

Atagua



ASOCIACIÓN DE TÉCNICOS AZUCAREROS DE GUATEMALA

ENERO · MARZO

2023



www.atagua.org





GUATEMALA 2023

CONGRESO XXII ATACA-XV ATAGUA

CAÑA DE AZÚCAR

CULTIVANDO UNA TECNOLOGÍA AVANZADA EN LA REGIÓN



SOSTENIBILIDAD



INNOVACIÓN



TECNOLOGÍA



COMPETITIVIDAD

CONFERENCIAS Y GIRA DE CAMPO

7 AL 11 AGOSTO 2023

Artículo de Campo 04

Efecto de la inoculación de las cepas CG19 y CG29 de *Bacillus* spp. Sobre la formación de biomasa y contenido de nutrientes en dos variedades de caña de azúcar.

Artículo de Fábrica 14

La ruta microbiológica de la sacarosa II

Gira de Campo 22

Opciones de Giras de Campo 24

JUNTA DIRECTIVA

Dr. José Gerardo Espinoza
Presidente

Cengicaña

Ing. Abimael Marino López
Vicepresidente

Ingenio Pantaleón

Ing. César Amílcar Martínez
Tesorero

Ingenio La Unión

Ing. Ivan Aguirre
Profesorero

Ingenio Madre Tierra

Licda. Nancy Jeissel Monroy
Secretaria

Ingenio Trinidad

Ing. Christian Omar Rodríguez
Prosecretario

Ingenio Trinidad

Ing. Alejandro Velásquez
Vocal I

Ingenio Tululá

Ing. Marco Tax
Vocal II

ICC

Ing. Luis Guillermo González
Vocal III (suplente)

Ingenio La Unión

Ing. Pavel Enrique Roulet
Vocal IV (suplente)

Ingenio Santa Ana

Ing. Luis Reyes
Vocal V (suplente)

ICC

Estimado socio:

Como representante de la Junta Directiva de ATAGUA le informo que, ATAGUA sigue rompiendo paradigmas en la transferencia de información a cada uno de sus asociados con temas disruptivos e innovadores, es por ello que publica a través de su revista información técnica de alto impacto con las más modernas tecnologías para mejorar la productividad de azúcar. De la misma manera difundir cada una de las actividades técnicas dentro del agroindustria azucarera a nivel nacional e internacional, tanto en el área agrícola, como en el área industrial y en los diferentes niveles técnicos y gerenciales.

En esta edición les presentamos publicaciones técnicas agrícolas e industriales, las cuales son trabajos experimentales o experiencias aplicadas que contribuyen o son soporte tecnológico para el mejor desarrollo de la productividad. Dentro de los artículos que forman parte de nuestra revista están: Efecto de la inoculación de las cepas CG19 y CG29 de *Bacillus* spp. sobre la formación de biomasa y contenido de nutrientes en dos variedades de Caña de Azúcar, importante trabajo que hace parte del manejo sostenible de la producción de caña de azúcar, importantes resultados muestran incremento en la biomasa en ambos genotipos, así como la mejora en el contenido nutricional de la planta. Es importante mencionar que estos resultados contribuyen y confirman la oportunidad de mejorar el sistema productivo actual con condiciones tanto de disponibilidad de fertilizantes minerales con precios volátiles y principalmente en el cambio climático dada la importancia de su contribución a la resiliencia del cultivo.

El segundo estudio es conceptual y explicativo, se refiere al efecto comparativo de la Ruta metabólica de la sacarosa (RMS), en la cual se explican conceptos de forma básica y de fácil entendimiento para todos los niveles involucrados en la producción de azúcar. En la misma revisión se destacan el papel fundamental de los microorganismos en la producción de la energía y como esta se pueda acumular sin pasar a otros componentes primarios de la ruta, indicando como estos pueden dar lugar a la reducción de la concentración de sólidos solubles, disueltos por el papel que juegan los microorganismos. Por lo que los conceptos y definiciones tienen por objetivo que sean aplicados en la práctica por todos los niveles y de esta forma mejorar los conocimientos para el incremento de la productividad de azúcar.

ATAGUA continúa cumpliendo su plan operativo anual y como parte de las innovaciones de capacitación ha realizado la Gira de Campo, en la cual se difundieron en conjunto con el Ingenio Madre Tierra, temas innovadores como: siembra, madurantes, sistema de dosificación de fertilizantes, precosecha con el uso de identificación QR e imágenes satelitales, y parcelas demostrativas con la aplicación de herbicidas donde se hicieron presentes 180 participantes nacionales, así como participantes de El Salvador, Honduras y Brasil, esto es un indicador que ATAGUA genera información técnica científico con alto valor y esto genera expectativas importantes no solo a nivel local sino regional.

Dicho lo anterior, ATAGUA les hace la cordial invitación para que nos puedan acompañar al Congreso XXII ATACA y XV ATAGUA a celebrarse en el Hotel Santo Domingo del 7 al 11 de agosto del presente año. El congreso tiene como lema principal "Cultivando una tecnología avanzada en la región", y las bases sobre las que está cimentado son: Innovación, Competitividad, Tecnología y la Sostenibilidad. Se tienen organizados diversos temas agrícolas y e industriales con expertos nacionales y extranjeros que estamos seguros generarán y superarán las expectativas de los participantes.

La Junta Directiva y el personal administrativo nos comprometimos a lo largo del año 2023 a cumplir con el plan Operativo y generar información técnica de altos estándares con invitados nacionales e internacionales reconocidos en cada uno de los temas, de esta forma fortalecer, integrar y promover innovación de cada uno de los procesos productivos, generando mayor conocimiento tecnológico para superar o mitigar cualquier desafío futuro.

Agradezco a cada uno de los socios e ingenios por estar atentos a nuestras diversas actividades técnicas, sociales y deportivas, a los patrocinadores que fielmente han estado en cada uno de los eventos y finalmente a los integrantes de nuestra Junta Directiva y personal administrativo que con esfuerzo se toman un tiempo extra para las actividades a desarrollar.



Km. 92.5 Carretera al Pacífico
Sta. Lucía Cotzumalguapa,
Escuintla · Guatemala

(502) 5517-3978 / (502) 4295-4828

adminatagua@cengican.org

secreatagua@cengican.org



Efecto de la inoculación de las cepas CG19 y CG29 de *Bacillus* spp. Sobre la formación de biosamasa y contenido de nutrientes en dos variedades de caña de azúcar.

Por:

Luis Molina¹, Victoriano Sut², Evelyn Tohom³, Gerardo Espinoza⁴ *Biotecnólogo;*²Asistente de Biotecnología; ³Auxiliar de Laboratorio; ⁴Especialista en Maltas y Madurantes

- *Bacillus*
- Bacterias promotoras de crecimiento

R E S U M E N

Entre las bacterias aisladas e identificadas en un trabajo anterior, se seleccionaron las cepas de *Bacillus* CG19 y CG29 para evaluar el efecto de su inoculación en el sustrato, sobre el desarrollo de plantas de caña de azúcar variedades CG00-102 y CP72-2086 en invernadero. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con ocho tratamientos y tres repeticiones. A los 60 días después del trasplante se registró el peso fresco, peso seco y se determinó la cantidad de nutrientes. Los resultados mostraron que la inoculación de bacterias incrementó en 36 por ciento el peso fresco, 34 por ciento el peso seco, 31 por ciento el contenido de nitrógeno y 28 por ciento el contenido de fósforo por planta. También incrementó el contenido de potasio, calcio y magnesio, no así el de zinc, hierro y manganeso. No se encontraron diferencias al comparar el efecto de las cepas evaluadas. Las variedades analizadas en este trabajo solo se mostraron diferentes en el contenido de nitrógeno y potasio, siendo superior CP72-2086 en su contenido en follaje, mientras que CG00-102 fue superior en su contenido en la raíz.

INTRODUCCIÓN

Shafi et al., (2017), indican que el género *Bacillus* ha sido empleado para control biológico de enfermedades, las esporas que producen hacen que sean armas para el control de microorganismos fitopatógenos y sus estructuras de resistencia permiten el almacenamiento por largos periodos de tiempo incluso a temperatura ambiente.

Según Ongena y Jaques, (2008), *Bacillus* spp., producen compuestos antimicrobianos que destacan su importancia en tres familias de lipopeptidos (del grupo de los péptidos de síntesis no ribosomal NPR), surfactinas, iturinas y fengicinas, las cuales son bioactivas contra fitopatógenos. También mencionan que la acción de estos compuestos está relacionada con la formación de poros en la pared y membrana celular de microorganismos fitopatógenos, lo que conduce a la inhibición del crecimiento de estos y de manera indirecta a la inducción de las defensas de la planta.

Es por estas particularidades, que se ha optado por evidenciar trabajos eficaces sobre cepas del género *Bacillus* para el control de fitopatógenos, en su mayoría in vitro. Se señaló que la cepa *B. amyloliquefaciens* 629, es capaz de producir iturinas, fengicinas y surfactinas bajo diferentes condiciones de temperatura y medios de cultivo (Monteiro et al., 2016).

Ramos et. al. (2022), evaluaron el efecto de rizobacterias solubilizadoras de calcio en *Tagetes erecta*, mostrando que la biomasa fresca y seca de la raíz se incrementó con la aplicación de *B. cereus* + *B. licheniformis* (T6). Valores altos en biomasa fresca, biomasa seca de follaje, contenido de carotenoides totales, concentración de potasio en el tallo, y de fósforo en los pétalos, al inocular *Bacillus* sp. + *B. licheniformis* (T5). En cuanto a minerales, el calcio y nitrógeno se concentraron en las hojas al inocular *B. cereus* (T2) y *Bacillus* sp. (T1), el magnesio en hojas al inocular *Bacillus* sp. + *B. cereus* + *B. licheniformis* (T7).

Un estudio realizado por Banerjee et al., (2018), sobre el efecto de *Bacillus cereus* en la producción y biomasa, los resultados mostraron que *B. cereus* IB311 aumentó la producción de 20 y 26 por ciento en términos de número medio de vainas por planta, número medio de semillas por vaina y rendimiento de semillas por parcela experimental de plantas de maní (*Arachis hypogaea* var. *Koushal*) y ajonjolí (*Sesamum indicum* var. *Kanak*), respectivamente.

