

Geotecnologías para la caracterización de la caña de azúcar en el área de abastecimiento del Ingenio Tala, Jalisco

Luis Alberto Olvera-Vargas¹, Noé Aguilar-Rivera² y Yair Romero-Romero^{1*}

¹Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) comisionado al Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ). Av. Normalistas 800 Colinas de La Normal, Guadalajara, Jalisco, México. C.P. 44270.

²Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Km. 1 Carretera Peñuela Amatlán de los Reyes S/N., Córdoba, Veracruz, México. C.P. 94945

*Autor de correspondencia: yromero@ciatej.mx

Palabras clave:

agroquímicos,
espectroradiometría, firmas
espectrales, VANTs.

Enfoques Transdisciplinarios:
Ciencia y Sociedad, 3(1), 221-234.
ISSN: 3061-709X. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14720511>

Recibido: 20 de septiembre 2024
Revisado: 04 de diciembre 2024
Aceptado: 11 de diciembre 2024
Publicado: 21 de enero 2025



Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Resumen

La agricultura es la actividad económica más relevante para el ser humano y se han creado avances tecnológicos sustentables y menos costosos con el afán de asegurar y mejorar esta práctica. En este sentido, en este manuscrito se describen los procesos realizados para la caracterización territorial de la caña de azúcar, específicamente en las actividades que se relacionan en el uso y manejo de productos agrícolas, así como las acciones agroecológicas que se llevan a cabo en el área de abastecimiento del Ingenio Tala, Jalisco, a través del uso de tecnologías geográficas, como la espectroradiometría de campo y la fotogrametría (combinación de vehículos aéreos no tripulados [VANTs] y sensores multiespectrales). Estas tecnologías son usadas en México en los procesos de agricultura de precisión, debido a que son eficaces, no invasivas, no destructivas y accesible de forma operativa.

Introducción

La caña, como materia prima, se cultiva en 107 países y la producción anual mundial supera los 2 000 millones de toneladas obtenidas de más de 27 millones de hectáreas (FAOSTAT, 2022). La agroindustria azucarera es de gran importancia para los países que la producen y aún más para quien la consumen, debido a que es un producto básico en la alimentación humana. Contribuye en la generación de empleos directos e indirectos, especialmente en comunidades rurales, contribuye en las economías de los países



productores por la producción y exportación, así como el impulso en la competencia comercial entre países exportadores e importadores (Aguilar et al., 2016).

En México, el cultivo de la caña de azúcar también es considerada una actividad empresarial, actualmente ocupa el sexto lugar en producción mundial, con más de 55 millones de toneladas al año. En 2023, la producción de caña de azúcar se realizó en 265 municipios de 16 estados (Figura 1) y la vendieron a 49 ingenios azucareros, destilerías autónoma y trapiches piloncilleros del país (SIAP, 2023).

