

Atagua



ASOCIACIÓN DE TÉCNICOS AZUCAREROS DE GUATEMALA

ABRIL · JUNIO

2021



PÁGINA SIGUIENTE >

www.atagua.org



JUNTA DIRECTIVA

Lic. Luis Carlos Arroyo
Ingenio Santa Ana

Presidente

Ing. Fernando Barneond
Ingenio Pantaleón

Vicepresidente

Dr. Gerardo Espinoza
Cengicaña

Tesorero

Ing. Fabricio Alvarado
Ingenio Pantaleón

Protesorero

Ing. Joel Morales
Ingenio Magdalena

Secretario

Ing. Francisco Paz
Ingenio Pantaleón

Prosecretario

Ing. Marco Tax
ICC

Vocal I

Licda. Nancy Monroy
Ingenio Trinidad

Vocal II

Lic. Aldo Medina
Ingenio Trinidad

Vocal III

Ing. Ivan Aguirre
Ingenio Madre Tierra

Vocal IV

Ing. César Martínez
Ingenio La Unión

Vocal V

Estimados lectores:

Gracias a Dios hemos culminado la zafra 2020-2021, podemos decir que fue un gran logro, a pesar de las dificultades sanitarias presente durante todo el período de cosecha y que requirió de un esfuerzo adicional, pero fue evidente también el espíritu de lucha y la responsabilidad que prevaleció en todos los técnicos y colaboradores en general y que al final dieron sus frutos. Esta pandemia ha provocado un desgaste físico y emocional que no deja indiferente a nadie y nos duele muchísimo la partida de muchos compañeros que durante muchos años formaron parte de la familia azucarera guatemalteca y ahora ya no se encuentran con nosotros, esperamos en algún momento, cuando ya todo esto termine podamos agradecer de forma especial a todos ellos que han partido a la presencia del Señor.

En esta edición de nuestra revista presentamos los siguientes trabajos: IoT con LoRaWAN en caña de azúcar, Manejo Foliar para la Mitigación de Estrés Abiótico en la Caña de Azúcar y El Efecto de la Dextranogénesis en las Primeras Etapas del Proceso Azucarero. Agradecemos a nuestros investigadores que nos han compartido sus experiencias a las empresas en las que laboran, por permitir que se publiquen dichas investigaciones. Además de los valiosos trabajos expuestos les mostramos el resumen de la gira de campo virtual, actividad que fue un gran éxito y de igual manera agradecer a Ingenio La Unión que nuevamente nos compartió sus avances tecnológicos, agradecemos especialmente al Ing. Jorge Sandoval, José Estrada e Ing Guillermo González, por permitir realizar nuestra actividad y dedicarle el tiempo para que todo se realizara de la mejor manera.

Agradecemos el enorme esfuerzo de las casas comerciales que no han fallado y han dicho presentes en todas nuestras actividades de capacitación, al equipo de Administración y Junta Directiva que con entusiasmo y profesionalismo han aportado ideas y dedicado el tiempo necesario para que cada actividad que se realiza logre satisfacer a nuestros asociados y técnicos en general, no sólo de Guatemala sino de Latinoamérica.

**A todos ellos y nuestros lectores,
mil gracias y que Dios siga bendiciendo
a la familia azucarera guatemalteca.**



NUESTRA PORTADA:
"Caña de Azúcar en autopista Escuintla"
Concurso fotografía 2018
Ing. Oscar René Taracena.



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

(502) 5517-3978

adminatagua@cengican.org

secreatagua@cengican.org

PÁGINA ANTERIOR

PÁGINA SIGUIENTE

IoT con LoRaWAN en caña de azúcar

Por:
Enrique Manuel Coloch Tahuico¹ **
and Gustavo Adolfo Rosal
Samayoa^{1*},**

¹Ingenio Magdalena S.A., La Democracia, Escuintla,
Guatemala C.A.

* Ingenio Magdalena

** e-mail: ecoloch@imsa.com.gt

*** e-mail: grosal@imsa.com.gt



- Tecnología LoraWAN
- Arquitectura de Red
- Nodos
- Servidor
- RIABAP

R E S U M E N

La selección de una red LoRaWAN para conectividad de los cultivos de caña de azúcar se basa en el área a cubrir, el tipo y volumen de equipos para monitorear la producción, como sensores de medición de lluvia, humedad, pH, temperatura, radiación. También dado a las características de escalabilidad de esta tecnología, y como evidencia de esto, la adopción del estándar en el ecosistema global del internet de las cosas.

The selection of a LoRaWAN network for connectivity of sugarcane crops is based on the area to be covered, the type and volume of equipment to monitor production, such as sensors for measuring rain, humidity, pH, temperature, radiation. Also given the scalability characteristics of this technology, and as evidence of this, the adoption of the standard in the global ecosystem of the Internet of Things.

INTRODUCCIÓN

La estrategia vigente de Magdalena es "implementar una cultura de mejora continua y enfoque en procesos con tecnología que permita tomar decisiones basada en datos y un alto sentido de responsabilidad hacia nuestros grupos de interés e incursionando en nuevos mercados con productos derivados de la caña de azúcar con un valor agregado."

Hace 9 años se creó el área de agricultura de precisión cuyo objetivo principal es introducir de una manera creativa y efectiva la tecnología agrícola de última generación para ser evaluada y desarrollada dentro de los procesos de producción de azúcar y sus derivados.

Es importante recalcar que Magdalena se ha promovido la participación de sus colaboradores, estar siempre en la búsqueda de la innovación y cómo podemos aportar al incremento de productividad y mejorar nuestros costos.

Durante el año 2020 se creó el laboratorio de automatización agrícola, conformado por jóvenes talentos y futuros profesionales en informática y electrónica, que su mayor aporte a la corporación es buscar soluciones accesibles e innovadoras a los retos actuales en el cultivo de caña de azúcar, uno de ellos, que desde un inicio nos interesa es como podemos mejorar la comunicación en las zonas remotas donde hoy por hoy no tenemos como comunicarnos. Y ¿Por qué no? Subimos al barco de internet de las cosas, capturando datos de variables que inciden en el desarrollo de caña de azúcar en Guatemala.

Según AZASGUA, El área cultivada de caña de azúcar en Guatemala en el año 2020 corresponde a 258,025

hectáreas [1], en distintos tipos de terreno y climas variantes entre cada finca. Solo en Ingenio Magdalena, (ingenio más grande de Guatemala, 4 a nivel mundial) maneja 33 variedades de caña, distribuida en su mayoría en la zona litoral de Guatemala.

Hoy en día la agricultura inteligente analiza el estado del cultivo por medio de modelos matemáticos, tomando en consideración datos provenientes de satélites, estaciones meteorológicas y otras entradas de datos. Con el objetivo de determinar las necesidades de la caña con respecto a agua, nutrientes y manejo de malezas, sin embargo, estos modelos necesitan también puntos de ajuste para realizar un análisis más acertado e impactar verdaderamente en la productividad.

Para realizar estas mediciones se hace necesario instalar dispositivos en campo que midan y transmitan de manera autónoma datos de lluvia, humedad, radiación, pH, riego y otras variables.

La cantidad de área para cubrir es muy extensa, por lo tanto, el volumen de los dispositivos a desplegar será proporcional, lo que implica implementar sensores de bajo costo, bajo mantenimiento, bajo consumo energético y la característica principal, inalámbricos de largo alcance. LoRaWAN es un protocolo de red para dispositivos de internet de las cosas con estas características y permite conectar el campo para IoT con mucho menor costo que la tecnología celular y más eficiente energéticamente dado que los dispositivos pueden funcionar durante años sin cambio de batería.

LoRaWAN es protocolo de red catalogado como LP-WAN (Low Power Wide Area Network) utilizado para aplicaciones de internet de las cosas. Utiliza como capa física la modulación inalámbrica LoRa (Long Range) y establece reglas para comunicar y administrar dispositivos desde internet [2].

Este estándar es manejado por la LoRa-Alliance creada en 2015 y tiene el objetivo de actualizar y proveer a desarrolladores de normas para interoperabilidad entre dispositivos y crecer el ecosistema de aplicaciones empleando LoRaWAN. Estas aplicaciones de crecimiento son en industrias de agricultura, edificios y ciudades inteligentes, fabricas, logística y empresas de servicios básicos como energía, agua, gas etc.

Una red LoRaWAN basa su funcionamiento en tres agentes de red que son, los dispositivos finales normalmente conocidos como nodos que conectan sensores o actuadores, concentradores o gateways y un servidor de red.

Arquitectura de Red

LoRaWAN es un protocolo de internet de las cosas, pero ¿Cómo se hacen llegar los datos desde un sensor hacia internet y viceversa?, LoRaWAN define una topología tipo estrella, en donde los dispositivos finales se conectan a uno o varios concentradores LoRa, estos actúan como dispositivos transparentes convirtiendo los paquetes de radiofrecuencia a paquetes IP trasladándolos al servidor LoRa donde se realiza la autenticación y enrutamiento de los datos.

La comunicación en la red es de dos vías, ascendente y descendente, la transmisión nodo-servidor es conocida como uplink y servidor-nodo como downlink.