Otro estudio en tomate realizado por Liu et al. (2011) revela que la inoculación de la cepa de *B. subtilis* productora de quitinasa en plantas de tomate, presentó un aumento del 42 y 18 por ciento en peso fresco y seco respectivamente y en cuanto a la reducción de plantas enfermas por *Rhizoctonia* SL-13 un 20 y 35% en ensayos de invernadero y campo respectivamente.

En un estudio realizado por Khedher et al. (2020) sobre *Bacillus subtilis* V26 en el cultivo de papa, evidenciaron que *B. subtilis* V26 es capaz de mejorar los parámetros de crecimiento de las plantas (peso fresco de la parte aérea, raíces y tubérculos). Al inocular a los 15 días de edad de la papa, *B. subtilis* V26 + *Fusarium* spp. condujeron a un peso fresco de las partes aéreas significativamente superior en un 28.6 a 41.6 por ciento a las inoculaciones solamente con *Fusarium*. Además, mostraron un aumento significativo del peso fresco de las raíces, que osciló entre el 46.4 y el 61.4 por ciento, en comparación con las inoculaciones de *Fusarium* solas.

La inoculación de *Bacillus cereus* AR156 a la raíz de la planta de tomate, reduce significativamente la incidencia de la enfermedad *Botrytis cinerea* a través de la activación de la resistencia sistémica inducida (ISR), dicha protección va acompañada de una respuesta de defensa ISR multicapa activada a través de una mayor acumulación de peróxido de hidrógeno y la deposición de calosa, que es significativamente más de la inoculación de *B. cinerea* que en las plantas con la inoculación del patógeno solamente (Nie et al., 2017).

Chowdhury et al., (2015), también evaluaron en plantas de lechuga, la cepa *B. amyloliquefaciens* FZB42 contra *Rhizoctonia solani*, concluyendo que la producción de surfactinas, fengicinas y bacilomicina D en la rizosfera de la planta de lechuga, redujo los síntomas de enfermedad causada por el hongo.

En el caso de *B. subtilis*, Zohora et al., (2016) demostraron que la cepa BB14, es capaz de producir iturinas en suelo rizosférico de la planta de tomate, el cual fue medido durante el control de la enfermedad causada por *R. solani*, realizando la medición empleando cromatografía líquida de alta precisión (HPLC).

Allard-Massicotte et al., (2016) por un estudio de exudados de *Arabidopsis thaliana*, lograron identificar una cepa de *B. subtilis* que se veía atraída hacia la rizosfera de la planta (in vitro), a través de moléculas secretadas por la raíz. Estos resultados demuestran una notable estrategia adaptada por las rizobacterias beneficiosas para utilizar los exudados radiculares ricos en carbono y permitir una asociación mutualista. La formación de una biopelícula en la raíz por parte de *B. subtilis* es un requisito bien establecido para la colonización a largo plazo.

Un estudio realizado en 2015 por Wu et al., sobre la cepa *Bacillus amyloliquefaciens* SQY 162 evidenció que la formación de biopelícula representaba parte fundamental para la competencia en la rizosfera, mostrando que los exudados de plantas de tabaco estimulan la síntesis de surfactina por el biocontrolador y de esa manera la formación de una biopelícula, para el control de *Ralstonia solanacearum* causante de la marchitez bacteriana.

El hierro es un elemento limitante en el suelo rizosférico, los sideróforos son compuestos de bajo peso molecular que tienen la habilidad de secuestrar Fe III (Ahmed y Holmstrom, 2014). Así las bacterias sintetizadoras de este tipo de moléculas tendrán una ventaja competitiva en este aspecto frente a fitopatógenos que no los producen.

Según Yu et al., (2011), asociado a la colonización, otro aspecto como mecanismo de control biológico de cepas de *Bacillus* spp, es la competencia por nutriente, manifestado en la capacidad de producir sideróforos. Estos autores encontraron que la actividad de biocontrol de *B. subtilis* CAS15 contra *Fusarium* en plantas de pimienta, se debe a la producción de un sideróforo tipo catecólico denominado bacilibactina, permitiendo a la cepa reducir la incidencia de *Fusarium* entre un 12,5 y 56.9 por ciento, efecto de control que se vio afectado por la suplementación de hierro.

Jha et al., (2014), indican que todos microorganismos biocontroladores sintetizan enzimas líficas como quitinasa y B-1,3-glucanasas, proteasas, lipasas y peroxidasas. Las quitinasas y B-1,3-glucanasas degradan la pared celular de hongos y pueden causar lisis celular en los mismos, a la vez esta acción permite la liberación de oligómeros de quitina y glucano, los cuales funcionan como elicitores de las defensas de la planta.

En plantas de café (*Coffea arabica* L.) mediante un estudio realizado en 2016 por Kejela et al., se validó esa información, mostrando que la cepa de *Bacillus* sp. BT42 disminuye la incidencia de *Colletotrichum gloeosporoides* y *Fusarium oxysporum* a 2,8 y 0 por ciento respectivamente en relación con controles de enfermedades que presentaron una incidencia de 91,7 y 88,9 por ciento debido a la producción B-1,3-glucanasas.

METODOLOGÍA

Se desarrolló un experimento trifactorial 2x2x2 en diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones.

Factores evaluados:

- *Inoculación (Bacillus spp. contra Control)*
- *Cepas de Bacillus spp. (CG19 contra CG29)*
- *Variedades (CG00-102 contra CP72-2086)*

Preparación del inóculo

Se utilizaron las cepas CG19 y CG29 de *Bacillus* spp. aisladas e identificadas por Molina et al., (2021). Para preparar el cultivo de bacteria, se tomó una colonia de cada una de las cepas cultivadas en cajas petri con medio YEP sólido y se inocularon en un matraz de 200 ml de medio de cultivo YEP líquido. El medio YEP (Sambrook, et al., 1989) se preparó disolviendo en 500 ml de agua desmineralizada 5 g de peptona, 5 g de extracto de levadura y 2.5 g de Cloruro de Sodio. Posteriormente se dejó en crecimiento durante 3 días a una temperatura de 30 °C.

Variedades evaluadas

Variedad CG00-102; Variedad floreadora, supera en toneladas de azúcar por hectárea (TAH) a la variedad CP72-2086, además presenta resistencia a las principales plagas y enfermedades del cultivo, considerada una variedad de maduración temprana en buenos suelos, es adaptable a los estratos medio y bajo. Fue liberada en Guatemala en el año 2012 (Cengicaña, 2012).

Variedad CP72-2086; fue la variedad comercial más importante en Guatemala, es la segunda variedad más sembrada con 23.1 por ciento del área cañera. Está más difundida en los estratos litoral y bajo ocupando el 30 y 21.2 por ciento de las áreas respectivamente (Cengicaña, 2020). Moderadamente susceptible a la enfermedad roya naranja, raya roja y al virus del amarillamiento de la nervadura central (Orozco et al., 2013).

Las plantas de estas variedades utilizadas en el experimento provinieron de micropropagación por cultivo de tejidos. Fueron trasplantadas a bandejas con sustrato y aclimatadas en invernadero durante 60 días. Luego fueron trasplantadas a macetas de 2,352 cm³ (14 x 14 x 12 cm) con sustrato de musgos (peat moss), como se muestra en la figura 1.



Figura 1: Aspecto de las plantas del experimento a los 20 días después del trasplante.

Inoculación

Después de la multiplicación de las bacterias se procedió a la inoculación de los sustratos. A cada maceta con planta de caña se le aplicaron 10 ml de medio con bacterias al pie de la planta de acuerdo con el tratamiento asignado, a los 7 días después del trasplante (figura 2). La dosis de aplicación de las bacterias fue de 1×10^6 unidades formadoras de colonias (UFC)/ha.



Figura 1: Inoculación de la cepa CG29 de *Bacillus* spp. al sustrato donde crece una planta a los 7 días después del trasplante.

Riego y fertilización

Las plantas recibieron riego estandarizado con 100 ml de agua colectada de lluvia tres veces por semana. Cada planta se fertilizó a los 30 días después del trasplante con 150 mg de urea (46%) y 100 mg de fórmula 0-60-0 de N-P-K (triple superfosfato), respectivamente.

Registro de datos

Los datos de las variables respuesta se colectaron a los dos meses después del trasplante a macetas. Las plantas fueron sacadas de las macetas y se removió el sustrato con agua para dejar las raíces desnudas. Luego se dejaron

secar en la sombra durante 4 horas. Posteriormente se cortó la planta en la base del tallo separando follaje de raíz. Se pesó en una balanza digital cada parte de la planta y se guardó en bolsas de papel para enviar al laboratorio agroindustrial en el cual se determinaron las variables peso seco, concentración de macro y micronutrientes.

Variabes respuesta:

- *Peso fresco (g)*
- *Peso seco (g)*
- *Concentración (%) y contenido (mg) de macronutrientes: nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y potasio*
- *Concentración (ppm) y contenido (mg) de micronutrientes: zinc, hierro y manganeso*
- *Cada variable anterior se registró separadamente para follaje, raíz y la sumatoria para planta.*

OBJETIVO

Determinar el efecto de la inoculación al suelo con las cepas CG19 y CG29 de *Bacillus* spp. sobre la formación de biomasa, concentración y contenido de nutrientes en plantas de caña de azúcar de las variedades CP72-2086 y CG00-102.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

La inoculación de las bacterias en el sustrato tuvo efectos positivos en el desarrollo de biomasa como se muestra en la Figura 3a y 3b. A nivel de planta, los aumentos fueron de 36 y 34 por ciento para peso fresco y peso seco, respectivamente. Los mayores aumentos se observaron en la raíz, donde el peso fresco aumentó 57 por ciento y el peso seco 37 por ciento en comparación con el follaje, donde los aumentos fueron de 32 y 30 por ciento, en peso fresco y seco, respectivamente. El contenido de nitrógeno y fósforo en follaje, raíz y planta se vio favorecido por la inoculación con *Bacillus* spp. El mayor incremento se observó en el contenido de nitrógeno en la raíz, con 50 por ciento, mientras que el contenido de fósforo incrementó 36 % también en la raíz, en comparación con el control no inoculado como se muestra en las figuras 3c y 3d.