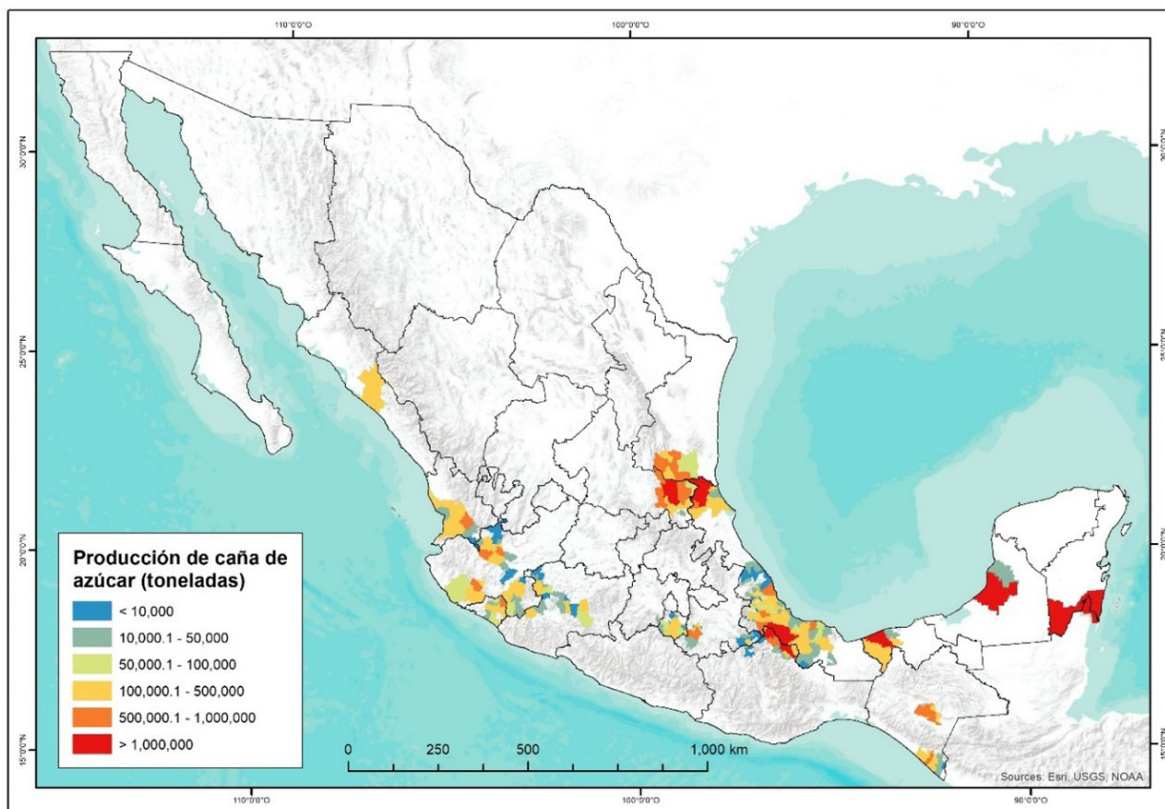


Figura 1. Municipios productores de caña de azúcar
Fuente: SIAP, 2023

La caña de azúcar se cultiva en 854 301 hectáreas, 43.9% corresponden a riego y 56.1 % son de temporal. Las principales entidades federativas que producen caña de azúcar son Veracruz (38.1%), Jalisco (12.9%), San Luis Potosí (9.3%), Oaxaca (5.9%), Chiapas (5.2%), Tamaulipas (4.1%), Tabasco (3.7%) y Morelos (3.4%); el 17.4% restante se distribuye entre los otros estados productores. Para la zafra 2022-2023 se obtuvo 52 000 millones de pesos por la producción, con rendimientos promedio de 69.8 t/ha (SIAP, 2023). La importancia de la caña de azúcar en México radica en que 400 000 familias dependen de su producción directamente y cerca de 2.5 millones de personas dependen indirectamente, entre los que sobresalen más de 170 000 trabajadores de campo y cortadores de caña, 23 000 obreros sindicalizados,



16 000 personas en labores administrativas y 30 000 transportistas, entre otros. Se calcula que la agroindustria azucarera participa con el 0.5% del Producto Interno Bruto de México (SIAP, 2023; Aguilar, 2012).

El campo mexicano requiere tecnificación, que incorpore métodos sustentables y rápidos, además de que considere a productores y actores clave, con una participación social activa, específicamente en lo relación a temas como los problemas fitosanitarios y su posible control, tipo de manejo agronómico, así como insumos utilizados para mejorar rendimientos productivos (Aguilar et al., 2016). Es por esto, que en los últimos años se han utilizado un conjunto de técnicas, herramientas y procedimientos en el ámbito geográfico y de información territorial para el manejo productivo de cultivos relevantes, que involucre procesos más sustentables y de bajo costo (Awad, 2018). Las tecnologías geoespaciales o geotecnologías en los estudios de agricultura de precisión han permitido ampliar el monitoreo agrícola, apoyan la planificación territorial rural de una manera sostenible, no está limitada a cultivos o regiones agrícolas y la información generada es dinámica y multitemporal, que permite mapear procesos de expansión, retracción, conversión y diversificación agrícola (Bolfe, 2019). Mustashkina et al. (2021) mencionan que las tecnologías geográficas no solo ayudan al seguimiento agrícola, sino que han escalado a procesos de gestión territorial, tanto para programar las épocas y etapas de cosecha, como para el uso de recursos y personas que están involucrados en estas actividades. Las geotecnologías incluyen el uso de sistema de geoposicionamiento global (GPS), los sistemas de información geográfica (SIG), fotogrametría y la teledetección que, al ser usados en la gestión agrícola, evolucionan a procesos de agricultura de precisión (Filippini et al., 2017; Reddy, 2018).

Otras herramientas geotecnológicas han sido los sensores de campo, que son equipos o aparatos portátiles que ayudan a obtener información espectral a nivel parcela, que muestran la radiación en bandas espectrales superpuestas, que cubren regiones del visible e infrarrojo cercano (NIR) y proporcionan detalladamente el estado fisiológico y bioquímico de la vegetación, además de que pueden combinarse con bandas espectrales de otros sensores remotos (Pacheco y Martín, 2015). Uno de estos sensores de campo, son los espectralradiómetros de campo, que muestran la respuesta espectral específica a través de la absorción de sus bandas y sirve para diferenciar unos objetos de otros, ya que cada superficie refleja la cantidad de energía según sea utilizada (Ni et al., 2018). Para estudios de vegetación y, más específicamente para caña de azúcar, Rao et al., (2007) utilizaron espectralradiómetros para crear bibliotecas espectrales que caracterizaban las etapas fenológicas de la caña de azúcar y las diferenciaban de otros cultivos, además de escalar la información espectral a imágenes de satélite y de esa forma, territorializar la distribución de los cultivos.