Nodos

Son equipos instalados en campo con conexión directa a sensores o actuadores. LoRaWAN categoriza los dispositivos en tres clases, A, B o C, en función al tipo de comunicación de downlink que establecen y por consiguiente, en lo eficiente que son energéticamente. La clase A solo puede recibir un paquete desde el servidor cuando abre dos ventanas de recepción inmediatamente después de cada transmisión tipo uplink, es decir que este tipo de nodo solo puede recibir datos cuando él mismo inicia la

comunicación y no el servidor. Los dispositivos de clase B además de funcionar como los de clase A, también tienen la capacidad de establecer horarios para una transmisión tipo downlink, por lo que tienen que estar sincronizados al servidor. Los nodos de clase C están continuamente escuchando transmisiones tipo downlink, por lo que no existe latencia entre mensajes enviados desde el servidor

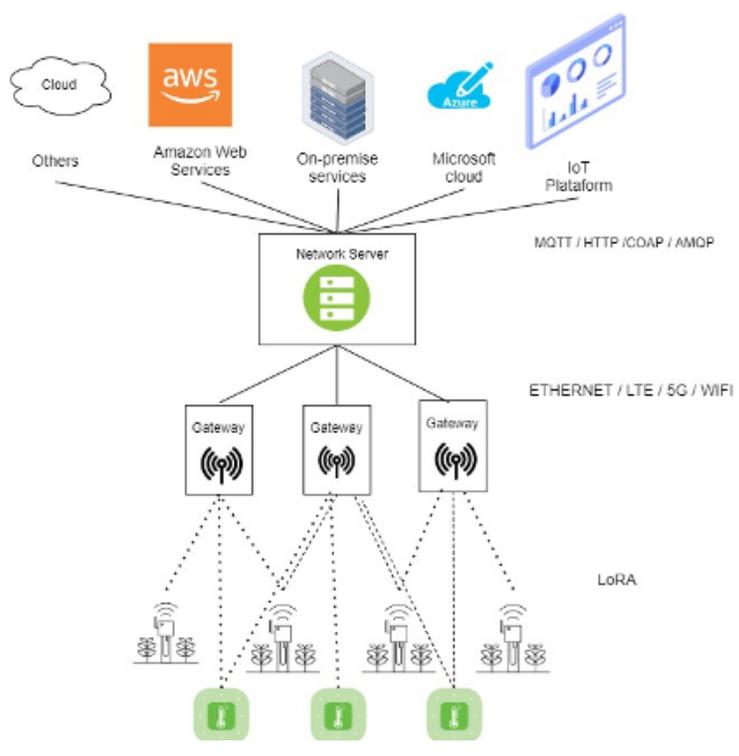
hacia el nodo. Esto hace que sean los menos eficientes energéticamente, pero de gran capacidad para responder a eventos en tiempo real [3].

Concentradores

Un concentrador LoRaWAN es el equipo intermediario entre los dispositivos finales y el servidor LoRaWAN. Este rol de mediador requiere que estos equipos cuenten con múltiples interfaces de acceso a internet y por supuesto una interfaz LoRa para comunicarse con los nodos de forma inalámbrica.

Describiendo brevemente la estructura de hardware de estos equipos, se puede mencionar que contienen una interfaz de LoRa con capacidad de escuchar varios canales en simultáneo, actualmente los fabricantes tienen versiones con capacidad de 8 y 16 canales. El criterio para elegir la capacidad se basa en la cantidad de dispositivos que estará atendiendo, se debe recordar que un canal es ocupado por un nodo durante un tiempo corto y al finalizar la transmisión dejará el canal libre para que otros dispositivos lo puedan utilizar, pero si la cantidad de nodos es muy grande, algunos pueden tener problemas en encontrar un canal disponible, por lo regular un concentrador puede atender 2000 dispositivos sin problemas.

Figura 1: Arquitectura LoRaWAN



PÁGINA ANTERIOR

PÁGINA SIGUIENTE

Servidor de Red

Dentro del modelo de red LoRaWAN se encuentra el Servidor LoRaWAN el cual es el núcleo de la red. Se trata de un servidor que integra servicios para el manejo de la red, autenticación y direccionamiento de los datos hacia otras aplicaciones en internet y enrutamiento de paquetes entre dispositivos.

En este servidor se encuentran instalados un conjunto de servicios que realizan las tareas anteriormente mencionadas, pero los servicios con mayor relevancia para el protocolo LoRaWAN son: Servicio MQTT, Servicio Network Server, Servicio Application Server [4]. La LoRa-Alliance establece las reglas de comunicación entre dispositivos finales, concentradores y servidor LoRaWAN, sin embargo, no desarrollan el software para poner en práctica estas normas. Para esto empresas privadas, comunidades o desarrolladores independientes implementan servicios que contienen el stack del protocolo. Estas entidades ponen al servicio del mercado soluciones en nube o licencias para la utilización de su software para redes privadas. También existen redes públicas, The Things Network es una red global gratuita con 24053 concentradores en 151 países [5], Helium Network es una red pública que funciona sobre la tecnología blockchain para recompensar con criptomonedas a los propietarios de concentradores, actualmente con 93000 concentradores conectados en 101 países [6]. Una observación muy importante es que el servidor LoRaWAN no incluye el servicio de almacenamiento de datos enviados por los sensores, pero si tiene la posibilidad de redireccionarlos hacia algún servicio de base de datos o cualquier otra aplicación. Este servidor es puramente de red, administración y autenticación de dispositivos finales y concentradores.

Frecuencias

El espectro radioeléctrico es un recurso físico limitado, por lo cual esta estrictamente regulado por los gobiernos de todo el mundo. Cada espacio de este espectro de frecuencias está dividido y asignado para la utilización en aplicaciones específicas en su mayoría siguiendo estándares internacionales.

Teniendo en cuenta estos estándares, LoRaWAN plantea la utilización de bandas ISM (Industrial Scientific Medical). Estas bandas han sido adoptadas internacionalmente para utilización de sistemas de comunicación inalámbrica sin licenciamiento formal. Actualmente algunos sistemas que las utilizan son microondas, wifi, bluetooth y otros.

A pesar de que internacionalmente se definan estas bandas de frecuencia, no todos los países adoptan las mismas, derivado de la cercanía, existe una división por regiones y LoRaWAN adopta estas regiones y recomienda para cada país una o varias bandas.



Entre ellas están para Estados Unidos US915MHz, Europa EU868, Australia AU921, Asia AS923.

En el caso de Guatemala es recomendada la región AU921 y US915 para la utilización de LoRaWAN. En consecuencia, a la cercanía con Estados Unidos y la fácil obtención de dispositivos es conveniente utilizar la banda US915 en las sub-bandas inferiores debido al funcionamiento de una red celular 2G en la banda B8 (900) [7].

La banda US915 define 64 canales de 125Khz cada uno para transmisiones tipo uplink desde la frecuencia 902,3 a 914,9MHz. Es posible también mantener 8 canales de 500KHz desde los 903MHz a los 914,9MHz. Para las transmisiones tipo downlink solo se tienen 8 canales de 500 KHz que van desde los 923,3MHz hasta 927,5MHz. Los concentradores en el mercado tienen la capacidad de atender 8 o 16 canales en simultáneo, por lo cual hacen una división en sub-bandas de 8 canales cada uno, teniendo 8 sub-bandas.

Como parte del avance tecnológico y tendencias actuales de internet de las cosas, la Superintendencia de Telecomunicaciones de Guatemala en diciembre de 2019 aprobó la resolución SIT-DSI-349-2019 en donde se establece un tipo de redes llamadas Redes Inalámbricas de Área Extensa Usando Baja o Muy Baja Potencia (RIABAP).

Según el documento de disposiciones técnicas de RIABAP define como una red inalámbrica que cubre áreas extensas que pueden ser superiores a los mil metros cuadrados donde se pueden tener una o más radio bases que recogen la información de dispositivos terminales en periodos de tiempo muy cortos con una potencia muy baja.

Parámetro	RIABAP
Ancho de banda máx	500KHz
Payload máximo	40 bytes
Tiempo en aire máx	400ms
Potencia Tx máx	Uplink: 26,99dBm Downlink: 36,00dBm
Comunicación	M2M
Restricción	Voz, video

Cuadro 1: Parámetros de RIABAP [8]

6 LORAWAN CONECTANDO EL CULTIVO DE AZÚCAR

La caña de azúcar es un cultivo que pasa por las etapas de iniciación, macollamiento, elongación 1, elongación 2 y maduración. Estas etapas tienen un requerimiento hídrico distinto.

Los administradores de producción necesitan asegurar que el requerimiento hídrico sea cubierto de manera adecuada y tomar acciones si se detectan deficiencias o sobre aplicaciones.

Para esta verificación tradicionalmente se emplean procesos manuales de medición con instrumentos análogos o digitales sin conectividad, junto a una extrapolación de datos provenientes de estaciones climáticas y datos meteorológicos mundiales, con lo cual, se consigue buena perspectiva del estado de la caña.

No obstante, los modelos muchas veces sufren desviaciones ocasionadas por la intervención humana en la medición, lejanía de las estaciones meteorológicas o desgaste y des calibración de los instrumentos por la propia manipulación. Sin duda los modelos necesitan puntos de ajuste que den mejores resultados con internet de las cosas y muchos más datos en tiempo real.

Los principales factores climáticos que inciden en el crecimiento de caña de azúcar son humedad, temperatura y radiación solar. Cabe mencionar las labores culturales como preparación de tierras, nutrición, control de malezas, riegos, drenajes entre otros influyen de manera directa en la productividad.

Un ejemplo claro de esta situación es la medición tradicional de lluvia y humedad en Magdalena, el proceso inicia cuando una persona por finca visita los pluviómetros de probeta y sensores entre las 3am y 6am diariamente, realiza la lectura del volumen de agua recolectado y lo traslada al administrador por medio de una aplicación de mensajería o en muchos casos de forma directa verbalmente por falta de conectividad en los puntos, esto ocasiona en algunos casos pérdida de información, traslados innecesarios al punto para tomar la lectura o bien ingreso de datos erróneos.

Posterior a que el administrador reciba los datos, realiza un cálculo manual para convertir el volumen recolectado a milímetros y envía el resultado a un digitador vía mensaje de texto quien graba en base de datos.

Este esquema presenta varios riesgos que pueden alterar los indicadores de aplicación de riego, iniciando porque no se tiene certidumbre de que el peón visite los puntos todos los días y que lea bien el instrumento considerando que lo hace cuando no ha amanecido todavía.

Otros errores se pueden presentar cuando se realiza manualmente el cálculo y la digitación.

