políticas y Planificación Forestales, Roma. <https://www.fao.org/3/x8423s/x8423s.pdf>
- CNE. (2018). Licitación Pública Nacional CCC-CNE-LPN-2014-0003, En la República Dominicana, Estudio de la producción actual y potencial de biomasa para la generación de energía. [https://www.cne.gob.do/wp-content/uploads/2018/11/Consolidado2520Estudio2520Biomasa\\_FINAL2520CORREGIDO.pdf](https://www.cne.gob.do/wp-content/uploads/2018/11/Consolidado2520Estudio2520Biomasa_FINAL2520CORREGIDO.pdf)
- CNE. (2020). Ley número 57-07 Sobre Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables de Energía y sus Regímenes Especiales y su reglamento. (en línea) <http://www.cne.gob.do>
- El Dinero. (2018). Fincas energéticas “siembran energía” en República Dominicana. (en línea) <https://www.eldinero.com.do/61040/fincas-energeticas-siembran-energia-en-republica-dominicana/>
- Gómez, R.F. (2016). Generación de energía a partir de la biomasa, División de Biocombustibles,CNE,abril,2016. <http://www.oas.org/es/sedi/DSD/Biodiversidad/Eventos/Cursos/RepublicaDominicana/M%C3%B3dulo%20V/Documentos/Biomasa%20como%20f>
- Hirasawa, T. & Kajita, S. (2014). Production Technology for Bioenergy Crops and Trees. in *Research Approaches to Sustainable Biomass Systems*, 2014, (en línea) <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/energy-cane>
- Irvine, J.E. & Benda, G.T.A.(1979). *Genetic potential and restraints in Saccharum as an energy source. Alternative uses of sugarcane for development.* 26–27 March, 1979, San Juan, P.R. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-70805-8>
- Jessup, R.W. (2009). Development and status of dedicated energy crops in the United States, In *Vitro Cellular & Developmental Biology—Plant*, 45(3), 282–290. [https://www.researchgate.net/publication/225552233\\_Development\\_and\\_Status\\_of\\_Dedicated\\_Energy\\_Crops\\_in\\_the\\_United\\_States](https://www.researchgate.net/publication/225552233_Development_and_Status_of_Dedicated_Energy_Crops_in_the_United_States)

- Jorge, H., Vera, A., Campo, R., Jorge, I., Estévez, Y & García, H. (2005). *Variedades energética: una alternativa económica para producir energía*. 1er. Congreso Internacional de Casos Exitosos de Desarrollo Sostenible en el Trópico. 1026 – 1035. Ciudad de México. México.
- Keenlside, W. (1986). *An economic analysis of cane sugar production*. Proceeding of the XIX International Congress of the ISSCT. p. 1026 – 1035. Jakarta, Indonesia. [http://lib3.dss.go.th/fulltext/scan\\_ebook/inter\\_sugar\\_1986\\_v88\\_n1050.pdf](http://lib3.dss.go.th/fulltext/scan_ebook/inter_sugar_1986_v88_n1050.pdf)
- Korndorfer, P.H. (2011). *Biomass and energy yields of bioenergy germplasm grown on sandy soils in Florida* [M.S. thesis], University of Florida, (en línea) [https://ufdcimages.uflib.ufl.edu/UF/E0/04/30/46/00001/korndorfer\\_p.pdf](https://ufdcimages.uflib.ufl.edu/UF/E0/04/30/46/00001/korndorfer_p.pdf)
- Legendre, B.L. & Burner, D.M. (1995). Biomass production of sugarcane cultivars and early-generation hybrids, *Biomass & Bioenergy*, 8(2),55–61. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/096195349500014X>
- Mark, T.B. (2010). *Cellulosic ethanol in Louisiana: a three part economic analysis of feedstocks, pricing strategies and location strategies* [Ph.D. dissertation], Department of Agricultural Economics and Agribusiness, Louisiana State University. [https://repository.lsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4638&context=gradschool\\_dissertations](https://repository.lsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4638&context=gradschool_dissertations)
- Matsuoka, S.; Bressiani, J.; Maccheroni, W. & Fouto, I. (2012). *Sugar-cane bioenergy, in Sugarcane. Bioenergy, Sugar and Ethanol— Technology and Prospects*, Santos, F., Borem, A. & Caldas, C. Eds., pp. 471–500, MAPA/ACS: UFV/DEA, Brasilia, Brazil. <https://es.scribd.com/document/549576374/Sugarcane-Biofuel>
- Matsuoka, S. & Stolf, R. (2012). *Sugarcane tillering and ratooning: key factors for a profitable cropping, in Sugarcane: Production, Cultivation and Uses*, Goncalves, J.F. and K. D. Correia, K.D. Eds., pp. 137–157, Nova, New York, NY, USA.
- Matsuoka, S. (2013). Sobre o sistema radicular da cana-de-acucar, ' *STAB*, 31(6), 66–67.
- Milanés, N. (1990). Muestreo y estimación en los principales parámetros del rendimiento de la caña de azúcar. *Ciencias de la agricultura*, 5,155-162.
- Mislevy, P.; Martin, F.G.; Adjei, M. B. AND Miller, J. D.(1995). Agronomic characteristics of US 72-1153 energycane for biomass, *Biomass & Bioenergy*, 9(6), 449–457. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/096195349500050X>
- Obregón Luna, J. J. (1999). *Caña energética: alternativa sostenible de desarrollo mitigante del calentamiento global*. <https://www.monografias.com/trabajos57/calentamiento-global/calentamiento-global2>
- Ochs. A. Worldwatch Institute, Washington, D.C.(2015). *Hoja de ruta para un sistema de energía sostenible, Aprovechamiento de los Recursos de Energía Sostenible de la República Dominicana*, <https://bvearmb.do/handle/123456789/1853>
- Pellet Fuels Institute (PFI). (2018). Standard Specifications for Residential/Commercial Densified Fuel November 9, 2018. [https://www.pelletheat.org/assets/docs/2018/2018\\_PFI\\_Standard%20Specification.pdf](https://www.pelletheat.org/assets/docs/2018/2018_PFI_Standard%20Specification.pdf)
- Petit, J., Casanova F., & Solorio, F. (2010). Rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* asociadas y en monocultivo en un banco de forraje. *Revista Forestal Venezolana*, Año XLiv. 54(2), 24-33. [https://www.academia.edu/901078/Rendimiento\\_de\\_forraje\\_de\\_Leucaena\\_leucocephala\\_Guazuma\\_ulmifolia\\_y\\_Moringa\\_oleifera\\_asociadas\\_y\\_en\\_monocultivo\\_en\\_un\\_banco\\_de\\_forraje](https://www.academia.edu/901078/Rendimiento_de_forraje_de_Leucaena_leucocephala_Guazuma_ulmifolia_y_Moringa_oleifera_asociadas_y_en_monocultivo_en_un_banco_de_forraje)