Las geotecnologías ofrece ventajas para abordar y entender los nuevos desafíos que ocurren en el territorio, con un análisis integral considerando interacciones sociales dinámicas en varias escalas temporales y espaciales. En México, aún falta incluir estudios con perspectiva geotecnológica, sobre todo en lo relacionado a gestión territorial agrícola, en donde se identifique espacialmente el manejo agrícola (sea químico o agroecológico) que ayude a crear programas de planeación sustentable, así como gestionar el uso de productos agrícolas, en beneficio de los productores, sus familias y el medio ambiente.

Zona de estudio

El área de estudios correspondió al área de abastecimiento del Ingenio Tala, entre las coordenadas extremas $20^{\circ}30'15''$ N, $103^{\circ}31'35''$ W y $20^{\circ}55'35''$ N, $104^{\circ}12'33''$ W, ubicado en el municipio del mismo nombre y que se encuentra a 30 km al occidente de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Este ingenio pertenece al Grupo Azucarero México, S. A de C. V. con capacidad de procesar 16 000 toneladas de caña por día y producir 1 600 toneladas de azúcar cada 24 horas. El número de agricultores registrados que abastecen al ingenio son 7 517 (4 914 ejidatarios y 2 603 pequeños propietarios) de 138 ejidos productores y 1 196 cortadores de caña que participaron en la zafra 2022-2023 (MAM, 2024). El total de superficie de zafra se obtuvo de 25 525.21 hectáreas del área de abastecimiento, con 68.4% (17,461.9 ha) de riesgo y 31.6% (8,063.2 ha) de temporal (Figura 2).

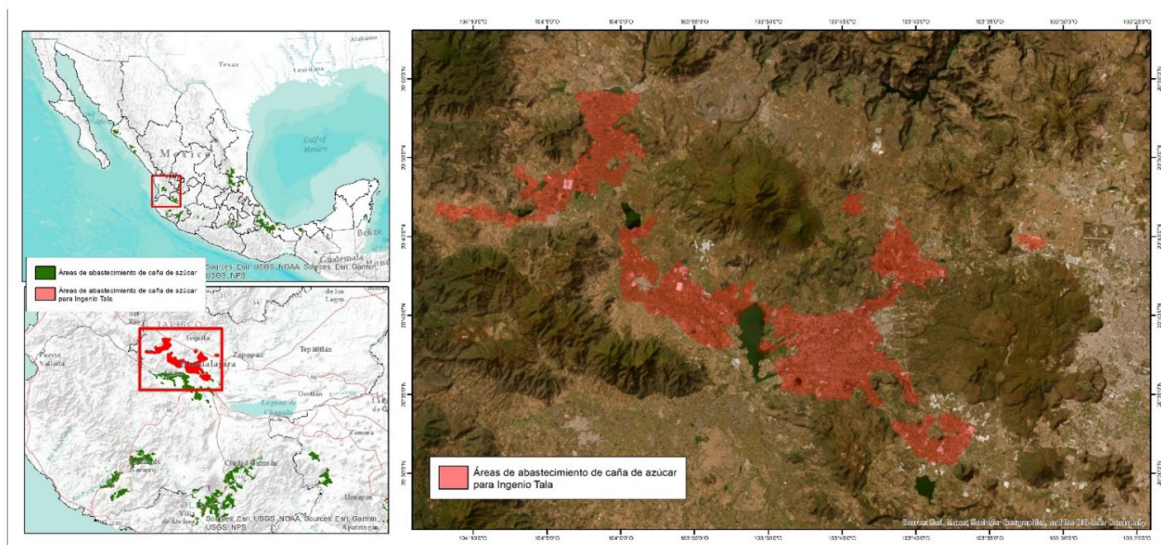


Figura 2. Áreas de abastecimiento de caña de azúcar para el Ingenio Tala
Fuente: MAM, 2024

En la zona de abastecimiento se prepara la tierra a través del chapón, junta y quema, subsuelo, barbecho, rastra, nivelación, trazo de surco y surcado. Las plagas



reportadas son barrenador del tallo y Tuza. Las condiciones ambientales que presenta son altitud 1 300 m.s.n.m. clima semi-cálido y semi-seco, precipitación pluvial cercana a 900 mm al año, con temperatura media anual de 20.5 a 22 °C, temperatura máxima media de 30 °C y temperatura mínima media de 10.8 °C. Se registran predominantemente nueve variedades de caña (Tabla 1).