Etapa fenológica	#Días	Profundidad radicular (cm)	Requerimiento hídrico (mm)
Iniciación	0-45	20	1-2
Macollamiento	46-135	40	3-4
Elongación 1	136-250		
Elongación 2	251-315	40	5-6
Maduración	316-360	60	3-4

Cuadro 2: Requerimiento hídrico según etapas de la caña

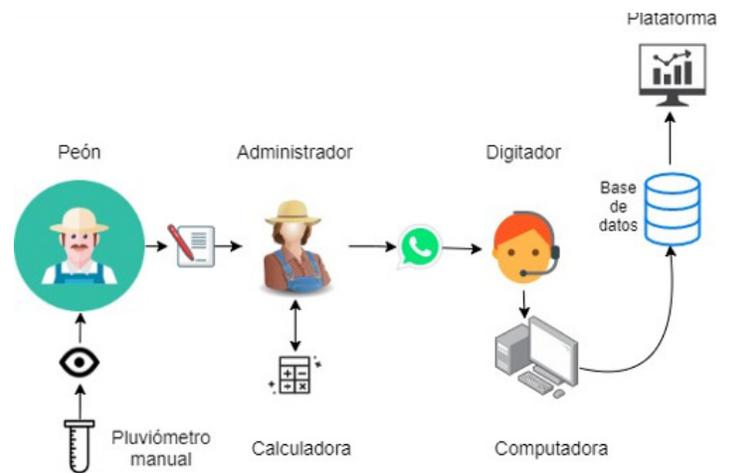


Figura 3: Medición tradicional

La propuesta de una red LoRaWAN para internet de las cosas en el cultivo de azúcar aborda esta problemática de tal forma que provee conectividad a sensores automáticos, instalados en campo obteniendo muchos más datos en tiempo real, realizando todo el proceso tradicional de medición sin intervención humana.

Además, se presenta una plataforma muy escalable para múltiples aplicaciones con cientos de sensores para distintos procesos del Ingenio. Si bien con el monitoreo del cultivo se consigue obtener las cantidades necesarias de agua a regar, es indispensable también verificar que estas cantidades se apliquen correctamente según el modelo.

Para esto es posible monitorear el riego mediante sistemas de telemetría en motobombas, medición de presiones y caudales en tuberías y siempre obtener retroalimentación de sensores de humedad.

Es posible encontrar provecho en otras aplicaciones como el monitoreo de maquinaria agrícola, personal operativo, activos importantes, estaciones meteorológicas, etc. abriendo el ecosistema completo al concepto de internet de las cosas.

Dada la cantidad de área sembrada en los ingenios, el volumen de dispositivos para el monitoreo es proporcional, lo que supondría costos muy elevados por dispositivo y plan de datos. Ahora bien, los costos de dispositivos que funcionan con LoRa son de los más baratos entre los protocolos de IoT más populares. Cabe mencionar que debido a que el protocolo utiliza bandas de frecuencia ISM, no es obligatorio pagar usufructo por el uso del espectro, lo que hace muy viable la implementación de redes privadas para conectar miles de dispositivos. Cada concentrador tiene la capacidad de mantener conectados alrededor de 2,000 nodos.

Un ingenio azucarero posee varias fincas sembradas de distintos tamaños, en la mayor parte de los casos no contiguas, para proveer de cobertura a la totalidad del cultivo se evalúan los puntos estratégicos para la instalación de las antenas. La conexión a internet de estos equipos se realiza por medio de enlaces punto a punto hacia un nodo principal en el ingenio y algunos otros conectados vía red celular como se presenta en la figura 6.

Esta cobertura da lugar a la conexión de sensores y actuadores para automatización en los siguientes casos de uso, siendo posibles muchos más.

- Monitoreo de lluvia, humedad, evapotranspiración Estaciones meteorológicas
- Telemetría en motobombas de riego
- Monitoreo de presiones en aspersores de riego
- Telemetría en cosechadoras y maquinaria agrícola Monitoreo de herramientas e implementos Monitoreo de personal

Figura 4: Concentrador LoRaWAN instalado en IMSA

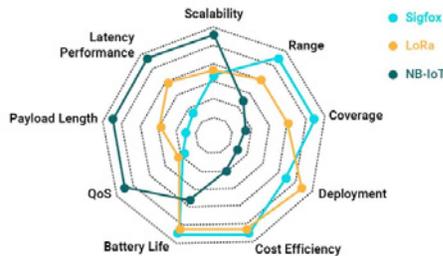


Figura 5: Comparativo LoRa-Sigfox-NB-IoT [9]

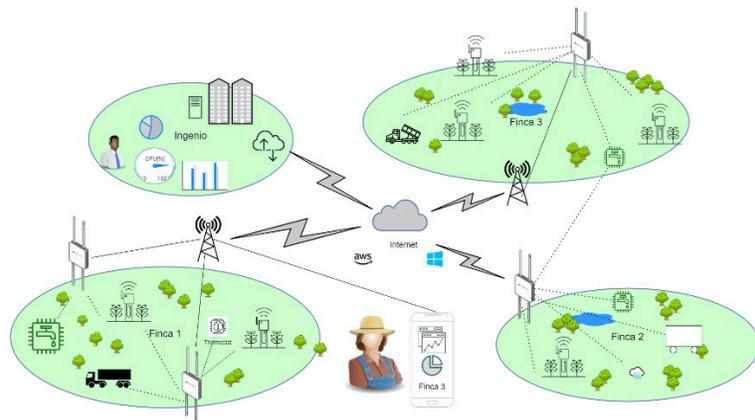


Figura 6: LoRaWAN en fincas

RETOS DE CONECTIVIDAD

Las conexiones LoRa de largo alcance resultan más efectivas con línea vista, lo cual implica que mientras los concentradores se encuentren a mayor altura sobre el nivel del suelo tendrán mayor terreno cubierto. En Magdalena los equipos son instalados en promedio a 40 metros sobre el nivel del suelo dando buenos resultados, con enlaces mayores a los 10km. El mayor reto para el despliegue de la red consiste en la construcción de torres arriestradas para lograr instalar estos equipos.

Esto conlleva la mayor inversión para la conectividad además de un sistema de paneles solares para proveer de energía en sitios sin red eléctrica.

Como todo sistema de comunicaciones inalámbrico LoRa también es afectada por el clima en tormentas, la estabilidad de la red se reduce. No obstante, el protocolo LoRa posee buena inmunidad ante interferencias y como muestra de ello se tiene la experiencia de que los equipos que capturan lluvia logran transmitir más del 95 % de paquetes en tormenta.

Un reto importante para la conectividad es la interferencia presentada por otros usuarios sin autorización del espectro electromagnético.

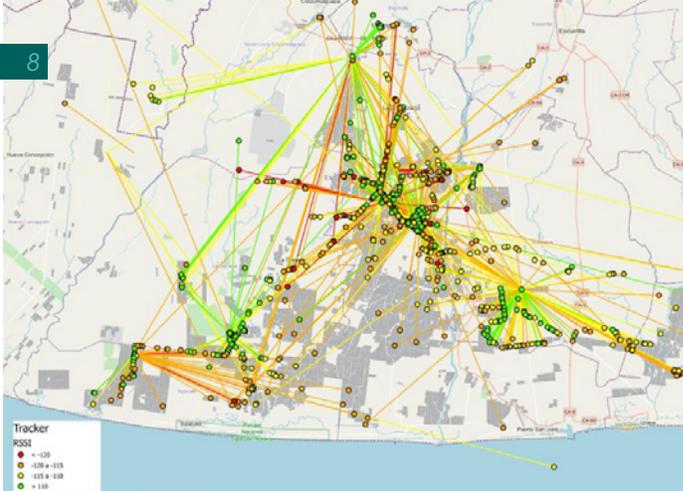
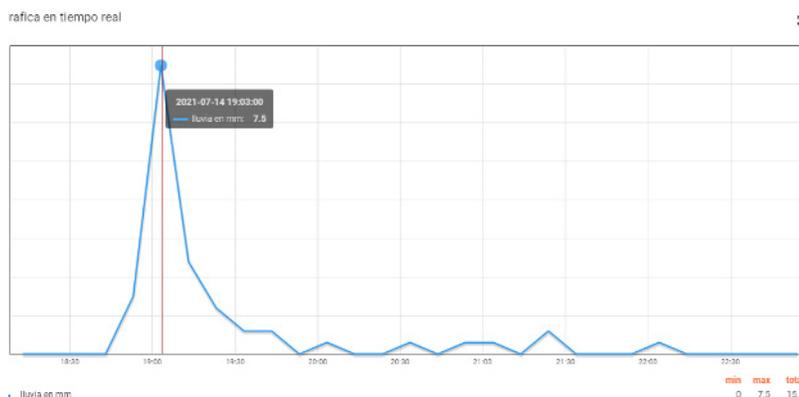


Figura 7: Resultados de cobertura

Figura 8: Lluvia en tiempo real



A pesar de existir una regulación vigente para estas bandas de frecuencia, no todas las personas respetan las pautas.

En ocasiones se presentan redes no registradas y equipos funcionando que no cumplen con los parámetros técnicos presentados en el Cuadro I. Y lo que dificulta algún reclamo ante la SIT es que una red RIABAP no está protegida ante interferencias. En el caso de Magdalena, no ha presentado inconvenientes aún por esta razón, pero es importante que las autoridades actualicen las normas para una utilización correcta del espectro antes que se de esta situación.

BENEFICIOS

En un entorno global el internet de las cosas es un concepto que tiene un crecimiento alto en muchas industrias dado el aprovechamiento de la conectividad de "todo", para accionar tras mediciones actuales, históricas o del futuro.

La actividad de riego es uno de los rubros más importantes en costos para la producción por lo cual buscar soluciones para optimizar el riego es necesario, ya que además de reducir los costos de producción, se da un uso más inteligente de los recursos naturales y se reduce la emisión de contaminantes por parte de motores de combustión utilizados regularmente para el riego de plantaciones.

La medición automatizada de la precipitación, humedad, monitoreo de motobombas, radiación u otro sensor para verificar el estado de la caña permite ajustar modelos analíticos para saber la cantidad de agua necesaria a regar con información real, evitando el error humano en las mediciones manuales, más información del cultivo y capacidad para toma de decisiones oportunas.

Las decisiones en tiempo oportuno son importantes para reducir desperdicios, un caso de éxito dado por la red LoRa en Magdalena son las alertas y reportes por eventos de lluvia diarios vía SMS y correo. El administrador de la finca recibe un reporte diario de lluvia todos los días a las 4AM aunado a poder consultar un tablero en tiempo real de lo que ocurre en la finca. Esto le da tiempo para reprogramar actividades con maquinaria o personal en campo en caso de presentarse lluvias intensas y evitar pérdidas de tiempo por maquinaria atascada o personal parado.