El contenido de calcio, magnesio y potasio también resultó superior en las plantas que crecieron en sustrato inoculado con *Bacillus* spp. como se observa en las figuras 4a, 4b y 4c, respectivamente. Los contenidos de zinc, hierro y manganeso, por otra parte, no mostraron diferencias en las plantas que crecieron en suelo inoculado en comparación con las que crecieron en suelo no inoculado (figuras 4d, 4e y 4f).

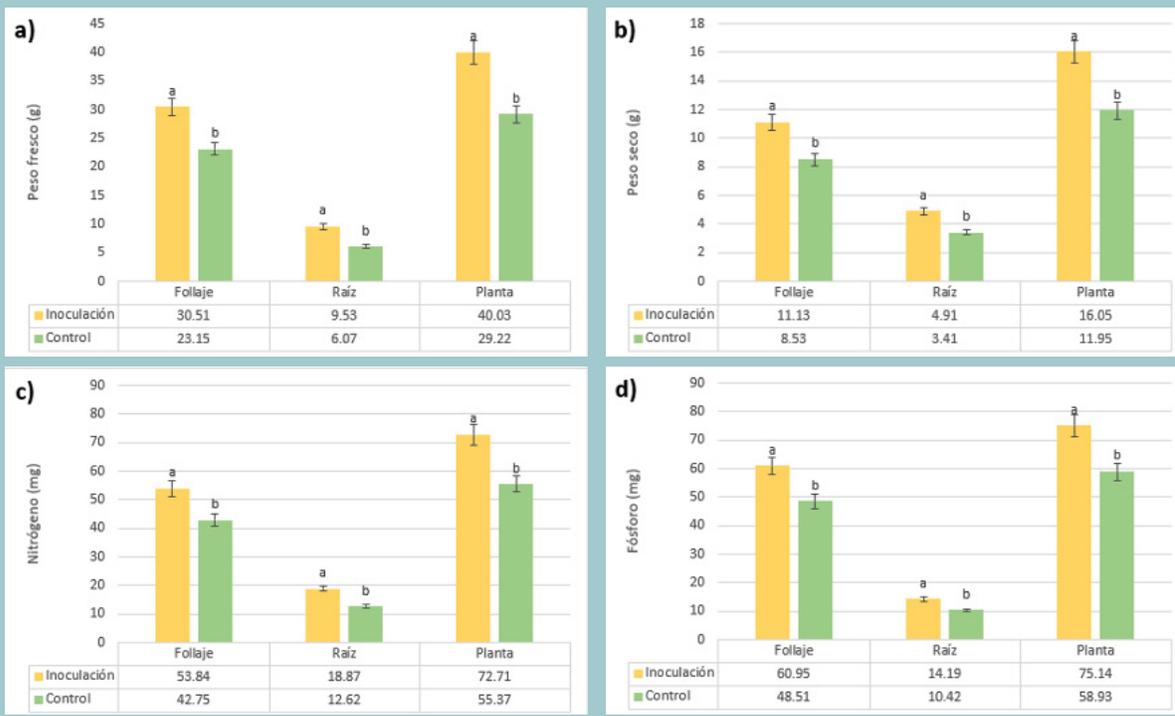


Figura 3:
 a) Peso fresco
 b) Peso seco
 c) Contenido de nitrógeno
 d) Contenido de fósforo,
 obtenidos en follaje, raíz y planta con los tratamientos de inoculación al suelo y control (sin inoculación) con *Bacillus subtilis* en plantas de caña de azúcar a los 60 días después del trasplante en condiciones de invernadero. Tratamientos con la misma letra no difieren significativamente.

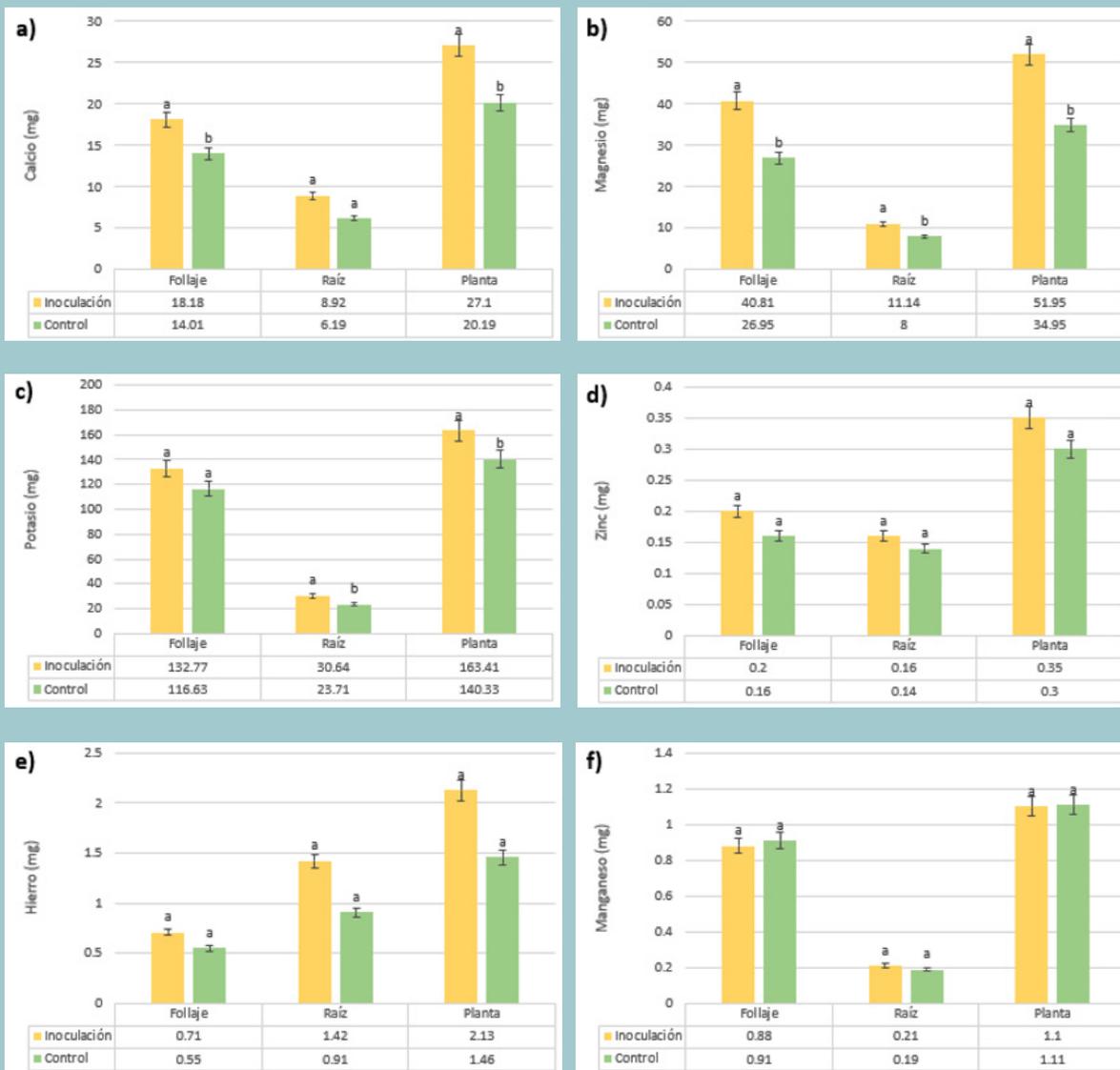


Figura 4:
 a) Contenido de Calcio
 b) Contenido de Magnesio
 c) Contenido de Potasio
 d) Contenido de Zinc
 e) Contenido de Hierro
 f) Contenido de Manganeso expresados en miligramos, obtenidos en follajes, raíz y planta con los tratamientos de inoculación al suelo y control (sin inoculación) con *Bacillus sp.* en plantas de caña de azúcar a los 60 días después del trasplante en condiciones de invernadero. Tratamientos con la misma letra no difieren significativamente.

La concentración de nutrientes en el follaje no mostró diferencias entre la inoculación y el control, excepto la de potasio, que fue mayor en el tratamiento control (Cuadro 1).

Cuadro 1: ◀
Comparación de los tratamientos con inoculación y control en la concentración de nutrientes en el follaje.

Elemento	Inoculación	Control
N (%)	0.48 (a)*	0.5 (a)
P (%)	0.55 (a)	0.58 (a)
K (%)	1.21 (b)	1.39 (a)
Ca (%)	0.16 (a)	0.16 (a)
Mg (%)	0.37 (a)	0.32 (a)
Zn (ppm)**	17.93 (a)	19.26 (a)
Fe (ppm)	60.6 (a)	60.25 (a)
Mn (ppm)	79.57 (a)	108.12 (a)

*Tratamientos con la misma letra no difieren estadísticamente

** Partes por millón

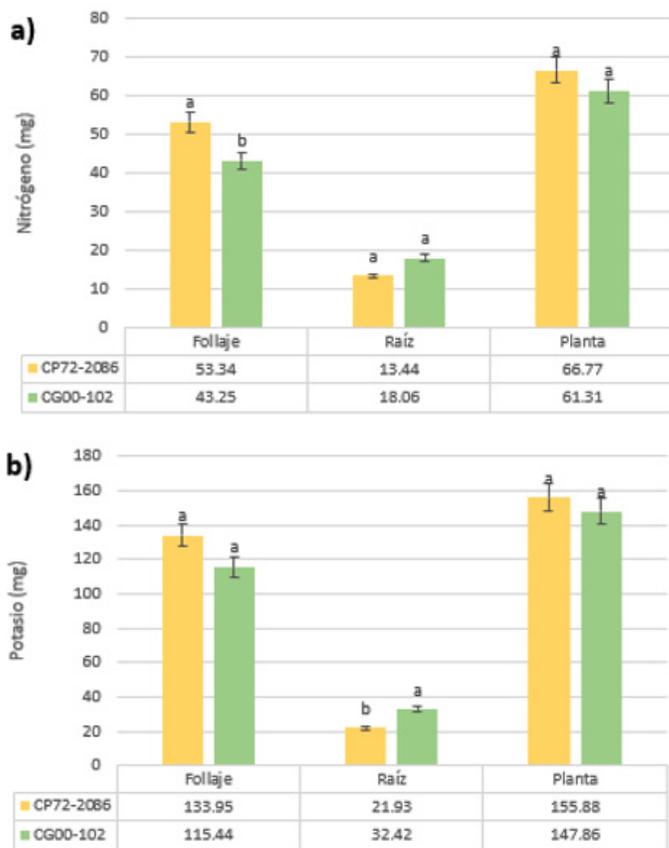
En la raíz, las concentraciones de los elementos no mostraron diferencias entre el tratamiento con inoculación y el control (Cuadro 2).