Tabla 1. Variedades de caña de azúcar registradas para el abastecimiento del ingenio Tala, Jalisco

Variedad de caña de azúcar	Superficie (ha)	Porcentaje
CP 72-2086	7,242	28.4
Mex 57-473	4,973	19.5
Mex 69-749	3,597	14.1
Mex 69-290	2,439	9.6
Mex 79-431	1,828	7.2
RD 7511	1,085	4.3
COLMEX 95-27	876	3.4
ITV 92-1424	814	3.2
LCP 85-384	553	2.2
Otras	2,109	8.3

Fuente: MAM, 2024

Materiales y Métodos

Se realizó un taller participativo el 28 de septiembre de 2024 en la Casa de la Comunidad Agraria, ubicado en la cabecera municipal de Tala, en donde se reunió a 17 productores de caña de azúcar de la zona (Figura 3). En dicho taller se realizó una presentación sobre los objetivos y alcances del proyecto, haciendo una invitación a los productores a permitir monitorear su parcela durante la duración del proyecto. También, con la técnica de árbol de problemas, se identificó los principales problemas que los productores para producir y vender su caña de azúcar. Paralelamente se entabló comunicación con personal de ingenio Tala, perteneciente al Grupo Azucarero México, S. A. de C. V., a través de la Unión Local de Productores de Caña de Azúcar A.C. (ULPCA) y la Unión Nacional de Cañeros (UNC-CNPR) y se tuvo asistencia con personal del programa Producción para el Bienestar de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). También se visitó el 27 de octubre de 2024 la biofábrica ECA de Ahuisculco, Tala, además de realizarse reuniones personales con algunos técnicos de campo y productores de la zona. En total, para toda el área de abastecimiento del Ingenio Tala, se monitoreo 10 parcelas con diferentes extensiones.

En cada una de las parcelas se realizaron mediciones con un espectroradiómetro CROPSCAN MR modelo MSR5 multiespectral que abarca una longitud de onda que va de 450 a 950 nanómetros (nm) y una resolución de cinco bandas. Las me-



diciones se hicieron al azar dentro de la parcela, con ayuda de un tubo extensivo, se colocaba el sensor CROPSCAN en la parte superior y a una altura no mayor a 1 metros en el cenit de las plantas (Figura 3). Por parcela se tomaron 10 puntos, con tres repeticiones cada uno, esto con el fin de tener el promedio de cada punto medido (CROPSCAN, 1994). Las mediciones se hicieron entre 10:00 a.m. y 4:00 p.m. para captar la incidencia del sol en un ángulo de 45 a 135° y sin nubosidad. Se registraron las condiciones ambientales y edafocológicas de los sitios muestreados, con el fin de asociar y/o ayudar a explicar las respuestas espectrales de cada sitio. Los registros consistieron en la observación directa en campo.

Paralelamente, se realizó un levantamiento aerofotogramétrico con un Vehículo Aéreo No tripulado (Dron) DJI Mavic 2 Zoom al cual se le montó un sensor infrarrojo de la marca MAPIR Survey 3W RGN, que captura las bandas Roja (RED – 660 nm), Verde (Green -550 nm) e infrarroja (NIR – 850 nm). Los vuelos se realizaron a una altura de 70 metros sobre el nivel de suelo, a una velocidad de 8 metros/segundo para tener sobreposición en imágenes del 60 % en la horizontal y 40 % en la vertical (Figura 3). Las imágenes capturadas se descargaron en un servidor, se organizaron y eliminaron fotos con errores de captura, para posteriormente procesarlas en el software AgisSoft metashape. En dicho programa se cargaron las fotos para la realización de nubes de puntos, pasando por una malla y finalizar en la generación de un ortomosaico rectificado con los valores de geoposicionamiento (GPS) de cada imagen (el sensor MAPIR tiene adaptado un GPS). Cada ortomosaicos (correspondiente a cada parcela), al estar compuesto por bandas con longitud de onda en infrarrojo (NIR), rojo (RED) y verde (GREEN), se procedió a realizar un Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) el cual consistió en la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$



Figura 3. Actividades realizadas en el área de estudio



Resultados y Discusión

En el estado de Jalisco existen seis ingenios azucareros distribuido en casi todo el estado, lo que indica que la caña de azúcar se produce en diferentes agrosistemas. Estos ingenios son de los más tecnificados del país, produciendo más caña molida en toneladas que la mayoría de los ingenios de otros estados (Hernández, 2014). Los rendimientos son superiores al promedio nacional, así como el volumen de azúcar obtenida por hectárea cosechada. Uno de los más productivos es el Ingenio de Tala, ubicado en el municipio de el mismo nombre, pertenece al Grupo Azucarero México y produjo en la zafra 2022-2023 poco más de 1.8 millones de toneladas de caña molida y con un promedio de 73.4 toneladas de caña por hectárea (MAM, 2024).

A través de los talleres y pláticas informales con productores de la zona abastecedora del ingenio Tala, se identificaron diversos problemas de índole social, económico, político, ambiental y organizacional. Todos los problemas tienen origen e impacto diferente, pero todos llevan a una consecuencia unilateral: la producción de caña de azúcar. Las actividades que los productores realizan para mejorar la producción de caña se basan en su mayoría, en el uso de productos químicos, aunque desde hace 3 o 4 años, algunos han recurrido al uso de bioinsumos o productos agroecológicos. En este sentido, en el área de abastecimiento se identifican tres diferentes tipos de manejo agronómico, y que son tanto para manejo de plagas y enfermedades, como para el mejoramiento productivo (suelo-planta): manejo convencional, mixto y agroecológico.