Figura 9: Alerta SMS



En Magdalena se ha promovido la participación de sus colaboradores, estar siempre en la búsqueda de la innovación, aportando al incremento de productividad y mejorando los costos.

Se inició el 2021 habilitando 10 torres, unas en desuso y otras nuevas. Con la finalidad de cubrir la mayor cantidad de área sembrada con caña de azúcar y migrar la lectura de dispositivos análogos a transmisión automática con dispositivos digitales de bajo costo.

La meta al finalizar el 2021, es habilitar 4 torres más que cubrirían desde Chiquimulilla hasta Tiquisate, y una última fase en 2022, llegando de Caballo Blanco a Champerico.

Se tiene proyectado habilitar 175 pluviómetros digitales, para robustecer la captura de eventos de lluvia y se tiene como meta 390 dispositivos de estos para alimentar el balance hídrico desarrollado en Magdalena para la toma de decisiones.

Cabe mencionar que al garantizar una red segura y robusta de LoRaWAN a mediano plazo se estarán incorporando 175 motobombas de riego, con una meta de 425 equipos, 60 gafetes para labores manuales, y ¿Por qué no? monitoreo de maquinaria agrícola, vehículos livianos y pesados. seguiremos incorporando dispositivos que capturen datos de variables climáticas como la radiación solar, velocidad del viento, temperatura entre otros.

CONCLUSIONES

1. El internet de las cosas ha venido a revolucionar todos los campos donde el ser humano participa, desde poder conectar una cafetera en un hogar hasta monitorear frecuencia cardiaca de un atleta. En agricultura los dispositivos IoT juegan un papel crucial, ya que dan el acceso a información pertinente en tiempo real, y a partir de ahí se pueden tomar decisiones que ayuden a evitar desperdicios, ser más eficientes y garantizar las labores conforme tiempo y calidad.
2. En la industria azucarera guatemalteca es una realidad el internet de las cosas. En Magdalena se están desarrollando soluciones basadas en una estrategia que, de manera ágil, permita el acceso a datos e información que permita al productor mejorar su capacidad para manejar sus cultivos. Se inició con pluviómetros digitales que enriquecerán y mejoraran el modelo de balance hídrico y se continuará con nuevos instrumentos para medir el contenido de humedad en el suelo, dispositivos que servirán para monitoreo de labores manuales y seguimiento a activos de la empresa. Todo esto a través de un sistema integrado, seguro y robusto que garantice cobertura las 24 horas del día.
3. Se sabe que el internet de las cosas abre las puertas a un mundo de información y captura de datos, que a su vez debe tener la agilidad para procesar, analizar y mostrar los resultados. Es importante la capacitación y abordar empresas especialistas en analítica e inteligencia artificial. Solo así podremos explotar al máximo esta información, es importante también tener una visión clara de hacia dónde vamos y que dispositivos le agregan valor a la empresa. Hoy estamos en IoT mañana estaremos en loW, internet del mundo, nano robots, migración a multi-nube, minería de datos.

1. **Blockchain:** Tecnología de cadena de bloques con registros únicos descentralizada y distribuida en servidores de todo el mundo.
2. **Downlink:** Mensaje desde internet hacia el dispositivo IoT.
3. **Espectro radioeléctrico:** Distribución energética de ondas utilizables para comunicaciones clasificadas por frecuencia.
4. **Evapotranspiración:** Cantidad de agua del suelo que vuelve a la atmósfera.
5. **Etapa fenológica:** Cambios externos visibles del proceso de desarrollo de una planta.
6. **Interfaz de red:** Parte de hardware y software para conectividad con protocolo TCP/IP
7. **Payload:** Carga útil de datos
8. **Stack de servicios:** Conjunto de paquetes de software utilizados para una aplicación informática.
9. **Telemetría:** Medición remota de variables.
10. **Uplink:** Mensaje desde dispositivos IoT a internet.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CENGICAÑA. (Boletín estadístico Año 21, No.1). (2020). Series Históricas de producción, exportación y consumo de azúcar en Guatemala.
- [2] Semtech Corporation. (Technical Overview). (2020). LoRa and LoRaWAN.
- [3] LoRa Alliance. (Technical Overview). (2015). LoRaWAN What is it?. Technical marketing Workgroup 1.0 LoRa Alliance.
- [4] The Things Network Network Architecture [En línea][julio de 2021]. Disponible en: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/network/architecture/>
- [5] The Things Network. Building a global open LoRaWAN network [En línea][julio de 2021]. Disponible en: <https://www.thethingsnetwork.org/>
- [6] Helium Network. Helium explorer [En línea][julio de 2021]. Disponible en: <https://explorer.helium.com/>
- [7] LoRa Alliance (RP002-1.0.2). (2020). LoRaWAN Regional Parameters.
- [8] Superintendencia de Telecomunicaciones de Guatemala (2019). Parámetros técnicos RIABAP. SIT, Resolución SIT-DSI-349-2019.
- [9] Javier Saiz Miranda. (2019) Estudio en detalle de NB-IoT. Comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico. Univesitat Oberta de Cata-lunya. Telemática.

Manejo foliar para la mitigación de estrés abiótico en la Caña de Azúcar

Por:
Carlos Alexandre Costa Crusciol,
Gabriela Ferraz de Siqueira, Lucas
Moraes Jacomassi, Osvaldo
Araujo Junior, Ariani Garcia

- Déficit hídrico
- Biomasa
- Cierre estomático

Universidad de Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Departamento de Produção Vegetal, Fazenda Experimental Lageado, Botucatu, SP, Brasil. *Adaptado y traducido con permiso de autores por: Dr. José Gerardo Espinoza Véliz, Malezas y Madurantes: Centro de Investigación y Capacitación de caña de azúcar -CENGICAÑA-

La caña de azúcar (*Saccharum spp.*) es una planta que posee metabolismo fotosintético C4, altamente eficiente en la conversión de energía luminosa en química. Su gran potencial de producción de biomasa es alcanzada con temperatura entre 25°C a 35°C y disponibilidad hídrica entre 1200 a 2500 mm (DOORENBOS; KASSAM, 1979; SINGH et al., 2007) durante la fase de crecimiento de los tallos, o sea, en el periodo vegetativo (MANHÃES et al., 2015). La temperatura tiene influencia directa en la eficiencia del uso de radiación solar por la caña de azúcar y, consecuentemente, en la eficiencia fotosintética, pudiendo variar de 2.7 g de carbohidratos MJ⁻¹ de radiación fotosintéticamente activa (PAR) a 10°C y 8.2 g MJ⁻¹ a 20°C (MOORE; BOTHA, 2014).

Sin embargo, el potencial productivo de este cultivo no es solamente expresado por la producción de biomasa, si no también en la concentración de sacarosa en los tallos, pues está relacionada a la calidad de materia prima suministrada a la industria.

Estres abiótico como sequía (*Déficit hídrico*), temperatura extrema, exceso de luz, salinidad y deficiencias de nutrientes minerales, resultan en pérdidas significativas en la producción agrícola global, y afectan drásticamente la tasa de crecimiento, o rendimiento de sacarosa y la producción de biomasa de caña de azúcar (EBRAHIM et al., 1998; LI et al., 2015; LI; YANG, 2015). La fisiología de estres, por definición, maneja las formas como las plantas responden a varias condiciones ambientales que limitan el crecimiento o desarrollo, la reproducción y la productividad de los cultivos. Un estres es definido como un factor ambiental que restringe las funciones y el desarrollo normal, en la medida en que puede hasta matar a la planta (MOORE; BOTHA, 2014).

Diversas regiones del Brasil han presentado frecuentemente eventos climáticos estresantes para este cultivo, como heladas, temperatura abajo de 15°C y arriba de 35°C, bien como estres hídrico. Estos problemas afectan negativamente gran parte de las áreas del cultivo, los cuales limitan la producción

vegetal. Las áreas alcanzadas por esos estreses abióticos aumentaron con la expansión del cultivo para regiones con condiciones climáticas más limitantes al cultivo, caracterizadas por precipitación irregular durante la época lluviosa o seca prolongada entre mayo y octubre. En este período, algunas regiones aún pueden ser alcanzadas por bajas temperaturas y hasta evento de heladas. En este contexto, ocurren problemas del orden cualitativos y cuantitativos y la materia prima pierde características deseables para el mejor rendimiento industrial, como aumento del contenido de azúcares invertidos y gomas, pérdida de peso total como resultado de la reducción de la proporción del jugo además del corcho y brotación lateral (BASTOS et al., 1983).

Cuando las plantas están expuestas a algún estres abiótico, ocurren alteraciones en su metabolismo celular, en la morfofología y fisiología, como mecanismo de defensa para amenizar cualquier daño. En esas situaciones puede ocurrir el cierre estomático, inhibición del crecimiento de las hojas y tallos, senescencia y menor área foliar (MACHADO et al., 2009; INMAN-BAMBER et al., 2012) y producción de ERO's (*Especies Reactivas de Oxígeno*), el cual consiste en la respuesta inicial a los fenómenos de estres biótico y abiótico en las plantas (FOYER; SHIGEOKA, 2011).

12 Como sistema de defensa, las plantas desarrollaron mecanismos complejos que desempeñan un papel vital en la desintoxicación de estrés oxidativo en los compartimientos celulares y minimiza los daños causados a las membranas de las células (ALMESELMANI *et al.* 2006; CUI *et al.* 2006). Dentro de ellos, tenemos las enzimas antioxidantes como catalasa, superóxido dismutasa, ascorbato peroxidasa y la glutatióna reductasa, y moléculas antioxidantes, como ascorbato e glutatióna (TAIZ; ZEIGER, 2017).

El pleno desarrollo y activación de ese sistema de defensa depende casi que intrínsecamente de buenas condiciones nutricionales de la planta. La nutrición mineral tiene un papel importante en la tolerancia a estrés bióticos y abióticos, induciendo a la regulación del potencial osmótico de las células vegetales, proporcionando la síntesis de aminoácidos (aa), suministrando mayor resistencia a la estructura de la pared celular y activando enzimas, entre otros mecanismos.