Cuadro 2: ◀
Comparación de los tratamientos con inoculación y control en la concentración de nutrientes en la raíz.

Elemento	Inoculación	Control
N (%)	0.39 (a)*	0.37 (a)
P (%)	0.3 (a)	0.3 (a)
K (%)	0.63 (a)	0.69 (a)
Ca (%)	0.18 (a)	0.19 (a)
Mg (%)	0.24 (a)	0.24 (a)
Zn (ppm)**	34.54 (a)	41.55 (a)
Fe (ppm)	276.32 (a)	256.42 (a)
Mn (ppm)	47.53 (a)	54.16 (a)

*Tratamientos con la misma letra no difieren estadísticamente

** Partes por millón



▼ **Figura 5: a) Contenido de Nitrógeno, b) Contenido de Potasio expresados en miligramos, obtenidos en follaje raíz y planta de las variedades CP72-2086 y CG00-102 en plantas de caña de azúcar a los 60 días del trasplante en condiciones invernadero. Tratamientos con la misma letra no difieren.**

A pesar de que las concentraciones de elementos no difieren entre los tratamientos, el contenido de estos, específicamente, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio fueron superiores en el tratamiento con inoculación de *Bacillus* spp. (figuras 3 y 4), probablemente debido a que las plantas que crecieron en sustrato inoculado presentaron mayor biomasa que las del tratamiento control.

No se encontraron diferencias entre las cepas CG19 y CG29 con relación a todas las variables registradas en el experimento (datos no mostrados), por lo que probablemente sean una misma.

Al comparar el efecto de las variedades CP72-2086 y CG00-102, no se encontraron diferencias en biomasa ni en contenido de nutrientes, excepto en el contenido de nitrógeno en follaje, donde fue superior la primera (figura 5a) y potasio en raíz, donde fue superior la segunda (figura 5b). Sin embargo, a nivel de planta no se manifiestan diferencias entre las variedades.

El aumento de peso fresco y peso seco obtenido está asociado con la inoculación de las cepas CG19 y CG29 de *Bacillus* spp.

Los incrementos en la biomasa del follaje en las plantas de caña, 32 por ciento de peso fresco y 30 por ciento de peso seco, son similares a los reportados por Kheder et al. (2020) en el follaje de papa, entre 28.6 - 41.6 por ciento con *B. subtilis* V26. Los incrementos en peso fresco y peso seco de planta obtenidos en el presente trabajo, 36 y 34 por ciento, respectivamente, también concuerdan con los incrementos obtenidos por Liu et al. (2011) de 42 y 18 por ciento para peso fresco y seco, respectivamente en el cultivo de tomate con *B. subtilis*. El incremento en peso seco obtenido también coincide con los reportado por Banerjee et al. (2018) de 20 y 26 por ciento en maní y ajonjolí, respectivamente.

A diferencia de la concentración de potasio en el tallo y de fósforo en los pétalos en *Tagetes erecta* reportada por Ramos et al. (2022), obtenida con la aplicación de *B. cereus*, en el presente estudio no se manifestaron diferencias en la concentración de nutrientes en la planta. Sin embargo, la cantidad de estos nutrientes en las plantas, sí se vieron incrementados como consecuencia de la inoculación con *Bacillus* spp. posiblemente como consecuencia del incremento de biomasa.

La inoculación del sustrato con *Bacillus* spp. en comparación con el control no inoculado, resultó en incremento de la biomasa medida tanto en peso fresco como en peso seco, en follaje, en raíz y en planta a los 60 días después del trasplante.

Aunque la concentración de elementos nutrientes no mostró diferencias entre las plantas que crecieron en sustrato inoculado con *Bacillus* spp. y las que crecieron en sustrato sin inocular, los contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio fueron superiores en las plantas provenientes del tratamiento con inoculación, lo que se explica posiblemente por la mayor biomasa, también resultante de la inoculación.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed E, Holmstron S. 2014. Siderophores in environmental research: roles and applications. *Microb Bioetchnol.* 7(3):196-208. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12117>
- Allard-Massicotte R, Tessier L, Lécuyer F, Lakshmanan V, Lucier J, Garneau D et al. *Bacillus subtilis* early colonization of *Arabidopsis thaliana* roots involves multiple chemotaxis receptors. *mBio.* 2016; 7(6):01664-16. <https://doi.org/10.1128/mBio.01664-16>
- Banerjee, G., Gorthi, S. & Chattopadhyay, P. 2018. Beneficial effects of bio-controlling agent *Bacillus cereus* IB311 on the agricultural crop production and its biomass optimization through response surface methodology. *Anais da Academia Brasileira de Ciências.* v. 90, n. 2 suppl 1, pp. 2149-2159. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170362>.
- CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña de Azúcar). 2012. Informe anual 2010-2011. Guatemala. 125p. www.cengicana.org
- CENGICAÑA. 2020. Memoria. Presentación de resultados de investigación, zafra 2019-2020. Guatemala. www.cengicana.org
- Chowdhury SP, Hartmann A, Gao X, Borriss R. 2015. Biocontrol mechanism by root-associated *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 – a review. *Front. Microbiol.* 6:780. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00780>
- Jha S, Kumar C, Modi H. 2014. Microbial chitinases: Manifestation and prospective. In: Garg N, Aeron A, editor(s). *Microbes in Process.* Portland, ME, USA.: Nova Science Publisher. p. 151-162.
- Kejela T, Thakkar V, Thakor P. 2016. *Bacillus* species (BT42) isolated from *Coffea Arabica* L. rhizosphere antagonizes *Colletotrichum gloeosporioides* and *Fusarium oxysporum* and also exhibits multiple plant growth promoting activity. *BMC microbiology.* 16(1):277. Doi: <https://doi.org/10.1186/s12866-016-0897-y>
- Khedher, S.B., Mejdoub-Trabelsi, B., Tounsi, S. 2020. Biological potential of *Bacillus subtilis* V26 for the control of *Fusarium* wilt and tuber dry rot on potato caused by *Fusarium* species and the promotion of plant growth, *Biological Control.* <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104444>
- Liu, Y., Tao, J., Yan, Y., Li, B., Li, H. y Li, C. 2011. Biocontrol Efficiency of *Bacillus subtilis* SL-13 and Characterization of an Antifungal Chitinase. *Chin. J. Chem. Ing.* 19:128-134. [https://doi.org/10.1016/S1004-9541\(09\)60188-9](https://doi.org/10.1016/S1004-9541(09)60188-9)
- Molina, L.; Sut, V. (2021). Aislamiento e identificación de bacterias potencialmente útiles en el cultivo de caña de azúcar (I). En: Memoria presentación de resultados de investigación Zafra 2020-2021. CENGICAÑA. <https://cengicana.org/publicaciones>

- Monteiro F, Vasconcelos F, Ongena M, Franzil L, Souza P, Souza J. 2016. Effect of temperature, pH and substrate composition on production of lipopeptides by *Bacillus amyloliquefaciens* 629. *Afr J Microbiol Res.* 19(36):1506-1512. <https://doi.org/10.5897/AJMR2016.8222>
- Nie P, Li X, Wang S, Guo J, Zhao H, Niu D. 2017. Induced systemic resistance against *Botrytis cinerea* by *Bacillus cereus* AR156 through a JA/ET and NPR1 dependent signaling pathway and activates PAMP-triggered immunity in *Arabidopsis*. *Front Plant Sci.* 8:238. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00238>
- Ongena M, Jacques P. 2008. *Bacillus* lipopeptides: versatile weapons for plant disease biocontrol. *Trends Microbiol.* 16(3): 115-125. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2007.12.009>
- Orozco, H.; Castro, O.; Ovalle, W.; Gómez, J.; Azañón, V.; Paz, V. 2013. Quinta prueba Semicomercial de Variedades Florecedoras en tres cortes. En: Memoria de Presentación de Resultados de Investigación, Zafra 2012-2013. CENGICANA. Guatemala. 49p. www.cengicana.org
- Ramos R., Mendoza, R., Robledo V., Hernández A. 2022. Efecto de rizobacterias solubilizadoras de calcio en caracteres agronómicos y minerales de *Tagetes erecta*. *Biotecnia / XXIV (2):* 149-154. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i2.1621>
- Shafi J, Tian H, Ji M. 2017. *Bacillus* species as versatile weapons for plant pathogens: a review. *Biotechnol Biotechnol Equip.* 31(3):446-459. <https://doi.org/10.1080/13102818.2017.1286950>
- Wu L, Wu H, Chen L, Yu X, Borris R, Gao X. 2015. Difficin and bacilysin from *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 have antibacterial activity against *Xanthomonas oryzae* rice pathogens. *Sci Rep.* 13(5):12975. <https://doi.org/10.1038/srep12975>
- Yu X, Ai C, Xin L, Zhou G. 2011. The siderophore-producing bacterium, *Bacillus subtilis* CAS15, has a biocontrol effect on *Fusarium* wilt and promotes the growth of pepper. *Eur J Soil Biol.* 47(2):138-145. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2010.11.001>
- Zohora U, Ano T, Rahman. 2016. Biocontrol of *Rhizoctonia solani* K1 by iturin A producer *Bacillus subtilis* RB14 seed treatment in tomato plants. *Adv Microbiol.* 6(6):424- 431. <https://doi.org/10.4236/aim.2016.66042>

La ruta microbiológica de la sacarosa II

Por:

Osbel Núñez

Bioquímico-microbiólogo, Coordinador
OptimiSA



- Microbiológica
- Fructosa
- Glucosa

INTRODUCCIÓN

En un documento anterior (Núñez, 2021) se expuso en forma breve, y al mismo tiempo, presumiblemente amigable para la mayoría de los lectores, la primera parte de lo que se ha denominado la Ruta Microbiológica de la Sacarosa (RMS). Se mostró el objetivo por lo que es metabolizada por la microbiota presente, su transformación en sustancias más simples, las diferentes vías, y en forma general, los metabolitos finales de cada una.