El manejo convencional es el proceso en el que se utiliza maquinaria agrícola y productos químicos para el mejoramiento productivo y para el control de plagas y enfermedades. En las áreas de abastecimiento el manejo convencional se basa en el uso de compuestos químicos para problemas de malezas, plagas como el barrenador de la caña (*Diatraea saccharalis*) y algunos para el manejo de roedores. Los químicos más frecuentes en el área de estudio son: el 2-4D, el Ametrin y Atrazina, en presentaciones como Novamina, Caña Z y Caña D. Estos compuestos son usados durante la etapa de crecimiento “pelillo” y durante el periodo máximo de desarrollo. Frecuentemente, se utilizan 4 litros de productos por cada 200 litros de agua (varía según compuesto) y es asperjado homogéneamente en toda la parcela, ya sea por vía terrestre (aspersor) o aérea (dron).

También suelen utilizar fertilizantes como potasio o nitrógeno (no indicaron nombre o marca) a veces hasta 2 aplicaciones por año (comentado por productores de la zona). También hay otros compuestos que se usan en el área de abastecimiento de caña de azúcar del Ingenio Tala, aunque su frecuencia y uso no han sido comprobadas en campo. Cabe mencionar que, aunque en las parcelas con manejo convencional se utilicen productos químicos, se comienza desde hace 3 o 4 años,



hacer uso de productos orgánicos, como lo son lixiviados de gallinaza con aplicación frecuente de dos veces por año a dosis de 80 litros sobre 250 litros (comentado por productores de parcelas monitoreadas).

En el caso del manejo agroecológico en la caña de azúcar, los procesos siguen siendo complementarios, ya que la mayoría sigue usando compuestos químicos, aunque cada vez más productores prefieren usar alternativas más ecológicas, ya que han expresado que al usar productos ecológicos, la planta, el suelo y la producción han mejorado. En la zona han surgido biofábricas, principalmente alentadas por los propios productores de caña de azúcar y ayudados por técnicos de la Secretaría de Agricultura, a través del Programa para el Bienestar y el INIFAP. En dichas biofábricas se producen bioinsumos provenientes de lixiviados y purín de gallinaza, lixiviados lombriz, humus lombriz, hormonas, bioles, caldos minerales y ácidos húmicos. Dichos productos son distribuidos a los miembros de la biofábrica de forma gratuita y a la venta a productores que estén interesados en dicho producto. En muchas parcelas, se comienza a usar más frecuentemente estos bioinsumos, ya que son más baratos y aparentemente se tiene un efecto favorable en la planta.

De los problemas fitosanitarios más recurrentes en la zona son la mosca pinta (*Aeneolamia* spp), el barrenador de la caña de azúcar (*Diatraea saccharalis*), langosta (*Schistocerca*), hongos como la roya naranja, o mamíferos como las ratas y topos. Sin embargo, la presencia de malezas es la que generar mayor daño al cultivo, donde los productores deben estar monitoreando constantemente sus parcelas, porque si no lo hacen, las malezas afectan severamente el cultivo y requieren obligadamente el uso de agroquímicos o tendrán pérdidas importantes en la productividad. En el caso de nemátodos y hongos, no son problemas graves como en otras zonas cañeras del país, y en algunos casos, la presencia de estos tipos de plagas, ni si quiera son monitoreadas.

La caña de azúcar con afectaciones por *Diatraea saccharalis* regularmente provoca amarillamiento en la planta, ya que hacen túneles o galerías dentro del tallo, disminuyendo el flujo de agua y nutrientes den la planta, además de afectar el cogollo también conocido como corazón muerto (Alvarez y Pérez, 2004). En el caso de las áreas monitoreadas con barrenador de la caña de azúcar, la distribución en las parcelas fue limitadas, aunque se notaron áreas con afectaciones. En la figura 4, se muestra la firma espectral de la caña de azúcar con afectaciones por la presencia de barrenador, en contraste con la firma espectral de caña sin afectaciones de plaga, es decir, la caña de azúcar estaba aparentemente “sana”. Las diferencias espectrales se notan en toda la longitud de onda medida (450 – 900 nm), aunque existe mayor separabilidad en la banda verde (500 – 600 nm) y en los infrarrojos (> 700 nm). La reflectividad en toda la longitud de onda, y especialmente en estas últimas bandas,

se debe al efecto bioquímico que ocurre en la planta, particularmente en la disminución del nitrógeno, que lleva a la planta a requerir mayor energía para realizar la fotosíntesis (Abdel-Rahman et al., 2010).