El suministro de macro y micronutrientes son esenciales para el desarrollo y productividad de las plantas. La demanda de las plantas por elementos minerales es casi en su totalidad suministrada por la aplicación de fertilizantes vía suelo, una vez que, por características morfológicas de las raíces, las plantas absorben nutrientes predominantemente vía raíz, en detrimento a las hojas. Sin embargo, sobre ciertas circunstancias, la fertilización foliar puede ser una alternativa viable (FAGERIA *et al.*, 2009). Además de los nutrientes minerales, actualmente otros compuestos con alta tecnología integrada, como aminoácidos, extractos de plantas y hormonas vegetales, se han mostrado viables. Así, este manejo foliar puede ser una práctica eficaz para mejorar la productividad y aumentar la tolerancia al estrés de los cultivos (GUI *et al.*, 2015; PEREZ-DE-LUQUE, 2017; GUO *et al.*, 2019).

La aplicación de algunos productos a base de aminoácidos puede ejercer la función de protección a las plantas, como por ejemplo de estrés causados por la toxicidad de herbicidas (CASTRO *et al.*, 2006; SERCILOTO; CASTRO, 2005), por patógenos (IGARASHI *et al.*, 2010), por altas temperaturas (CASTRO *et al.*, 2011) y otras situaciones adversas de clima (PICOLLI *et al.*, 2009).

Otros estudios ya demostraron el efecto benéfico del uso de bioestimulantes a base de citocinina, giberelina y auxina en plantas cultivadas con estrés hídrico (ÁVILA *et al.*, 2010) o salino (BARBIERI *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2013). Compuestos bioactivos de algas marinas también inducen a las plantas a la tolerancia a estrés bióticos y abióticos y aumentan la productividad (CARVALHO *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2012).

De esa forma, con la intención de mitigar los efectos del estrés abiótico en la caña de azúcar, principalmente relacionados a la helada y a la seca, una nueva técnica viene siendo utilizada por medio de productos "protectores" nada más son complejos nutricionales, con o sin aminoácidos o extractos vegetales en su composición, aplicados en las hojas de caña de azúcar, aproximadamente 100 días antes de la cosecha, aún cuando la planta presenta turgidez foliar, previamente al apareamiento de síntomas de estrés. El empleo de esta técnica, intenta aumentar la tolerancia a la sequía y/o a la helada, atenuando los daños resultantes de estos estrés y, así, reduciendo la pérdida de productividad del cultivo. Esto ocurre debido al aumento de la actividad de enzimas y compuestos antioxidantes que protegen los pigmentos fotosintéticos y los compartimientos celulares, intentando mantener la actividad fotosintética.

Así, con la utilización de esas tecnologías, como la aplicación de complejos nutricionales para la protección a las bajas temperaturas y a la helada (**Figura 1**), se constató mayor TCH (*toneladas de caña por ha*), tanto utilizando el complejo A (*Contenido: N, K, S, B, Cu, Mn, Mo, Zn, carbono orgánico (cot), aa*), mientras que el complejo B (*Contenido: N, S, B, Co, Fe, Cu, Mn, Mo, Zn, Cot, aa, ácidos carboxílico y extractos de algas*).

Utilizando la misma tecnología para protección a sequía (**Figura 2**), se evidenció también mayor TCH, ATR y, consecuentemente TPH mediante aplicación del complejo C (*Contenido N, P, K, Mg, Cot y B*) y del complejo B (*Contenido: B, N, S, B, Co, Fe, Cu, Mn, Mo, Zn, Cot, aa, ácidos carboxílicos y extracto de algas*), en el orden de 13 y 16 t de caña ha⁻¹, 0.8 y 0.4 kg azúcar t caña⁻¹ y 2 a 2.4 t pol ha⁻¹, respectivamente.

PÁGINA ANTERIOR

PÁGINA SIGUIENTE

Tratamientos: Complejo A= N, K, S, B, Cu, Mn, Mo, Zn, Cot e aa;
Complejo B= N, S, B, Co, Fe, Cu, Mn, Mo, Zn, Cot, aa, ácidos
carboxílicos y extracto de algas.

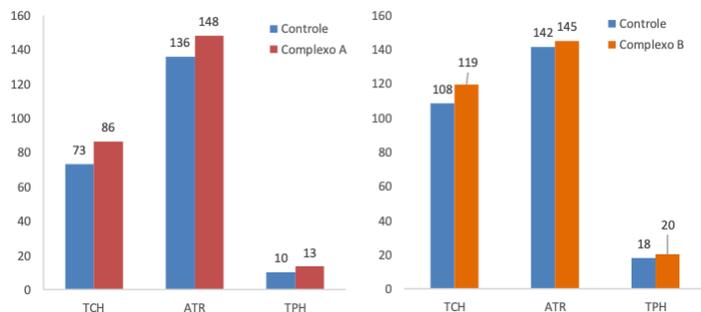


Figura 1: Promedio de los valores obtenidos para tonelada de caña por hectárea (TCH), azúcares totales recuperables (ATR) y toneladas de pol por hectárea (TPH) en función de la fertilización foliar para la protección de helada. Ponta Porã, 2018.

Tratamientos Complejo C= N, P, K, Mg, Cot e B; Complejo B=
N, S, B, Co, Fe, Cu, Mn, Mo, Zn, Cot, aa, ácidos carboxílicos y
extracto de algas.

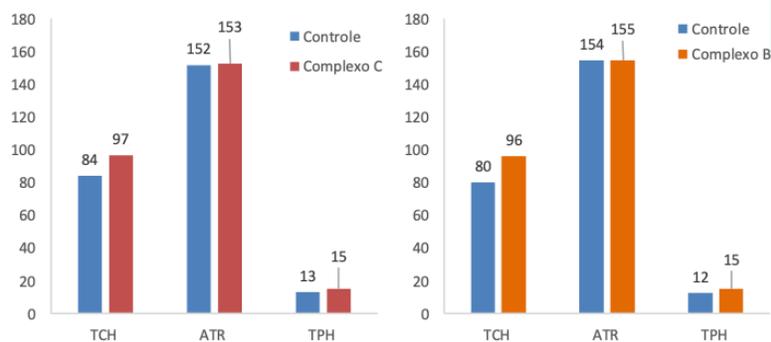


Figura 2: Promedio de los valores obtenidos para tonelada de caña por hectárea (TCH), azúcares totales recuperables (ATR) y toneladas de pol por hectárea (TPH) en función de la fertilización foliar para la protección al déficit hídrico. Pradópolis, 2019.

Estos resultados demuestran que el uso de esta técnica es una alternativa para atenuar estreses causados por baja disponibilidad hídrica y temperaturas. Independientes de la composición de los productos utilizados en este manejo, la tolerancia de las plantas a los estreses abióticos es incrementada, minimizando así, pérdidas de productividad en regiones sujetas a estos eventos climáticos.

Las condiciones del cultivo y la intensidad del estrés influyen el resultado. De ese modo, cañales nutricionalmente bien manejados presentan mejores resultados cuando reciben la aplicación de esa nueva tecnología. Por lo tanto, esa tecnología no proporcionan incremento de productividad, pero si reducen las posibles pérdidas.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁVILA, M. R. et al. Cultivo de feijoeiro no outono/inverno associado à aplicação de bioestimulante e adubo foliar na presença e ausência de irrigação. *Scientia Agraria*, v.11, n.3, p.221-230, 2010.
- ALMESELMANI, M., DESHMUKH, P. S.; SAIRAM, R. K.; KUSHWAHA, S. R.; SINGH, T. P. Protective role of antioxidant enzymes under high temperature stress. *Plant Science*. v.17, n.3, p.382-38, 2006.
- BARBIERI, A. P. P. et al. Tratamento de sementes de milho sobre o desempenho de plântulas em condições de estresse salino. *Revista de Ciências Agrárias*, v.57, n.3, p.305-311, 2014.
- BASTOS, C. et al. Efeito da geada nas características tecnológicas de algumas variedades de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 06, n. 18, p.565-574, jun. 1983.
- CARVALHO, M. E. A.; CASTRO, P. R. C.; NOBREGA, A. D. C.; CHAMMA, H. M. C. P. Seaweed extract improves the vigor and provides the rapid emergence of dry bean seeds. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, v.13, n.8, p.1104-1107, 2013.
- CASTRO, P.R.C.; GONÇALVES, M.R.; CATO, S.C. Efeitos da aplicação foliar de Codamin e de Brassinolide em feijoeiro. *Revista da Agricultura*, Piracicaba, v.81, n.1, p.24-30, 2006.
- CASTRO, P.R.C.; MACEDO, W.R.; LAMBAIS, G.R.; MANSANO, S. R. Ação anti-estresse de Flororgan em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* cv. Carioca). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 13., 2011, Búzios. Resumos... Búzios: UENF, 2011.