Es necesario que todo el que se relacione con su efecto comprenda que los microorganismos metabolizan la sacarosa con un fin: obtener la energía para sus procesos vitales, y no para que se acumulen los azúcares reductores fructosa (F) y glucosa (G), que son los primeros metabolitos de la ruta. Esa ruta, en esencia, es similar a procesos de obtención de energía que son comunes, como el del motor de combustión interna de los autos o el horno industrial, donde la eficiencia del proceso está asociada con el mayor o menor grado de ruptura de la moléculas del combustible (*gasolina, bagazo, diesel, búnker, etc.*). Así mismo, la eficiencia de la ruta microbiológica de la sacarosa está asociada a su grado de ruptura, y el mayor rendimiento energético se obtiene cuando los productos finales de la respiración celular son las moléculas simples de Dióxido de Carbono (CO_2) y Agua (H_2O), por lo que realmente la concentración de sólidos disueltos totales se reduce por actividad microbiológica.

Como se ha planteado, no hay una percepción en concordancia con los avances tecnocientíficos sobre este tema, tanto entre el personal con experiencia, como entre los jóvenes que llegan a la agroindustria; y persisten conceptos de incios del siglo pasado, ignorando los conocimientos sobre los procesos bioquímicos generados por la investigación y la ciencia en general, y acumulados desde hace casi un siglo, que debían ser conocidos y utilizados, por lo menos al mismo ritmo y nivel que se utilizan otros adelantos, en el resto de actividades de la agroindustria.

El objetivo de esta segunda parte es continuar presentando de forma asequible para profesionales de diferentes especialidades, la esencia de la ruta microbiológica de la sacarosa, su implicación para el proceso agroindustrial y, sobre todo, para el diagnóstico y la evaluación de la magnitud de la actividad microbiológica o sus efectos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Dado que es un trabajo conceptual y pedagógico, como en su precedente, el desarrollo se basa en la previa detección de necesidades de capacitación (DNC) en la implementación del sistema integral de control microbiológico.

Se utilizaron textos básicos de Bioquímica General (Nelson y Cox, 2018), y el conocimiento de lo que es realmente la respiración celular, después de asemejarla a algo muy corriente y bien sabido en el proceso azucarero, como es la utilización de la energía potencial química de los combustibles y su paso a través de otras formas de energía hasta su disipación y/o uso final, se enfatiza en su diferenciación, los pasos y vías de la ruta, sus principales productos intermedios, y su producto final. Se discute el rol determinante del nucleótido Nicotamida Adenina Dinucleótido (NAD), y su par reducido NADH, en la recepción y traspaso de cationes Hidronios (H^+), como iniciador en algunas vías, y como matriz y transmisor de energía.

Se presentan las consecuencias de la Ruta Microbiológica de la Sacarosa (RMS) para el proceso y también para el diagnóstico, evaluación y reducción del crecimiento de la actividad microbiológica.

1. La ruta microbiológica de la sacarosa y su comparación con la producción de energía en el horno

En el trabajo de referencia (Núñez, 2021), se comparó la obtención de energía por los microorganismos a partir de la sacarosa con la de la fábrica, en el horno de su termoeléctrica. En ambos, el combustible se descompone en compuestos más simples, la eficiencia está vinculada a la presencia de Oxígeno y a la degradación parcial o total del combustible, y hay un transmisor de energía desde la fuente original hasta el punto donde la misma es utilizada. Sin embargo, hay dos diferencias muy significativas que es importante mencionar:

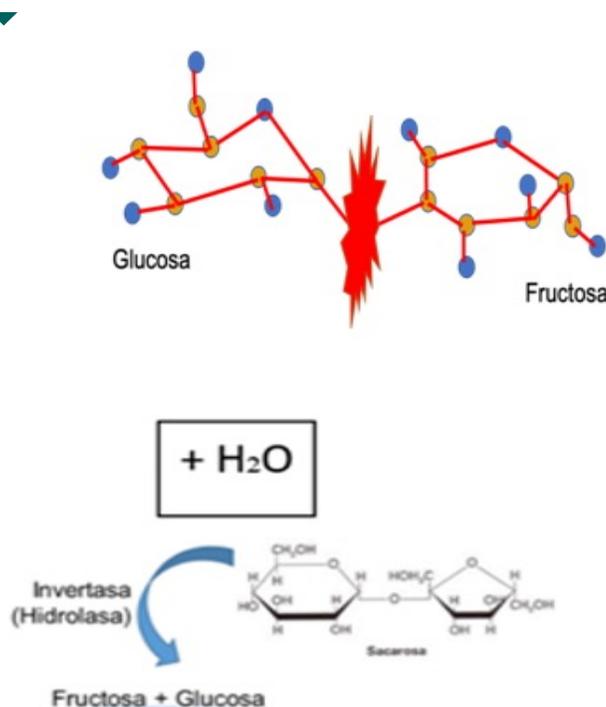
- en el proceso biológico no se desperdicia o disipa tanta energía como en el proceso fabril; se podría decir que las células no pueden darse ese lujo
- mientras en el proceso fabril (también en el de motor de combustión interna), la conversión de la energía química potencial del combustible ocurre de forma brusca, súbita e impetuosa; en la célula, se produce en forma escalonada en que gradualmente unas moléculas se transforman en otras, de tal forma que se establece una ruta metabólica compleja, desde la molécula con el rol de combustible hasta el transmisor.

Tanto por las consecuencias para el proceso, como para la selección de indicadores de su magnitud, es muy importante conocer las diferentes sustancias de esa ruta metabólica, las de vida efímera por ser metabolitos intermedios y los metabolitos finales, que en principio se acumulan o disipan. En los epígrafes siguientes se mostrarán los pasos más importantes, dentro de la RMS.

2. La llamada “inversión de la sacarosa”, primer paso de la Ruta Microbiológica de la Sacarosa (RMS)

Primero que todo, es necesario aclarar que ese paso donde la sacarosa se desdobra en sus dos hexosas componentes es una hidrólisis y, aunque le llamen invertasa, la enzima que la cataliza es una hidrolasa (incorpora H₂O). El nombre de inversión viene por un escenario analítico, ya que la desviación de la luz polarizada que mide el polarímetro, es hacia la derecha en el caso de la sacarosa y la glucosa, mientras que en la fructosa es hacia la izquierda; y cuando hay una considerable concentración de fructosa, se “invierte” la lectura hacia la izquierda. Una molécula de agua provee los iones H⁺ y O²⁻ necesarios para completar las valencias que quedan libres al separarse las hexosas componentes de la molécula integrada.

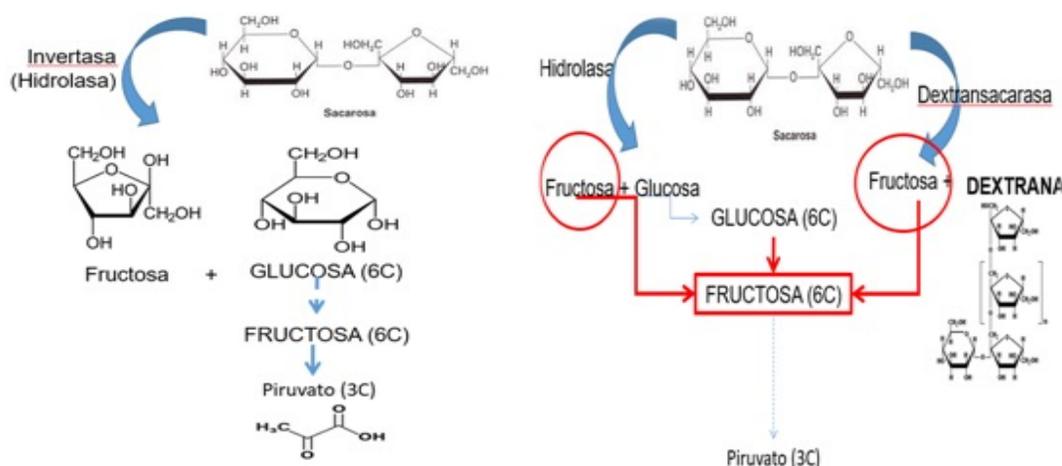
Figura 1: Una de las dos primeras reacciones de la RMS, hidrólisis (inversión) de la sacarosa y su desdoble en sus dos hexosas componentes



Equivocadamente, para una proporción significativa de tecnólogos en la agorindustria azucarera ahí termina el proceso, y por eso se hacen cálculos de las pérdidas de sacarosa de origen microbiológico, o valoraciones de fuerte actividad microbiológica, a partir del incremento de azúcares reductores. Pero esto no ocurre así, como ya se ha comentado anteriormente. La glucosa y la fructosa, que son hexosas (6 átomos de carbono), se degradan a dos moléculas de 3 átomos de carbono de una sustancia llamada Piruvato, mediante una serie de reacciones que juntas y en orden, recibe el nombre de glucólisis o vía EMP, por las iniciales de los investigadores que la elucidaron.

3. La vía obligada de la ruta microbiológica

La glucólisis es una vía obligada de la RMS, y a grandes rasgos comienza con la isomerización de la glucosa a su isómera fructosa (muy parecida, solo difieren en la posición de los grupos H₂ y OH₂). Así que realmente es a partir de la fructosa que se continua con esa especie de mapa o vía metabólica donde se van formando metabolitos intermedios, hasta que todo termina en el llamado Piruvato, como se muestra en la figura 2.