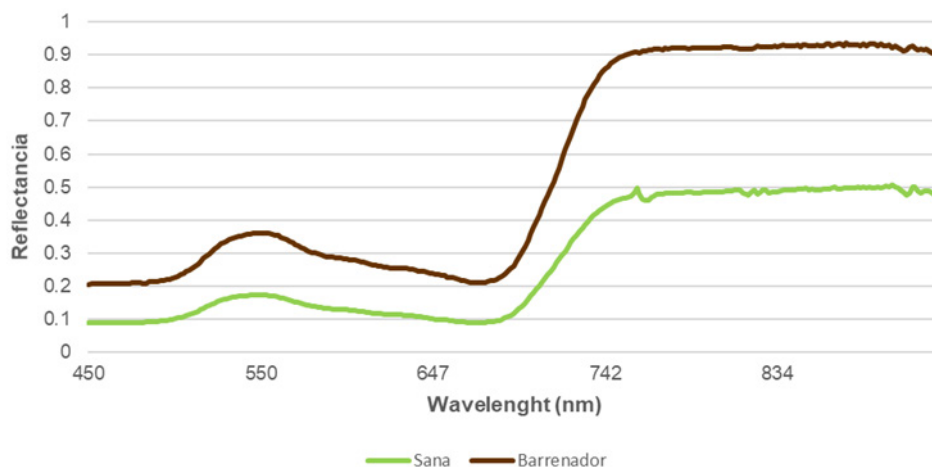


Figura 4. Firma espectral de la caña de azúcar bajo condiciones de salud aparente y con afectaciones por la plaga barrenador en el área de abastecimiento del Ingenio Tala, Jalisco

Fuente: elaboración propia

También con el muestreo de firmas espectrales de la caña de azúcar se logró caracterizar los diferentes tipos de variedades y la etapa fenológica en la que se encontró, esto con ayuda del productor de la parcela. La Figura 5 muestra los espectros de las variedades RD-7511, MEX-57-473 y CP-72-2086 que corresponden a las variedades más representativas del área de abastecimiento de caña del Ingenio Tala. Las diferencias marcadas se deben en gran medida al grosor y pigmentación de la hoja, su composición celular y la cantidad de agua del tejido foliar (Olvera, 2016). La variedad RD75 – 11 (originaria de República Dominicana) tiene un color de amarillo a verde, según la etapa fenológica, además de ser resistente a enfermedades como la roya (*Puccinia kuehni*) o el carbón (*Sporisorium scitamineum*). Para las variedades CP-72-2086 y MEX-57-473 las condiciones vegetativas están dadas posiblemente por los suelos, la restricción de agua o el manejo agrícola (García, 2018). La separación entre las respuestas espectrales es más marcada entre las variedades RD-7511 y la Mex-57-473, ya que en toda la longitud de onda medida existe hasta 30% de separación, y en donde la posible causa sea la diferencia en las etapas fenológica (diferencia de 70 a 90 días), mientras que la CP-72-2068 presenta un amarillamiento en su etapa madura.

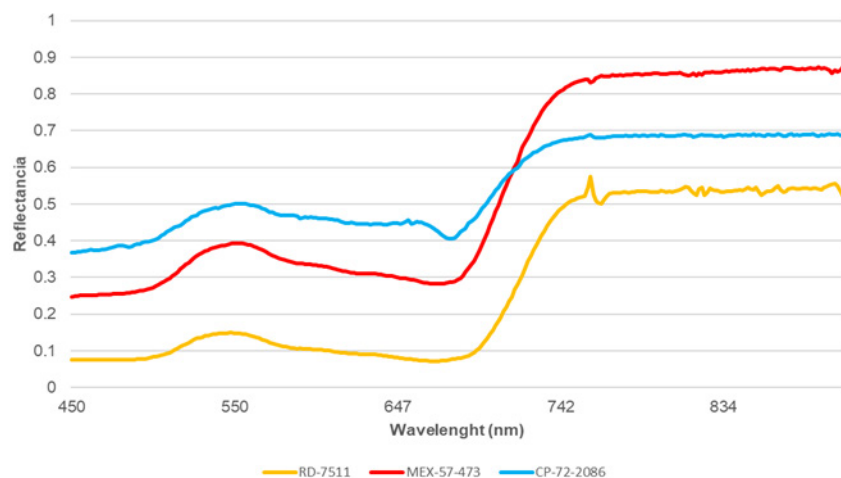


Figura 5. Firma espectral por variedades de la caña de azúcar producidas en el área de abastecimiento del Ingenio Tala, Jalisco

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, las imágenes capturadas por el VANT fueron de 10 parcelas hasta ahora monitoreadas. De estas, se obtuvieron en promedio 300 imágenes capturadas con diferentes longitudes de onda por parcela. El proceso para la generación de los ortomosaicos se realizó en el software Agisoft Metashape Professional. Posteriormente, los ortomosaicos generados se les aplicó un NDVI para generar una primera impresión de las imágenes del territorio. De las 10 parcelas monitoreadas, 5 realizan actividades predominantemente agroecológicas (aunque siguen usando agroquímicos, pero con menor frecuencia) y 5 parcelas en donde predominantemente usan métodos convencionales para mejorar la productividad y combatir plagas y enfermedades. En total, se acumularon 88 hectáreas fotografiadas con cámaras infrarrojas. En las parcelas con aplicaciones agroecológicas se realizan aplicaciones de diversos bioinsumos proporcionados por las biofábricas de la región. Algunas de estas parcelas son de productores que pertenecen al grupo de productores de la biofábrica de Ahuisculco, Tala.