- Ponce, N.(1993). *Calor de combustión vs. composición del bagazo y otros combustibles*. Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados, Diversificación 93. La Habana, Cuba.
- Ramdoyal K. & Badaloo, G. H. (2002). *Prebreeding in sugarcane with an emphasis on the programme of the Mauritius Sugar Industry Research Institute*, in Managing Plant Genetic Diversity, J. M. M. Engels, V. R. Rao, A. H. D. Brown, and M. T. Jackson, Eds., pp. 307–321, IPGRI, 2002. <https://www.beep.ird.fr/greenstone/cgi-bin/library.cgi?e=d-01000-00--off-0staffpul--00-1----01-10-00---0---0direct-10----4-----0-11--11-fr-50---20-about---01-2-1-00-00--4--0--0-0-11-10-0utfZz-8-00&a=d&cl=CL5.48&d=HASH0121109142afe0df33d2e645s2912>
- Rao, P.S.; H. Davis, H. & Simpson, C. (2007). *New sugarcane cultivars and year round sugar and ethanol production with bagasse-based cogeneration in Barbados and Guiana*. Proceedings of the 2007 Congress, International Society of Sugar Cane Technologists, 26, 1169–1176, 2007. <https://www.semanticscholar.org/paper/New-sugarcane-varieties-and-year-round-sugar-and-in-Rao-Davis/e61a8e1eb681d21fba4834cdeff264d0c9d8fcfd>
- Rao, M.S. & Weerathaworn, P. (2009). Diversification of breeding program to develop multipurpose sugarcane cultivars, *Sugar Tech.* 11(1), 77–79. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12355-009-0014-8>
- Salassi, M.E., Falconer, L.L., Mark, T.B., Deliberto, M.A., Hilbun, B.M. & Cooper, T.L.(2015) Economic Potential for Energy Cane Production as a Cellulosic Biofuel Feedstock in the Southeastern United States. *Energy*, (3), 25-40. <https://www.aimspress.com/article/doi/10.3934/energy.2015.1.25>
- Santchurn,D.; Ramdoyal, K. ; Badaloo, M. G. & Labuschagne, M.T. (2014) From sugar industry to cane industry: evaluation and simultaneous selection of different types of high biomass canes. *Biomass and Bioenergy*,10(8), 82–92. [https://www.academia.edu/16682467/From\\_sugar\\_industry\\_to\\_cane\\_industry\\_Evaluation\\_and\\_simultaneous\\_selection\\_of\\_different\\_types\\_of\\_high\\_biomass\\_canes](https://www.academia.edu/16682467/From_sugar_industry_to_cane_industry_Evaluation_and_simultaneous_selection_of_different_types_of_high_biomass_canes)
- Sugimoto, A., Terajima, Y. & Terauchi, T. (2012). *Developing new types of sugarcane by hybridization between commercial sugarcane cultivars and wild relatives*, in Proceedings of the Symposium FAO RAP-NIAS, 2012(1), 11–24, Tsukuba, Japan, October 2012. <https://www.fao.org/3/i2554e/i2554e00.pdf>
- Tew, T. L. ; Cobill, R. ; Richard, E. & Gravois, K. (2007). *Registration of three high fiber sugar cane cultivars, L 79-1002, HoCP 91-552 and Ho 00-961, for biofuels production*, in Proceedings of the ASA-CSSA-SSSA International Annual Meeting, November 2007, <https://crops.confex.com/crops/2007am/techprogram/P37536.HTM>
- Tew, T. L. & Cobill, R. (2008). *Genetic improvement of sugarcane (Saccharum spp.) as an energy crop*, in Genetic Improvement of Bioenergy Crops, W. Vermerris, Ed., pp. 249–272, Springer. [https://www.researchgate.net/publication/284674210\\_Genetic\\_improvement\\_of\\_sugar\\_cane\\_Saccharum\\_spp\\_as\\_an\\_energy\\_crop](https://www.researchgate.net/publication/284674210_Genetic_improvement_of_sugar_cane_Saccharum_spp_as_an_energy_crop)
- Traxco. (2015). Cultivo energético de caña. Artículo de 15 de diciembre del 2015 (en línea) <http://www.traxco.es/blog/produccion-agricola/cultivo-energetico>
- Triana, O. Leonard, M., Saavedra, F., Fernández, N., Gálvez, G. & Peña E.(1990). *Atlas del Bagazo de la Caña de Azúcar*. Cuba-9. 1990. Ed. EPLACEA. PNUD. México.
- Triana, O., Abril, A., & Wong, A. (2008). Energy varieties of sugar cane as a novel source of fiber for the cellulose and paper industry. *Appita Journal*, 61(5),402-407.