◀ **Figura 2: Mapa metabólico abreviado de la glucólisis (EMP); izquierda: representación de las principales moléculas iniciales y final; derecha: resalte de los tres accesos de la fructosa a la vía, incluyendo la dextranogénesis.**

En el lado izquierdo se muestra el resumen de la vía, y como se reduce el número de carbonos en los metabolitos desde los 12 de la sacarosa hasta los 3 del piruvato. En el lado derecho se enfatiza en las fuentes y los accesos de la fructosa a la vía que son tres: la proveniente de la isomerización de la glucosa, la original de la hidrólisis de la sacarosa y la proveniente de la dextranogénesis que polimerizó a las moléculas de glucosa dejando libre la fructosa; estas dos últimas se incorporan a la vía en el lugar donde le corresponde a la molécula isomerizada desde la glucosa.

En la figura 3 se muestra otra imagen de la primera vía obligatoria para todo lo proveniente de la sacarosa donde se resalta el rendimiento energético neto de 2 ATP (lado izquierdo), originado a partir del rompimiento de los enlaces de los azúcares reductores. Es muy importante que en la metabolización de cada molécula de azúcar reductor se liberan 2 iones H⁺, estos parecen junto al ATP en el esquema. El lado derecho resalta el destino de los iones H⁺: se incorporan directamente a una molécula llamada NAD (Nicotinamida Adenina Dinucleótido) que así se convierte en NADH. Esto es muy importante, porque para que la vida continúe es necesario que se recupere el NAD, y la forma en que esto sucede determina parte de los productos finales de la ruta. Además, este paso del NAD al NADH es también la base del hasta el momento, mejor método para estimar y evaluar la actividad microbiológica, el Test de Resazurina.

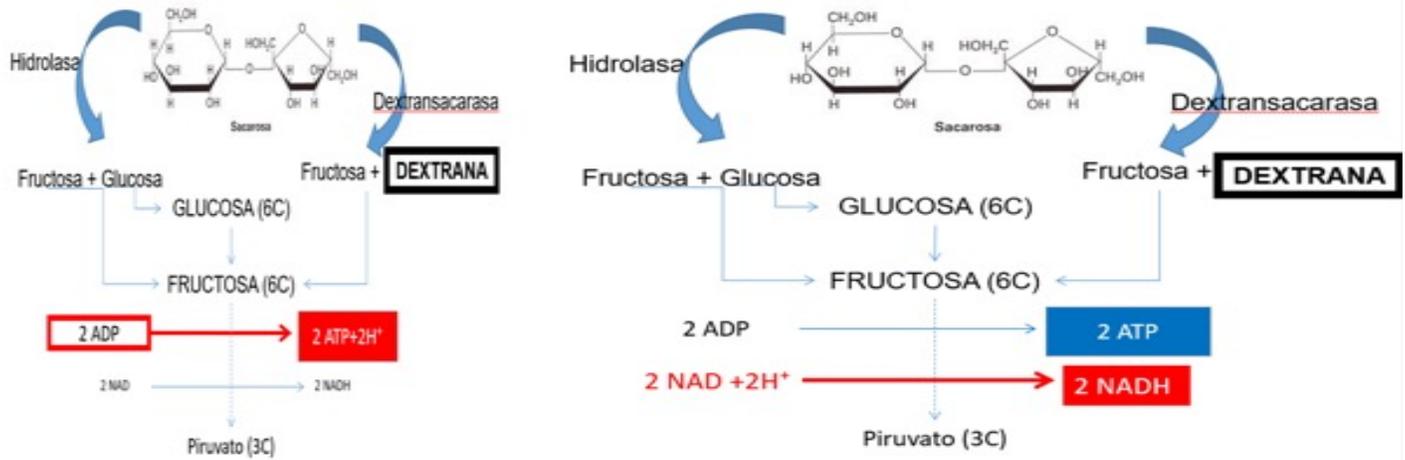


Figura 3: Mapa metabólico de la glucólisis con resalte de la ganancia energética neta (izquierda) y el papel del NAD como aceptor de cationes H₂ liberados con el rompimiento de las moléculas originales (derecha).

Ya se ha visto la ruta microbiológica hasta el piruvato y la formación de dos moléculas de ATP y dos NADH por cada hexosa. Recuperar el NAD y continuar con la metabolización del piruvato son los pasos siguientes que dependen de la naturaleza del microorganismo y de la disposición de oxígeno.

4. La vía aerobia de recuperación del NAD generando energía

Como se mencionó en el epígrafe anterior, el NAD es la sustancia aceptora de cationes H⁺ que se liberan en la primera fase de la RMS, pero no puede ser un aceptor final, ya que de ser así se paralizaría la vida de la célula. Entonces se necesita un aceptor final, que para la mayoría de los microorganismos es el oxígeno, cuando este elemento está disponible.

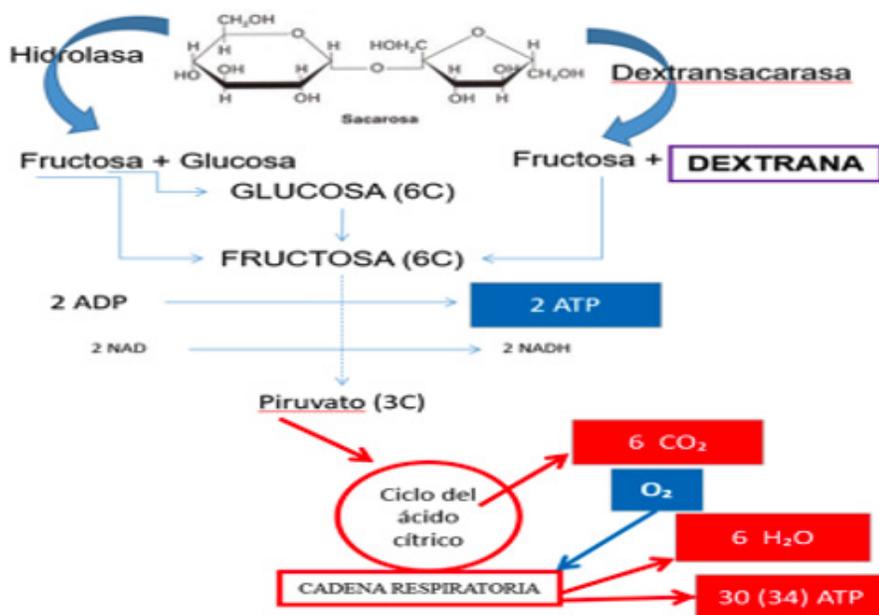


Figura 4: Mapa metabólico abreviado de la vía aeróbica con resalte de los procesos seriados a partir del piruvato, sus productos entrantes y finales.

En presencia de oxígeno (*figura 4*), al igual que en el horno industrial o en el motor de combustión interna, la degradación de las moléculas originales -en este caso sacarosa, glucosa o fructosa- a través del piruvato, se hace lo más completa posible llegando a CO₂, mediante transformaciones sucesivas en forma cíclica, por lo que esa parte de la ruta metabólica se ha nombrado ciclo de Krebs o del ácido cítrico, por su descubridor o por la primera sustancia que se forma en el mismo a partir del piruvato, respectivamente. En este ciclo se liberan muchos más cationes H⁺ por simplificación molecular de los metabolitos involucrados, que igualmente son recepcionados por el NAD, que así se reduce a NADH.

El Oxígeno, es el aceptor final de los cationes H⁺ para formar Agua; y dos electrones que se liberan al oxidarse el NADH a NAD, entran en una llamada cadena respiratoria, pasando sucesivamente de formas reducidas a oxidadas y viceversa, proceso mediante el cual se producen alrededor de 32 moléculas de ATP a partir de cada molécula de glucosa o fructosa, que unido a los 2 anteriores, eleva el rendimiento energético a 32 (36 teóricas) mol de ATP/mol G o F, y también se obtienen 6 mol de CO₂ y 6 mol de H₂O/mol G o F respectivamente. Su fórmula general sería la siguiente:



La respiración aeróbica es la vía más común y de mayor rendimiento energético, por lo que cuando hay mucha actividad microbiológica no se debe esperar que la concentración de sólidos se mantenga constante, sino que se reduce, puesto que los productos finales conformados por los elementos que forman la sacarosa inicial son CO₂ y H₂O, que como es evidente no son sólidos; y por tanto, se reduce la fiabilidad de todas las mediciones que se hagan bajo ese presupuesto, como son los indicadores en que se divide por el brix para comparar puntos sucesivos, donde hay sustracción o adición de agua, como sucede con el jugo primario y el diluído, por ejemplo.

5. Las vías anaeróbicas de recuperar el NAD

Para aquellos microorganismos capaces de vivir (*y respirar, por supuesto*) en condiciones anaerobias, cuando no hay presencia de oxígeno, una de las vías de recuperación del NAD son los residuos aniónicos orgánicos, que con la incorporación del catión H⁺ se convierten en su ácido correspondiente, y así se pueden formar toda una serie de ácidos orgánicos débiles como el Pirúvico, Acético, Láctico, cítrico, etc. También, con una descarboxilación del piruvato, donde se pierde una molécula de CO₂, se obtiene acetaldehído, y este igualmente, acepta el catión H⁺, para convertirse en etanol. En general, se obtienen muchos metabolitos mayormente ácidos y etanol, pero también otros alcoholes y acetona. Por esta vía la célula no adquiere más energía que la correspondiente a las dos moléculas de ATP anteriores de la glucólisis; por tanto, solo es utilizada en condiciones de insuficiencia de oxígeno disponible.

El etanol y los ácidos (sobre todo el láctico) han sido seleccionados por algunos investigadores como un indicador de la actividad microbiológica, y está correcto, porque lo son; solamente se debe considerar que son solo un producto final de una de las vías de la ruta microbiológica, y específicamente en condiciones especiales con rendimiento energético bajo, por lo que no es lo más común. Es muy difícil la cuantificación de todos estos metabolitos que se producen al mismo tiempo, en diferentes proporciones dependiendo del microorganismo, las condiciones imperantes, la acumulación anterior de precursores y otras más. Usarlo, pero con conocimiento de los límites, sin absolutizarlos, es la recomendación del autor. El etanol, por su baja concentración en los jugos y volatilidad, ni siquiera debía ser considerado.