De forma general, los índices de vegetación (NDVI) muestran que la “salud” de la caña de azúcar es mejor en las parcelas en donde realizan manejo mixto que en donde el manejo predominante o exclusivo es el convencionales (Figura 6). Las intensidades de colores orientados más hacia los verdes fuertes indican que la vegetación está más saludable o no presenta daños por plaga o deficiencias nutrimentales, los colores que van más hacia los amarillos y naranjas, indican que la vegetación puede estar sometida a algún problema, ya sea asociado a plagas, enfermedades, falta de agua, deficiencias nutrimentales o algún problema fisiológico. Las diferencias más marcadas se pueden ver en el valor numérico del NDVI. En el manejo convencional los valores están entre el 0.33 y el 0.41, además de que en los histogramas se observa poca densidad en los picos más altos, mientras que en el manejo mixto (uso de agroquímicos con bioin-

sumos) los valores están entre el 0.38 y el 0.51. A nivel campo, las parcelas que tiene manejo mixto se pueden observar más vigorosas en el verdor de las hojas, además de que los productores han notado un mejoramiento en las condiciones del suelo.

Los productores han explicado que el uso de los agroquímicos es necesario, ya que la presencia espontánea de malezas puede provocar mayores pérdidas, que las generadas si no usaran herbicidas, sin embargo, han notado un cambio importante tanto en la planta como en el suelo, cuando mezclan productos (químico y biológico), reconocen una mejor eficiencia y mayor rendimiento, principalmente en los procesos de fertilización. En el área de abastecimiento de caña de azúcar del ingenio Tala ya se reportan algunos productores que no han usado químicos en dos o tres años.

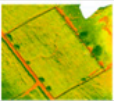
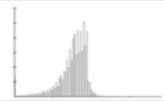
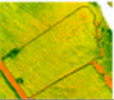

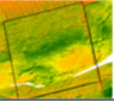
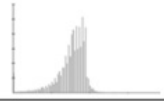
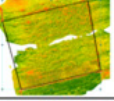
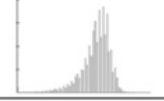


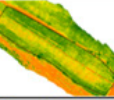
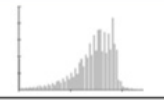
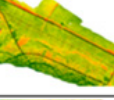
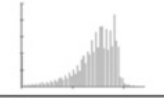
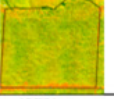
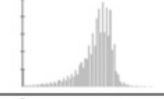
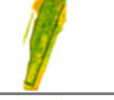
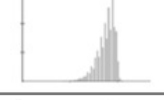
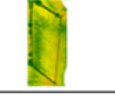
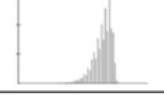
Manejo convencional		
Parcela	Histograma	NDVI promedio
		0.37
		0.35
		0.41
		0.33
		0.34
Manejo convencional-agroecológico		
		0.49
		0.42
		0.38
		0.51
		0.47

Figura 6. Índices Normalizados de Vegetación de parcelas de caña de azúcar con manejo convencional y convencional – agroecológico del área de abastecimiento del Ingenio Tala, Jalisco

Fuente: elaboración propia



Conclusiones

El uso de procesos tecnológicos de índole geográfica, como el que proporcionan la espectroradiometría de campo y la fotogrametría en conjunto, puede permitir desarrollar estrategias de planeación y gestión territorial, especialmente en lo que respecta al uso de agroquímicos. Se pueden generar escenarios o modelos espaciales que muestren lugares que tienen problemas agronómicos o fitosanitarios, en donde a través de la cartografía generada, se decida realizar procesos dirigidos de manejo agronómico, que implique un uso menor de productos, para de esa forma reducir gradualmente el impacto ambiental y/o de salud que se genera al usar productos químicos. Se cree que estos procesos pueden aumentar el valor agregado del cultivo, así como mejorar los rendimientos productivos, reducir el costo en la compra de insumos agroquímicos, aumente el uso de productos biológicos y como consecuencia se genere menor impacto al ambiente y en la salud de las poblaciones circundantes.

Conflicto de intereses

“Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.”

Financiamiento

Financiamiento por parte del proyecto “Sistema de gestión territorial sustentable de la caña de azúcar con espectroradiometría y fotogrametría” con clave CF-2023-I-2586, de la convocatoria de Ciencia de Frontera 2023 del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT).

Agradecimientos

Se agradece a los productores de caña de azúcar de los municipios de Tala y Teuchitlán, a los productores de la biofábrica de Ahuiculco, Tala, al Ing. Pedro Martel Vargas. del Programa Producción para el Bienestar. Se agradece también a la Unión Local de Productores de Caña de Azúcar A.C. (ULPCA) y la Unión Nacional de Cañeros (UNC-CNPR) en el municipio de Tala, Jalisco.