- CUI, L.; LI, J.; FAN, Y.; XU, S.; ZHANG, Z. High temperature effects on photosynthesis, PSII functionality and antioxidant activity of two *Festuca arundinacea* cultivars with different heat susceptibility. *Botanical Studies*. v.47, n.1, p.61-69. 2006.
- DOORENBOS J., KASSAM A. H. Yield response to water. *Irrigation and drainage paper*, n.33, p.257, 1979.
- EBRAHIM, M.; ZINGSHEIM, O.; EL-SHOUBAGY, M.; MOORE, P.; KOMOR, E. Growth and Sugar Storage in Sugarcane grown at temperatures below and above optimum. *J Plant Physiol*. v.153, n.5, p.593-602. 1998.
- FAGERIA, N.K; BARBOSA, F.M.P; MOREIRA, A; GUIMARÃES, C.M: Foliar Fertilization of Crop Plants, *Journal of Plant Nutrition*, v.32, n.6, p.1044-1064, 2009.
- FOYER, C. H.; SHIGEOKA, S. Understanding oxidative stress and antioxidant functions to enhance photosynthesis. *Plant physiology*, v.155, n.1, p.93-100, 2011.
- GUI, X., DENG, Y., RUI, Y., GAO, B., LUO, W., CHEN, S., NHAN, L.V., LI, X., LIU, S., HAN, Y., LIU, L., XING, B. Response difference of transgenic and conventional rice (*Oryza sativa*) to nanoparticles (□463 Fe₂O₃). *Environ Sci Pollut Res*. v.22, n.22, p.17716–17723. 2015.
- GUO, K., HU, A., WANG, K., WANG, L., FU, D., HAO, Y., WANG, Y., ALI, A., ADEEL, M., RUI, Y., TAN, W. Effects of spraying nano-materials on the absorption of metal(loid)s in cucumber. *IET Nanobiotechnol*. v.13, n.7, p.712–719, 2019.
- IGARASHI, D.; TAKEDA, T.; NARUSAKA, Y.; TOTSUKA, K. Glutamate fermentation by-product activates plant defense responses and confers resistance against pathogen infection. *Journal of Phytopathology, Berlin*, v.158, p.668-675, 2010.
- INMAN-BAMBER, N., LAKSHMANAN, P., PARK, S. Cana-de-açúcar para ambientes com pouca água: avaliação teórica de características adequadas. *Field Crops Research*, v.134, p.95-104, 2012.
- Li, Y.R., Wu, J.M., Li, X., Zhang, H., Liu, X.H.; Yang, L.T. Damage in sugarcane production caused by long duration of chilling frost in Guangxi, China. *Inter J Agri Innov Res*. v.3, n.4, p.1139-1144, 2015.
- Li, Y.R.; Yang, L.T. Sugarcane industry in China. *Sugar Tech*. v.17, n1, p.1–8, 2015.
- MACHADO, R., RIBEIRO, R., MARCHIORI, P., MACHADO, D., MACHADO, E., LANDELL, M. Biometric and physiological responses to water deficit in sugarcane at different phenological stages. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, 2009.
- MANHÃES, C. M. C., GARCIA, R. F., FRANCELINO, F. M. A., FRANCELINO, H. O., & COELHO, F. C. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. *Vértices*, v.17, n.1, p.163-181, 2015.
- MOORE, P.H.; BOTHA, F.C. Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology. Wiley, New Jersey, 693 p., 2014.
- OLIVEIRA, F. A. et al. Interação entre salinidade e bioestimulante na cultura do feijão caupi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.5, p.465-471, 2013.
- PÉREZ-DE-LUQUE, A. Interaction of nanomaterials with plants: what do we need for real applications in agriculture? *Frontiers in Environmental Science*, v.5, n.12, 2017.
- PICOLLI, E.S.; MARCHIORO, V.S.; BELLAVER, A.; BELLAVER, A. Aplicação de produtos à base de aminoácido na cultura do trigo. *Cultivando o Saber, Cascavel*, v.2, n.4, p.141-148, 2009.
- SERCILOTO, C.M.; CASTRO, P.R.C. Interações entre diferentes substâncias aplicadas às plantas de feijoeiro e o glifosato. *Piracicaba: ESALQ, CODA*, 2005. 40p. Relatório Técnico.
- SILVA, C. P. C. P; GARCIA, K. G. V.; SILVA, R. M.; OLIVEIRA, L. A. A.; TOSTA, M. S. Desenvolvimento inicial de mudas de couve-folha em função do uso de extrato de alga (*Ascophyllum nodosum*). *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.7, n.1, p.7-11, 2012.
- SINGH, P.N.; SHUKLA, S.K.; BHATNAGAR, V.K. Optimizing soil moisture regime to increase water use efficiency of sugarcane (*Saccharum spp. Hybrid complex*) in subtropical India. *Agricultural Water Management*, v.90, p.95-100, 2007.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5.ed.

Efecto de la dextranogénesis en las primeras etapas del proceso azucarero

Por:
Osbel Núñez,
Rony Estuardo Gutiérrez
-OptimISA-



- Dextrano
- Hexosa
- Glucopolisacárido
- Biopelículas Mucilagosas

El dextrano (o dextrana), es indudablemente el metabolito microbiano con mayor impacto negativo en el proceso azucarero; es un polímero de glucosa que se genera cuando la enzima de origen microbiano dextranasa repite, sucesiva y casi indefinidamente, la operación de adherir primero y desarraigar después a la hexosa, desde la molécula de sacarosa que la contiene, quedando finalmente unida a la cadena del glucopolisacárido, cuya molécula puede variar en tamaño y masa molecular de acuerdo a las unidades que la integran (Eggleston y cols, 2008; Amari y cols, 2012; Eggleston, 2012).

En la práctica fabril no se diferencia de otros exopolisacáridos (EPS) de origen microbiano procedentes de la sacarosa que, aunque estarían en menor proporción, acompañan al dextrano como creadores de biopelículas mucilaginosas

adheridas a superficies sólidas minerales o vegetales, y/o se solubilizan en el jugo y el resto de los materiales de la fábrica, ocluyen las caras de los cristales de azúcar en formación, e incrementan la viscosidad de los fluidos dificultando su traslado y el movimiento necesario de las partículas a través de ellos, por lo que perjudican la clarificación, cristalización y calidad del producto final (Hernández, 1986, 1987; Antier, 1996; Leather, 2008).

A pesar de su abundante presencia y daños conocidos, aún es necesario conocer más sobre su dinámica de desarrollo, los daños asociados, los procedimientos para su cuantificación, y características específicas de la microbiota que la genera, entre otros temas; así mismo, algunos criterios aparentemente técnicos, contradictorios con los conocimientos acumulados ya establecidos, limitan las conductas apropiadas para la reducción de su alcance, y es necesario su esclarecimiento.

Al igual que en la práctica industrial, el término dextrano tendrá la misma connotación inclusiva en este trabajo por los alcances y objetivo del mismo: exponer una fracción de la experiencia adquirida sobre la dextranogénesis en los jugos de caña y la potencialización de su formación y daños, a partir de los datos obtenidos durante más de cinco años de ensayos con un sistema de control microbiológico aplicado en ingenios de Centroamérica y México (Núñez, 2011, 2013, 2016; Núñez y cols., 2015)

1. Proporción de microbiota dextranogénica y no dextranogénica.

Se realizaron tres muestreos en los meses de diciembre, marzo y abril, de cada tándem (11 tándems en total) en seis ingenios ubicados en los departamentos de Escuintla y Suchitepequez, Guatemala. Las inoculaciones se realizaron por el método de siembra en superficie en placas Petri, para lo cual cada muestra de jugo fue diluida en agua peptonada al 0.1% (Merck) hasta una dilución de 10⁻⁴. Se inoculó 0.1 cm³ de las diluciones finales 10⁻³, 10⁻⁴ y 10⁻⁵, en Agar de recuento en placa (APC), para la microbiota no dextranogénica, y en un medio agarificado de prueba, concebido como selectivo y diferencial para bacterias dextranogénicas (Escartin, 2017) al que se denominó Agar LBDG. Se realizó las observaciones de placas a las 24 y 48 horas luego de la incubación a temperaturas de 32°C y ambiente respectivamente.

2. Determinación de Puntos Críticos en el tándem.

Es una herramienta del Sistema de Control Microbiológico Integral, el cual se cimienta sobre el monitoreo horario de los jugos primario y mezclado, y por turno de las entradas y salidas de todas las unidades que forman los órganos de la planta de moler. Se aplica el Test de la Resazurina a cada jugo y se determina el Coeficiente Microbiológico (CM) (Núñez y Maldonado, 1987). Se determina el Incremento del CM (IC) por turnos para cada unidad muestreada a la entrada y salida, y se designan como Puntos Críticos aquellos donde el IC es positivo (Núñez, 2011). La frecuencia de puntos crítico es un indicador periódico del nivel de la actividad microbiológica y de la localización e intensidad de los daños que genera.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Proporción de bacterias dextranogénicas y no dextranogénicas. Significado.

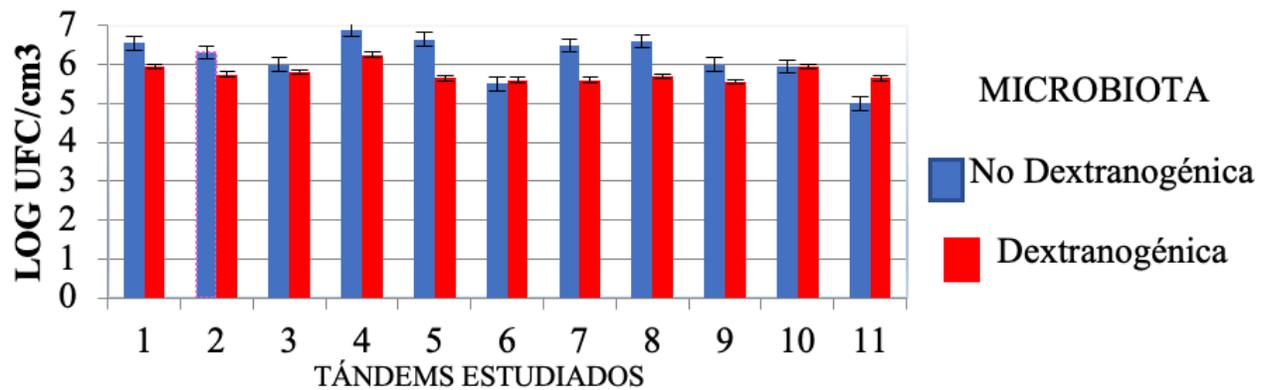
Los recuentos expresados como logaritmos de la densidad de bacterias dextranogénicas y no dextranogénicas (*Figura 1*), indican que los valores originales fluctúan entre magnitudes de 10⁵ a 10⁷ UFC/cm³ con no mucha diferencia entre ambos grupos; y con mayor proporción en la no dextranogénica según lo esperado, debido a la muy superior variedad y abundancia en la naturaleza.