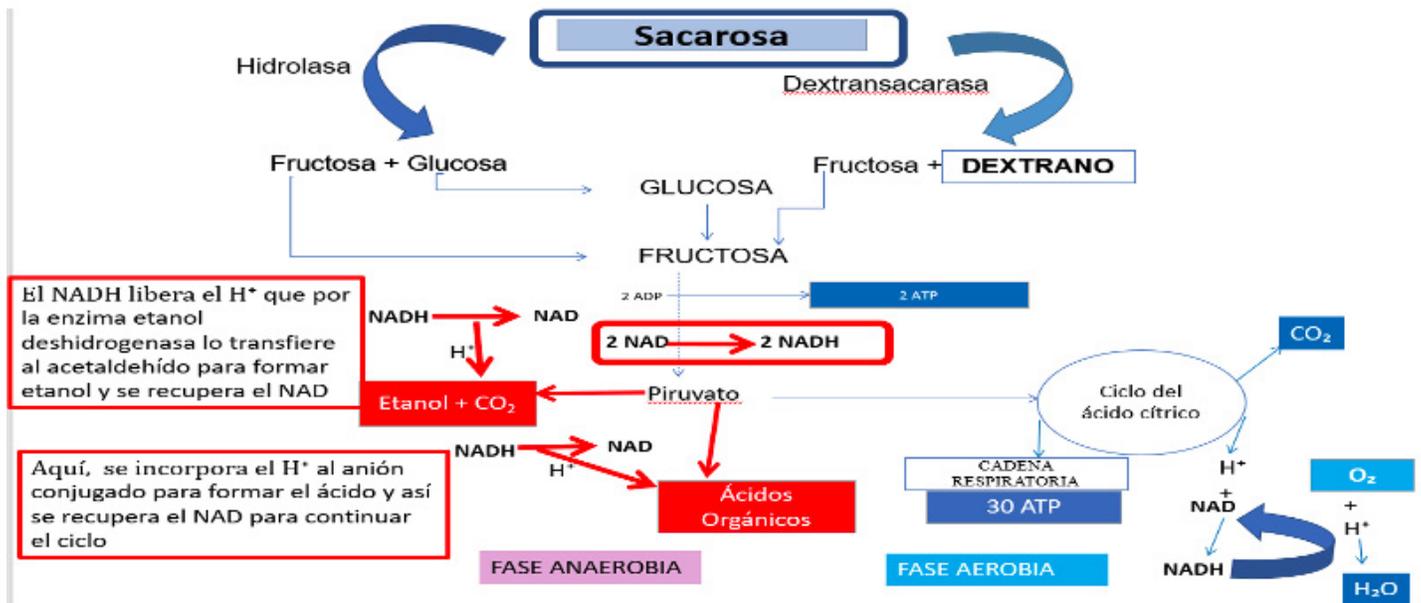


Figura 5: RMS con resalte (rojo) de la recuperación del NAD en condiciones de anaerobiosis

La otra consecuencia que se deriva de esta vía es que los ácidos orgánicos débiles formados suelen incrementar la capacidad buffer o tampón de los jugos, porque sus moléculas no se ionizan totalmente como ocurre con los ácidos fuertes, sino que están en equilibrio con su sal conjugada y el catión H⁺, por lo que el equilibrio se desplazará hacia un lado u otro con la adición de soluciones ácidas o básicas, y como consecuencia, el pH no varía. La capacidad buffer se podría definir como la resistencia de una solución a cambiar su pH con la adición de ácidos o bases.

Jugos con mayor capacidad buffer, significa que en la alcalización, cuyo parámetro operativo para regular el cuadal de cal (en cualquiera de sus formas de dilución) es el pH, se añadirán cantidades adicionales, tanto más como sea la magnitud de la actividad microbológica; y esos cationes Ca⁺⁺ añadidos adicionalmente incrementan las incrustaciones en los evaporadores, los problemas de cristalización y las cenizas en el producto terminado, daños que no siempre han sido justamente valorados.

6. La ruta microbológica de la sacarosa y sus consecuencias generales

En la figura 6 se muestra en forma breve y resumida la RMS con resalte de los dos puntos donde ocurren las principales bifurcaciones; la primera: rotura de la molécula de sacarosa que puede ser por la vía de la hidrolasa (invertasa) con resultado de fuctosa y glucosa; y la segunda, formación de dextrano, quedando la fructosa libre para continuar con el proceso de obtención de energía. La elección de esta vía es más que todo dependiente de que el microorganismo sea dextranogénico (capaz de producir la enzima Dextranosa) o no dextranogénico.

La segunda bifurcación ocurre a partir del piruvato y depende de las características del microorganismo y la disposición de O₂; por la vía aerobia se obtendrá como producto final CO₂ y H₂O y cerca de 64 ATP por molécula de sacarosa; mientras por la vía anaeróbica se obtendrán ácidos, alcoholes, acetona, etc, en los cuales el etanol y el ácido láctico son los más comunes.

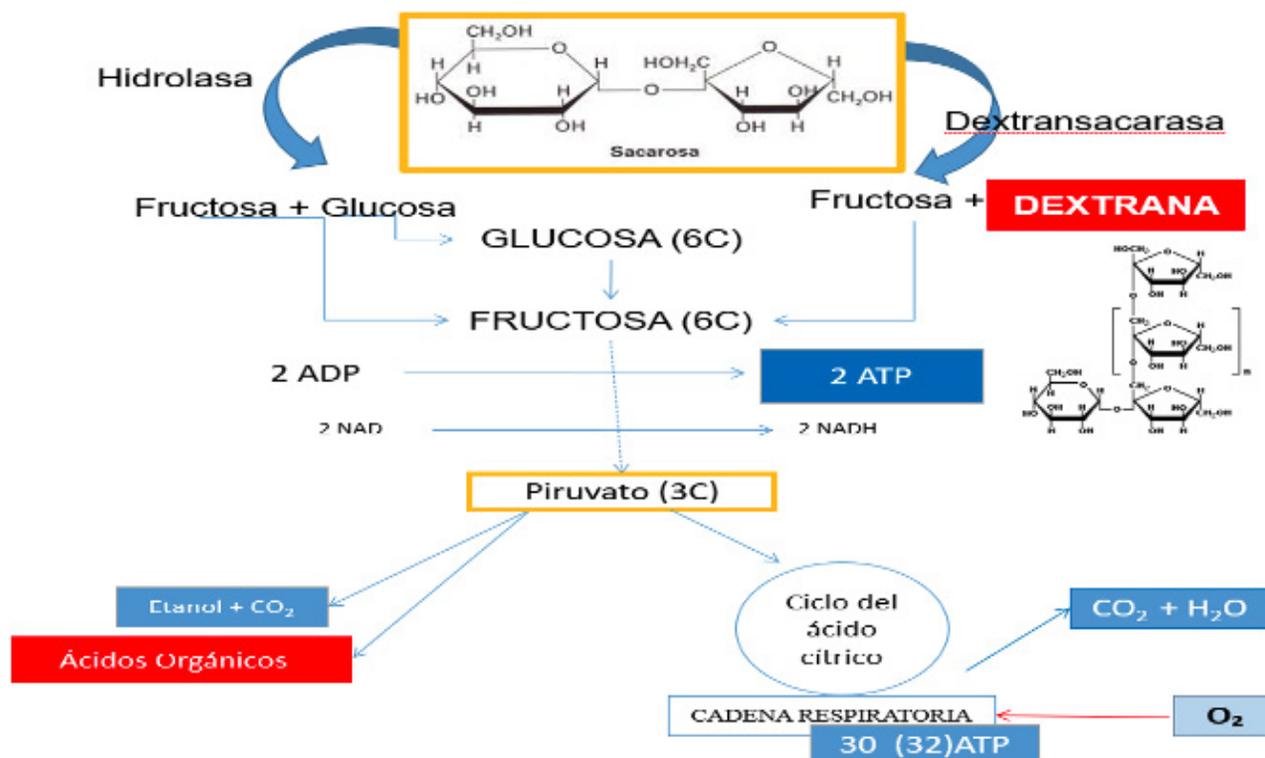


Figura 6: Representación abreviada de la RMS con puntos donde se producen bifurcaciones en vías alternas en recuadro naranja, productos finales de la ruta que se acumulan con fondo rojo y que no se acumulan en azul.

Como la microbiota de los jugos de caña es muy variada, y al mismo tiempo en el proceso de transporte y molienda de la caña se alternan las condiciones de disponibilidad de oxígeno, es de esperar que la concentración de estos productos finales no aparezcan en una estequiometría definida; cualitativa y cuantitativamente serán diferentes para cada escenario, y no es posible establecer un criterio seguro de pérdidas de sacarosa ni evaluar la totalidad del efecto de la actividad microbológica con ninguno de ellos en particular. La acumulación de cada uno de ellos son una señal de biodeterioro, pero es difícil en que grado y la comparación entre diversos escenarios.

Por otra parte, algunos de estos productos no solo son indicadores de la actividad microbológica, sino que uno de ellos el dextrano o dextrana, es un potencializador de la misma, y junto con los ácidos tienen un efecto negativo en todo lo que resta del proceso, aún cuando los microorganismos que los generaron hayan desaparecido en las etapas calientes del mismo.

Particular atención se le debe atribuir a otra molécula que al igual que la combinación ADP-ATP cumple el rol de transportador de energía como lo hace el binomio agua líquida-vapor de agua en la fábrica de azúcar con la que se ha comparado la RMS; este es, el par NAD-NADH que actúa como receptor de iones H^+ , pero que en su recuperación (oxidación), es la reacción inicial de la cadena de transportación de electrones (también conocida como cadena respiratoria o fosforilación oxidativa), en la cual se genera la mayor parte de la energía. Obsérvese en la figura 5 como este paso está presente en toda la ruta: en la glucólisis como paso obligado tanto de la hexosa que proviene de la hidrólisis como de la que proviene de la dextranogénesis, y en la cadena respiratoria de la vía aerobia que es mucho más activa. Un indicador que midiera la velocidad con que el NAD se convierte en NADH, sería el más fiable para medir integralmente toda la actividad microbológica de forma dinámica, en correspondencia con su magnitud.