Referencias

- Abdel-Rahman, E. M., Ahmed, F. B., & Van den Berg, M. (2010). Estimation of sugarcane leaf nitrogen concentration using in situ spectroscopy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, S52-S57. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.11.003>
- Aguilar-Rivera, N. (2012). The Mexican sugarcane industry, overview, constraints, current status and long-term trends. *Springer Sugar Tech*, 14(3), 207-222



- Aguilar-Rivera, N. (2016). Sustainable Sugarcane Bagasse Cellulose for Papermaking. En A. Tiwari, N. Arul Murugan, & R. Ahuja (eds.), *Advanced Engineering Materials and Modeling* (pp. 121-163). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119242567.ch4>
- Álvarez, M. C. & Pérez, J. F. D. (2004). *Resultados del monitoreo para diagnóstico y control de poblaciones de barrenadores del tallo en caña de azúcar de los municipios: El Grullo-Autlán-El Limón en Jalisco. Primer año. Documento 1*. INIFAP-CESAVEJAL-Asociación de agricultores del Valle el Grullo-Autlán. Jalisco, México. Recuperado de <https://siiba.conadesuca.gob.mx/siica/Consulta/verDoc.aspx?num=48>
- Awad, M. M. (2018). *Crop Mapping Using Hyperspectral Data and Technologies - A Comparison Between Different Supervised Segmentation Algorithms*. Sofia: Surveying Geology & Mining Ecology Management (SGEM). doi: <http://dx.doi.org/10.5593/sgem2018/2.3/S10.012>
- Bolfe, E. (2019). Application of geotechnologies in the development of sustainable agriculture in Brazil. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 6(12), 458-463. <http://dx.doi.org/10.22161/ijaers.612.53>
- CROPSCAN Inc. (1994). *MSR user's Manual*. CROPSCAN Inc. Recuperado de <https://manualzilla.com/doc/5815760/user-s-manual-cropscan--inc>.
- Filippini, J., Flores, C., & Miele, A. (2017). Geotechnologies and soil mapping for delimitation of management zones as an approach to precision viticulture. *Applied and Environmental Soil Science*, 2017, 4180965. <https://doi.org/10.1155/2017/4180965>
- García-Preciado, J. (2018). Evaluación de variables de calidad en Híbridos de *Saccharum* spp. En diferentes ambientes agroecológicos de Jalisco, México. *Agro Productividad*, 10(11). Recuperado de <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/55>
- Hernández-Cázares, A. S. (2014). La agroindustria de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en México. *Agro Productividad*, 7(2). Recuperado de <https://mail.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/511>
- Manual Azucarero Mexicano 2024*. (2024). Cia Editora. Recuperado de https://www.manualazucarero.com/_files/ugd/fc2095_b4e9661cd898438aad336a83992d281.pdf
- Mustashkina, D., Khannanov, M., Kalimullin, M., & Karpova, N. (2021). Development of agriculture based on geographic information technologies. *E3S Web of Conferences*, 282, 07019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128207019>
- Ni, J., Zhang, J., Wu, R., Pang, F., & Zhu, Y. (2018). Development of an Apparatus for Crop-Growth Monitoring and Diagnosis. *Sensors*, 18(9), 3129. <https://doi.org/10.3390/s18093129>



- Olvera Vargas, L. A. (2016). *Variabilidad espacial de las enfermedades de la caña de azúcar en la región Huasteca: implicaciones para su monitoreo con percepción remota* [tesis de doctorado, Universidad Autónoma de San Luis Potosí]. Repositorio Institucional UASLP. <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/5677>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). *Datos sobre alimentación y agricultura, producción mundial*. Recuperado de <https://www.fao.org/faostat/es/#data>
- Pacheco, J., & Martín, M. (2015). Characterization of a field spectroradiometer for unattended vegetation monitoring. key sensor models and impacts on reflectance. *Sensors*, 15(2), 4154-4175. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/s150204154>
- Rao, N. R., Garg, P. K. & Ghosh, S. K. (2007). Development of an agricultural crop's spectral library and classification of crops at cultivar level using hyperspectral data. *Precision Agriculture*, 8, 173–185. <https://doi.org/10.1007/s11119-007-9037-x>
- Reddy, G. (2018). Geospatial Technologies in Land Resources Mapping, Monitoring, and Management: An Overview. En Reddy G., & Singh S. (eds), *Geospatial Technologies in Land Resources Mapping, Monitoring and Management. Geotechnologies and the Environment* (pp. 1 – 18). Springer. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-78711-4_1
- Serra, G. y Trumper, E. (2006). Estimating the incidence of corn stem damage produced by *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) larva through assessment of external infestation signs. *AgriScientia*, 23(1), 1-7. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v23.n1.2685>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola – Caña de azúcar*. Recuperado de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>