[https://www.researchgate.net/publication/289151890\\_Energy\\_varieties\\_of\\_sugar\\_cane\\_as\\_a\\_novel\\_source\\_of\\_fibre\\_for\\_the\\_cellulose\\_and\\_paper\\_industry](https://www.researchgate.net/publication/289151890_Energy_varieties_of_sugar_cane_as_a_novel_source_of_fibre_for_the_cellulose_and_paper_industry)

Viator, R.; White, P. & Richard JR. E. (2010). *Sustainability production of energycane for bio-energy in the Southeastern United States*, in Sustainability of the Sugar and Sugar-Ethanol Industries, G. Eggleston, Ed., vol. 1058 of ACS Symposium Series, pp. 147–161, 2010.

### Autores



Ing. Marlen Ramil Mesa. MSc (OrcID 0000-0003-0860-6368) es investigadora de la Universidad APEC, República Dominicana. Pertenece a la Carrera Nacional de Investigadores de República Dominicana. Ha trabajado en proyectos nacionales e internacionales vinculados a la agroindustria sostenible, energía renovable, industria azucarera y sus derivados, medio ambiente. Especialista en el desarrollo de tecnologías, diseño de planta, purificación y secado de productos. [mramil@adm.unapec.edu.do](mailto:mramil@adm.unapec.edu.do)



Dr. Alejandro J. Abril González. (OrcID 0000-0002-4274-736x) Profesor/Investigador Titular de la Universidad Nacional Evangélica. Santo Domingo, República Dominicana. Docente de grado y postgrado de química y metodologías. Ha trabajado en proyectos nacionales e internacionales. Especialista en Aprovechamiento de biomasa vegetal para la obtención de nuevos productos y la generación de energía dirigiendo investigaciones en este campo. [aabril@prof.unev.edu.do](mailto:aabril@prof.unev.edu.do)



Ing. Marlen de la Caridad Alfonso Lorenzo MSc. (OrcID 0000-0001-5900-1786) es investigadora de UNAPEC. Master en simulación y análisis de procesos. Investigador titular de la CNI- Carrera Nacional de Investigadores de Republica Dominicana. Con varios proyectos de I + D + i aprobados y ejecutados en temas de energía renovable, biocombustibles, medio ambiente, industria azucarera y sus derivados, gestión de calidad e inocuidad. [malfonso@adm.unapec.edu.do](mailto:malfonso@adm.unapec.edu.do).



Dra. Diana R. Abril Milán. (OrcID 0000-0002 -5530-762X). Académica asociada Universidad Católica del Maule, Talca, Chile. Docente de grado y postgrado de química orgánica y química física y temas relacionados con la didáctica de las ciencias experimentales. Ha trabajado en proyectos nacionales e internacionales vinculados al aprovechamiento de recursos naturales y energía renovable. Especialista en síntesis química y purificación. [dabril@ucm.cl](mailto:dabril@ucm.cl)

Dr Ricardo Campo Zabala. Pertenece a la Asociación de Técnicos Azucarero de Cuba. Ha trabajado en proyectos nacionales e internacionales vinculados al desarrollo de nuevas variedades de caña azucarera y energéticas. Especialista en el desarrollo de variedades de caña de azúcar. [campozabala@gmail.com](mailto:campozabala@gmail.com)