- Se continuó, como exposición breve, la descripción de la ruta microbiológica de la sacarosa según los conocimientos actuales, para su fácil comprensión, y sobre todo, para la aplicación del conocimiento adquirido en la práctica operativa y como referencia obligada.
- Una vez más se reafirma que la sacarosa es metabolizada por los microorganismos para generar la energía que necesitan en sus procesos vitales, lo que supone la mayor ruptura posible de las moléculas iniciales. Ignorar este concepto genera errores conceptuales y operativos en el diagnóstico y la reducción de la actividad microbiológica.
- Los pasos para la obtención de energía son una serie de reacciones sucesivas y conectadas que integran la ruta metabólica, en este caso de la sacarosa.
- La degradación de la glucosa y la fructosa hasta piruvato es una vía obligada de la ruta microbiológica que en un inicio, y también después del piruvato, tiene dos vías según los tipos de microorganismos y las características del ambiente
- La reducción del NAD por captación de los cationes H⁺ liberados en los procesos catalíticos oxidativos de la ruta, y su reacción inversa de recuperación, son pasos determinantes que soportan las diferentes vías, y son prácticamente la única reacción presente en toda la actividad microbiológica, por lo que deben sustentar el indicador más fiable para su medición, estimación y evaluación.
- El resultado final de la ruta es una mezcla de metabolitos que se acumulan o desaparecen, ya sea por su utilización por la célula o por su volatilidad, por lo que son poco fiables los cálculos estequiométricos de las pérdidas de sacarosa usando alguno de ellos.
- La generación de ácidos orgánicos débiles causa un daño posterior con el incremento de las incrustaciones, dificultades en la cristalización y mayor concentración de cenizas en el producto terminado, por lo que con la dextrana, son los dos únicos metabolitos finales que se acumulan y constituyen elementos de daños al proceso mas allá de la propia actividad de las células vivas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antier, P. Microbiological control in a cane sugar mill: implications on sugar quality and losses. Proc S Afr Sug Technol Ass 70: 185-187. 1996.
- Eggleston, Deterioration of cane juice-sources and indicators. Food Chemistry 78:95-103. 2012.
- Eggleston, G; Marel du Boil PG; Wlaforod SN. A review of sugarcane deterioration in the United States and South Africa. Proc S Afr Sug Technol Ass 81:72-85. 2008
- Hernández, MT. Microbiología de la producción azucarera. Producciones microbianas derivadas, Universidad Central de Las Villas, Cuba, 385 p. 1986.
- Nelson, D.L. y Cox M.M., Principios de Bioquímica. Lehninger; Edición: 7ª; Editorial: Omega;
- Publicación: Diciembre 2018; p 230-240; 521-533, 481-750.
- Núñez, O., La ruta microbiológica de la sacarosa, Rev. Atagua, enero-marzo, 2021 13-18



En su compromiso de cumplir con el objetivo de brindar capacitación y transferencia de tecnología para todos sus asociados, ATAGUA con el valioso apoyo de Ingenio Madre Tierra, llevó a cabo la Gira de Campo 2023 en la finca El Retiro, el 8 de marzo. Se contó con una participación de 180 técnicos de los diferentes ingenios del país, así como algunos de El Salvador, Honduras y Brasil.

Gracias a las reuniones de coordinación y logística de parte del personal profesional de Ingenio Madre Tierra y ATAGUA se pudo llevar a cabo un evento exitoso y con buena afluencia tanto de profesionales de la agroindustria azucarera, así como también buena participación de casas comerciales afines a la agroindustria, quienes tuvieron la oportunidad de colocar stand para poner a la orden sus productos y servicios, sino que también algunos hicieron con anticipación aplicación de sus productos para poder demostrar sus resultados el día de la gira.

Los temas que se trataron en la gira fueron:

- **Siembra:** El proceso de renovación de la empresa incluye una planificación integral, con variedades evaluadas por Cengicaña, cuyo logro primordial es 23% de respuesta respecto a su último corte.
- **Madurantes:** El programa de madurante asociado a la política empresarial de búsqueda de sacarosa. Siendo la práctica de aplicación de pre-madurante una práctica que se desarrolló conjuntamente con Cengicaña que permite no solo obtener buen rendimiento en caña plantía sino también menor daño a rebrotes para la siguiente zafra.
- **Sistema de dosificación de Fertilizante:** Es un sistema integrado que fortalece los controles de este recurso tan valioso para la producción. Es posible visualizar el detalle de las variaciones en velocidad de operación y la dosificación real aplicada en campo. La empresa indicó que están iniciando a realizar tareas de dosis variable del fertilizante, para responder a las necesidades in situ del campo.
- **Precosecha (Uso de QR, imágenes satelitales):** Es un seguimiento por parte del nuevo Departamento de SIG de Madre Tierra. Los muestreos precosecha registra la ubicación de las muestras y que dicho muestreo no es al azar sino basado en imágenes satelitales. Para ello se utilizan las Imágenes Sentinel de Cengicaña e Imágenes de Nax-Solutions.
- **Parcelas demostrativas de herbicidas:** En un equipo con sistema de riego mecanizado con avance frontal, se establecieron diversas parcelas demostrativas. Acá se permitió que



cada casa comercial expusiera su ventaja competitiva respecto a su portafolio de trabajo. La actividad estuvo avalada por el Departamento de Malezas y Madurantes de Ingenio Madre Tierra y el Dr Gerardo Espinoza de Cengicaña, a fin de que se brindara a los técnicos de la agroindustria confianza en lo que se les presentó.

Al finalizar las charlas técnicas, los participantes degustaron de un almuerzo patrocinado por ATAGUA y variedad de boquitas nacionales proporcionadas por las diferentes casas comerciales. Se contó con la participación de un cómico y ambientación musical.

ATAGUA agradeció a la Gerencia de Ingenio Madre Tierra y se hizo entrega de un reconocimiento al Ing. Carlos Echeverría.



Esta gira de campo fue gracias al apoyo de:



Ingenios que se visitarán durante el Congreso ATACA-ATAGUA 2023



Grupo No. 1: Ingenio La Unión

-  **Fundado en 1969**
-  Área cultivada: **29,976.47**
-  Toneladas de Azúcar por Hectárea: **13.55**
-  Toneladas de Caña por Hectárea: **119.29**
-  Capacidad de molienda día: **19,210**

Temas a tratar:

- Planta de tratamiento de semilla
- Avances de variedades
- Inclusión de la mujer en labores agrícolas de cosecha y campo
- Investigación agrícola como base, adecuación de distanciamiento de siembra y cosecha mecanizada.



Área Agrícola

INGENIO
LA UNIÓN



Grupo No. 2: Ingenio Pantaleon

-  **Fundado en 1870**
-  Área cultivada: **46,522.59**
-  Toneladas de Azúcar por Hectárea: **10.77**
-  Toneladas de Caña por Hectárea: **101.51**
-  Capacidad de molienda día: **28,684.00**

Temas a tratar:

- Ferteco:** Planta formuladora de fertilizante líquido a base de vinaza concentrado y su aplicación en campos de cultivo.
- Siembra mecánica y mini mecánica.
- Cosechadora de caña de doble surco.



Área Agrícola

 Pantaleon



Grupo No. 3: Ingenio La Unión

-  **Fundado en 1969**
-  Área cultivada: **29,976.47**
-  Toneladas de Azúcar por Hectárea: **13.55**
-  Toneladas de Caña por Hectárea: **119.29**
-  Capacidad de molienda día: **19,210**



Área Industrial

Temas a tratar:

- ✓ **Limpieza en Seco:** Este sistema consiste en rampas inclinadas, colocadas en mesas de caña. La basura es recolectada y transportada a la tolva de carga para su retiro.
- ✓ **Centro de Coordinación Agroindustrial:** Es el centro que provee una vista centralizada y permite la coordinación y colaboración de todas las operaciones del ingenio, brindando información en el momento preciso para la toma de decisiones.
- ✓ **Montaje del tacho continuo vertical:** Se utilizará para procesar masas A, cuenta con 4 calandrias apiladas y agitadores. Operará con vapor de tercer efecto.
- ✓ **Refinería:** Nuevo proceso de refinería, utilizando super absorbente y filtración. Se eliminará la utilización de la clarificación de licor.

INGENIO
LA UNIÓN



Grupo No. 4: Ingenio Trinidad

-  **Fundado en 1987**
-  Área cultivada: **17,487**
-  Toneladas de Azúcar por Hectárea: **11.84**
-  Toneladas de Caña por Hectárea: **105.90**
-  Capacidad de molienda : **13,800 TM**
-  Recuperación Total : **83.48**



Área Industrial

Temas a tratar:

Buenas prácticas en la **gestión del mantenimiento** y su **impacto** en:

- ✓ **La operación:** A través de la reingeniería estructural organizacional de mantenimiento, centralizando la gestión y unificando criterios en el control de los procesos y como resultado se logró la reducción de mantenimiento correctivo y estabilidad de los procesos operativos.
- ✓ **Disminución de tiempo perdido:** La generación de datos de calidad para la toma de decisiones con evidencia y mejora de la eficiencia que ha permitido reducir los tiempos perdidos de manera significativa.
- ✓ **Optimización de costos:** Se ha logrado a través de estrictos controles antes del reembolso de los recursos. La sinergia entre áreas operativas, Planeación y control que ha permitido un costo estándar óptimo.
- ✓ **Resultados de la reingeniería del Sistema Limpieza en Seco:** Se mostrarán los beneficios en recuperación de caña perdida, disminución en consumo de energía y reducción en costos de mantenimiento.





**TU MEJOR OPCIÓN
COMO MADURANTE
DE CAÑA DE AZÚCAR**


Roundup[®]

Antes de usar el producto leer y seguir las recomendaciones de la etiqueta.
Al manipular y usar el producto usar equipo de protección.