Se conoce que la dextranogénesis resta economía energética a las células reduciendo a la mitad las moléculas de ATP producidas a partir de cada molécula de sacarosa original, por lo que junto al ínfimo grupo de microorganismos que utilizan esa vía, se esperaría que su proporción fuera relativamente mas baja. Sin embargo, como se muestra en la figura, la misma es solo ligeramente inferior, y en

dos de los tándems de los once estudiados, es mayor; además, se confirma por la evidencia de la presencia física de abundantes biopelículas de dextrano adheridas sobre las paredes del área de extracción, en la mayoría de los ingenios. Es por esto, que se reafirma la certidumbre de que la dextranogénesis significa una muy vigorosa ventaja selectiva para los microorganismos que usan la vía por varias razones:

- La adherencia a las paredes le da estabilidad para resistir las fuerzas de arrastre de los jugos o el agua a presión de las limpiezas.
- La masa de EPS es una protección contra agentes físicos, químicos o biológicos que se usen con el objetivo de eliminarlos, o que presentes en los jugos le sean perjudiciales

Figura 1: Recuento de microbiota dextranogénica y no dextranogénica.



- La biopelícula formada es una especie de santuario donde no solo viven los miembros de la especie dextranogénica que la originó, sino que da cabida a una muy variada comunidad donde las interacciones potencializan las capacidades de desarrollo de sus miembros
- -la red de EPS con los especímenes de variadas especies empotradas actúa como un biorreactor de células fijadas, con acceso siempre a sustrato fresco y vías de eliminación de los desechos tóxicos, mientras se garantiza la permanencia del organismo en la estructura matricial.

Numerosos autores asignan este rol a la generación de EPS microbianos en diferentes ambientes y escenarios (Allinson y Sutherland, 1987; Alison y cols., 1992; Ichimaya y cols, 1994; Sutherland 2001; Mab y cols, 2003; García, 2008). Por todo lo anterior, el dextrano debe considerarse no solo como un fruto o indicador de la actividad microbiológica, sino también como un potencializador de dicha actividad (Núñez y cols, 2014), lo que implica el deber de ser más agresivos para identificar sus áreas de ubicación, determinar las causas de su implantación, establecer procedimientos para su eliminación, y con ello, reducir al mínimo la dextranogénesis en la fábrica.

Un resultado interesante es que los tandems con menor densidad microbiológica en

general, pero particularmente de la no dextranogénica, el 6 y el 11, coinciden en ser los únicos donde la carga de dextranogénicos es mayor, mientras que en los tandems restantes sucede lo contrario, sugiriendo la presencia de antagonismos, citados por varios autores, cuya dinámica debe estudiarse en trabajos específicos para el tema (Björkroth y cols., 2006; Amari y cols., 2012).

Efecto de la dextranogénesis continua y la acumulación de dextrano en la proporción de puntos críticos en el tandem.

Como se sabe, hace más de un siglo, la paralización de las fábricas australianas por la viscosidad debida a la intensa concentración de dextrano, después del descanso de fin de semana con todos los productos en proceso como se practicaba por entonces, motivó la atención sobre la actividad microbiológica en la industria azucarera. En nuestros días es familiar encontrar formaciones de biopelículas en diferentes locaciones fabriles. Sin embargo, la creencia generalizada es que el daño microbiológico en el área de extracción se produce, más que todo, por el crecimiento y desarrollo bacteriano en los jugos, mientras recorren la distancia entre cada molino y los tratamientos pre-clarificación.

El estudio, comparando el Coeficiente Microbiológico de los jugos cuando atraviesan

una gruesa capa de dextrano, comparado con el recorrido libre por ductos o recipientes, motivó a conceptualizar el papel protagónico del polisacárido en el incremento de la actividad microbiológica en el área.

En uno de los ingenios donde aún no se había introducido el colador rotatorio, se evaluó el crecimiento de la actividad microbiológica desde el jugo primario al mixto, con los resultados como se presentan en la figura no. 2.

Los dispositivos representados son los tanques de jugo mezclado con el colador y el rastrillo del bagacillo por encima, en los dos tándems del ingenio, mientras las fotos muestran la masa de dextrano adherida a la parte inferior del colador. Las flechas indican el recorrido del jugo desde el primer molino hasta su salida como jugo mixto hacia los procesos de calentamiento y tratamientos pre-clarificación, y las resaltadas en rojo el resultado del paso a través del colador. Se observa el brusco incremento de CM que se produce instantáneamente en este paso, muy superior al incremento sobrevenido al que arriba al colador desde los molinos 1 y 2.

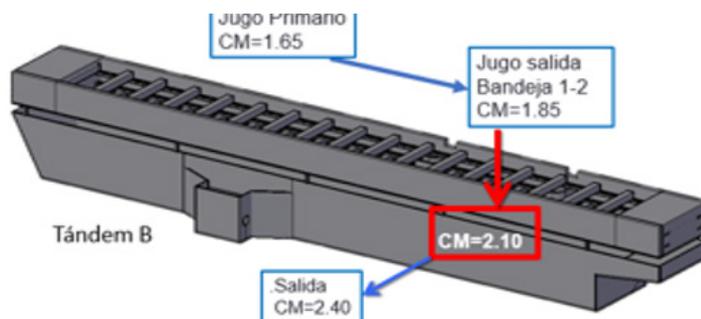
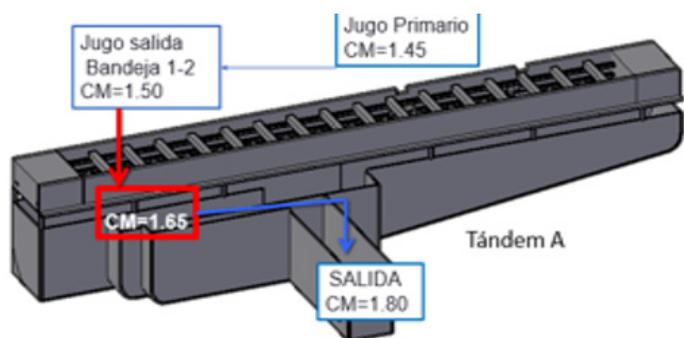


Figura No. 2: Crecimiento del CM al paso por coladores en dos tándems, Ingenio I

Definitivamente se puede afirmar, que el crecimiento microbiológico determinante no es durante el recorrido de los jugos de no más de 10 minutos hasta llegar a los tratamientos, sino su desarrollo cuando hay tiempo para hacerlo; es decir, en jugo retenido o en matrices sólidas como es el bagazo acumulado, pero fundamentalmente, en las biopelículas de exopolisacáridos como el dextrano.

La capacitación y concientización sobre el problema y la introducción de los coladores rotatorios de jugo han determinado la reducción de acumulados ostensibles de dextranos en partes y equipos, como los mostrados en la figura no. 2, pero se mantienen en locaciones de difícil visibilidad y acceso para el rastreo, identificación y eliminación. La determinación de Puntos Críticos y el análisis de su proporción periódicamente se ha implementado como una herramienta que incide en el diagnóstico y reducción del problema.

En el cuadro 1 se presenta una muestra variada y representativa con resultados de la frecuencia de Puntos Críticos en una década de aplicación del sistema de control microbiológico en más de diez ingenios de Centroamérica y México. Los puntos con mayor proporción en cada ingenio se han resaltado con una escala de colores, de púrpura al naranja, para realzar las diferencias en intensidad.

Cuadro No. 1:
Frecuencias de Puntos Críticos
en varios ingenios y períodos
representativos en última década

ÓRGANO	PROPORCIÓN DE CRÍTICOS (%)					Causa verificada o más probable	
	I (Z 12-13) Promedio		II Prom Z 14-15	III Prom Diagnóstico (X 14-15)	IV Prom 4 zafas (15 al 19)		V Prom 5 zafas (15 al 20)
	Tánd A	Tánd B					
Molino 1	19	18	32	21	17	40	B+D
Reboso 1	21	24					J+B+D
Bandeja 1						31	B
Molino 2	24	27	47	25	16	30	B+D
Canal 2						31	B
Reboso 2	18	13	61		18		J+B+D
Bandeja 2				20			B
Band 1-2	37	41	41		25		B
Colador Horizontal	36	50					D
Tque. Crudo			49	24	23	34	D
Colador Rotario			64	28	33	31	B+D
Colador DSM			79				D
Tque. Mezcado (colado)	15	12	73		17		D
Desarenador			40				
Tque. Desarenado			59				D
Tque. Pulmón				100		85	D
Molino 3	13	16	33	19	15	28	B
Reboso 3	4	9			16		J+B+D
Bandeja 3	17	17	50	21	15	25	B
Tque Maceración 3			46		14	23	

J, B y D: Causas de incremento de actividad microbiológica.

J: Jugo retenido.

B: Bagacillo o bagazo acumulado.

D: Biopelículas de Dextrano adheridas a paredes o inbricada en bagazoy/o sedimentos.

Como se ha manifestado, el incremento de la actividad microbiana es particularmente acelerado cuando además de los factores ambientales y nutricionales favorables, los organismos tienen tiempo para hacerlo, que ocurre por retenciones de jugo, acumulación de bagazo o bagacillo y fijación de células en biopelículas de dextrano (Núñez, 2016); mientras las dos primeras causas: la referente a jugo y bagazo, frecuentemente son identificadas por simple observación, y se eliminan con relativa facilidad, las biopelículas de EPS, excepto en situaciones obvias como la de la figura 2, no se visualizan cómodamente, y solo se detectan analíticamente comparando los jugos a la entrada y salida de cada órgano, seguido por localización posterior mediante inspecciones visuales profundas, en las que constituyen la causa más frecuente y repetida, sobre todo en los casos más graves, que son los coladores y los tanques.

Los tanques de jugo diluido merecen una atención especial porque son los puntos con la frecuencia más alta como puntos críticos; en ellos se ha reiterado la presencia de gruesas capas de polisacárido adheridas a la superficie de sus paredes interiores y que se hace más duradera en la zona inferior del tanque. Las causas que se han detectado de esta situación son las siguientes:

- La permanencia ininterrumpida de jugo en contacto con las paredes y la presión de arrastre insuficiente en los bordes del tanque por el tipo de flujo no laminar ofrece la oportunidad para el establecimiento de la biopelícula y el acceso permanente a sustrato fresco y eliminación de residuos tóxicos metabólicos.

- La falta de percepción por parte de los responsables de la operación del tándem, al no considerar el área de alto, y tal vez la de mayor riesgo microbiológico, implica que no se programen en la ruta habitual de limpieza, ni aún en los paros programados, cuando la mayoría de las veces, ni siquiera se liquidan.
- La dificultad para eliminar el problema, porque en las limpiezas rutinarias, con el tanque frecuentemente lleno a más de la mitad de su capacidad es imposible alcanzar las zonas inferiores más críticas. Se necesita un programa que incluya, el vaciado del tanque y la suficiente potencia del agente lavador para remover biopelículas, que precisamente basan su persistencia en la resistencia a los agentes físicos removedores.

- La inoperancia de los desinfectantes que no tienen el tiempo para actuar consecuentemente contra organismos que, además se han creado una estructura protectora contra los agentes químicos externos.

Debido a lo descrito, la incidencia de formaciones de dextranos se incrementa a medida que el tanque es mayor y/o el flujo del jugo es más lento, lo que se evidencia en los datos de la tabla con los llamados tanques pulmón, en ingenios III y V, como los de mayor frecuencia como críticos. Evidentemente la dextranogénesis es una potenciadora de la actividad microbiológica y su mayor impacto se produce en los coladores y tanques; en estos últimos a mayor volumen y menor velocidad del caudal, con mayor probabilidad de extensión y espesor de las biopelículas, verdaderos biorreactores virtuales de células fijadas, donde se incrementa la pérdida de sacarosa y los otros daños colaterales de la actividad microbiológica; por tanto, se impone implementar soluciones de diseño y operativas para este problema.

Valoración sobre la reducción de la dextranogénesis

Como se ha discutido en este trabajo, a pesar de que el rol de la dextranogénesis parece conocido, es necesario la concientización de la localización y magnitud de sus daños, así como la necesidad de tomar las medidas suficientes para reducirla al mínimo. Al mismo tiempo se debe advertir que ninguna estrategia será efectiva al 100%, porque las biopelículas como sistemas químico-biológicos cambiantes generan escenarios específicos, por lo que siempre habrá que estudiar la solución del problema con una estrategia o con la combinación de varias (Meyer, 2003).

CONCLUSIONES

1. La proporción de bacterias dextranogénicas muy cercana a las no dextranogénicas encontradas, asociado a la abundancia del metabolito dextrano y el relativo reducido número de especies designadas como dextranogénicas, además con una desventajosa economía energética, confirman la concepción de la dextranogénesis como una muy favorable ventaja selectiva respecto al resto de la abundante y diversa microbiota presente en los jugos de caña.
2. El mayor significado proveniente del papel de la dextranogénesis es que su fruto, el dextrano, más que un indicador del biodeterioro de la sacarosa, es un fuerte promotor de nueva e intensa actividad microbiológica.
3. Los resultados de incremento de actividad microbiológica en jugos, cuando atraviesan o circulan por un dispositivo, indican con bastante certeza, la existencia de biopelículas adheridas que actúan como virtuales biorreactores de células fijadas donde hay una intensa metabolización de sacarosa.
4. La dextranogénesis se desarrolla en toda la masa del jugo, pero su potencialización a través de las biopelículas adheridas en las superficies es mayor en coladores, y sobre todo en tanques, donde la velocidad en los bordes se reduce con el mayor diámetro del área circular del mismo, y se optimiza en los llamados tanques pulmón.
5. Es posible reducir la dextranogénesis y sus efectos con algunas medidas operativas y procedimientos adecuados.
6. Se impone una revalorización en las concepciones para valorar en su justo significado la dextranogénesis y una reingeniería en los procedimientos para reducir eficazmente sus efectos.

- Allinson, D., Mattheus M., The role of exopolysaccharides in adhesion of freshwater bacteria. *J. Fen.Microbiol.* 133:1319-2, 1987.
- Allinson, D., Mattheus, M., Effect of exopolysaccharides interactions on antibiotic susceptibility of *Pseudomonas aeruginosa*. *J. Applied Bacteriol.* 73: 484-8, 1992.
- Amari et. al. Characterization of a novel dextransucrase from *Weissella confuse* isolated from sourdough. *Appl Microbiol Biotechnology* 4447-4478. 2012.
- Antier, P. Microbiological control in a cane sugar mill: implications on sugar quality and losses. *Proc s afrsug technol ass* 70: 185-187. 1996.
- Björkroth, J., y W. Holzapfel. Genera *Leuconostoc*, *Oenococcus* and *Weissella*, p.267 -319. In M. Dworkin (ed.), *The prokaryotes: a handbook on the biology of bacteria: Firmicutes, Cyanobacteria*, Vol 4. 3era Edición, Springer. 2006.
- Eggleston, Deterioration of cane juice-sources and indicators. *Food Chemistry* 78:95-103. 2012.
- Escartin, A. Producción de un exopolisacárido por la cepa *Leuconostoc mesenteroides ssp mesenteroides* BL-UV04 en medio un medio de cultivo enriquecido con piloncillo mediante un sistema de lote alimentado. Tesis de maestría. Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana, Veracruz, 2017.
- García, B., Saldaña A., Basterrechea, M. Glucanos extracelulares bacterianos: estructura biosíntesis y función. *Rev. cubana de Estomatología*, vol. 45, jul-dic. 2008.
- Hernández, MT. Microbiología de la producción azucarera. *Producciones microbianas derivadas*, Universidad Central de Las Villas, Cuba, 385 p. 1986.
- Hernández MT. y Sainz T. Microbiología de la industria azucarera. Ed. Universidad Central de las Villas. Cuba. 270 p.1987.
- Ichimaya, T., Yamasaki, T., Nasu, M., In-vitro effects of antimicrobial agents on *Pseudomonas aeruginosa* biofilm formation. *J. Antimicrob. Chemother.* 34:331-341, 1994.
- Leather, T.D y Côte, G.I., Biofilm formation by exopolysaccharide mutants of *Leuconostoc mesenteroides* strain nrrl b1335. *Appl microbiol biotechnol* 78:1025-1031. 2008.
- Mab, T., Pitts, B., Pelloc B., Walber, G., Stewarts, P., Ottoole, G., A genetic basis for *Pseudomonas aeruginosa* biofilm antibiotic resistance. *Nature*, 426:306-310. 2003.
- Núñez, O. Control Microbiológico en caña y tándem. Resultados preliminares. *Memorias XII Congreso ATAGUA*, Guatemala. 2011.
- Núñez, O. Control Microbiológico en caña y Tándem en ingenios de Guatemala. *Sistema Integral. Memorias XXXV Convención ATAM*, Puebla de los Ángeles, México. 2013.
- Núñez, O; Reducción de la actividad microbiológica para diferentes escenarios operativos y estructurales, *Memorias X, Congreso ATALAC*, Veracruz, México. 2016.
- Núñez, O.; Fabian, C.; Espinosa R.; Correspondencia entre microbiota mesófila aerobia y lactobacilos dextranogénicos en jugos mezclados de ingenios de Guatemala, *Memorias IX Congreso ATALAC*, San José, Costa Rica. 2014.
- Núñez O.; Maldonado, MI.; Método de la Resazurina. Aplicación en la industria azucarera. CAI Camilo Cienfuegos. La Habana, Cuba. [web en línea] en: <http://www.uh.cu/infogral/areasuh/vri/archivos/CAR/seminario2004/PDF/CALIDAD/MACU.Crudo/Mac4-80.pdf>. 1987.
- Núñez, O.; Mejillas, E.; Franco, L.; Reducción de la actividad de los microorganismos en el tándem utilizando su dinámica de desarrollo; *Memorias XXXVII Convención ATAM*, Veracruz, México. 2015.
- Sutherland, I. Microbial polysaccharide from Gram-negative bacteria. *Int. Dairy. J.* 11. 663-674. 2001.

Gira de Campo Virtual

ATAGUA celebró en el mes de mayo su primera gira de campo completamente bajo la modalidad virtual, esto como parte de los esfuerzos de mantener la capacitación constante con sus asociados y los vínculos de patrocinio con las casas proveedoras de agro insumos.

En esta oportunidad contamos con la participación de 252 personas de los siguientes países: *Guatemala, Nicaragua, México, El Salvador, Honduras, Costa Rica, Panamá, Perú, Estados Unidos, Ecuador, Republica Dominicana y Colombia.*

La gira virtual dio énfasis a la importancia de la aplicación de herbicidas y el uso de tecnología para su aplicación, así como la divulgación de las experiencias en control eficiente de malezas en Ingenio La Unión. Dichas experiencias fueron compartidas por el Ing. Mario Rodas y el Ing. Guillermo Gonzalez quienes abordaron temas importantes como el momento óptimo de aplicación de los herbicidas pre y post emergentes, la elaboración de mezclas de productos, calibración y configuración de equipos de aplicación Uniport3030, la extracción de datos y generación de mapas de aplicación para el seguimiento y monitoreo de las aplicaciones, así como los costos operativos y los beneficios que se han generado por la implementación de las aplicaciones con estos equipos de última tecnología.

Esta actividad estuvo acompañada por un recorrido virtual a las parcelas demostrativas establecidas por las casas patrocinadoras del evento en fincas de Ingenio La Unión bajo los segmentos de pre y post emergencia de las malezas. Las parcelas pre emergentes se establecieron en la finca Virginia bajo condiciones de aplicación en seco en cañales con 2 días de corte con predominancia de malezas gramíneas, donde pudieron apreciarse los efectos de los productos de las casas Bayer, Foragro, UPL, Rainbow, Duwest, Disagro, Basf, Syngenta y Agrocentro.



Las parcelas de post emergente se establecieron en la finca Buenos Aires y las aplicaciones se realizaron en cañales de 35 días de corte con alta presencia de malezas gramíneas y hojas anchas donde se evaluaron los resultados de productos UPL, Rainbow, Disagro, Basf y Syngenta. Finalmente, el evento concluyó con un segmento de preguntas y respuestas donde los técnicos de Ingenio la Unión abordaron las principales consultas de los participantes.

Gracias al patrocinio de:



Eficacia

sin comparación



Alto Rendimiento
40 - 60 - 90

▼▼▼ *Más días control*

CONTROL TOTAL DE
GRAMÍNEAS Y HOJAS ANCHAS

▼▼▼ *Hasta 120 días control.*

Tecnología para el control de malezas
de comprobada eficacia.