

Periodo 31 de mayo al 13 de junio 2021

El Instituto Meteorológico Nacional (IMN) con el apoyo del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar de LAICA (DIECA-LAICA), presenta el boletín agroclimático para caña de azúcar.

En este se incorpora el análisis del tiempo, pronósticos, notas técnicas y recomendaciones con el objetivo de guiar al productor cañero hacia una agricultura climáticamente inteligente.

IMN

www.imn.ac.cr
2222-5616

Avenida 9 y Calle 17
Barrio Aranjuez,
Frente al costado Noroeste del
Hospital Calderón Guardia.
San José, Costa Rica

LAICA

www.laica.co.cr
2284-6000

Avenida 15 y calle 3
Barrio Tournón
San Francisco, Goicoechea
San José, Costa Rica

RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE LA QUINCENA DEL 17 DE MAYO AL 30 DE MAYO

En la figura 1 se puede observar, a partir de datos preliminares, el acumulado quincenal de lluvias sobre el territorio nacional.

Los distritos que sobrepasaron los 300 mm de lluvia acumulada en la quincena fueron Corredores, Horquetas y La Virgen de Sarapiquí, Guaycara de Golfito y Guápiles de Pococí.

Los registros de lluvia de 128 estaciones meteorológicas consultadas muestran al miércoles 26 como el de mayor registro de lluvia acumulada. Por otra parte, el lunes 17 presentó los menores acumulados a nivel nacional, sin sobrepasar los 210mm.

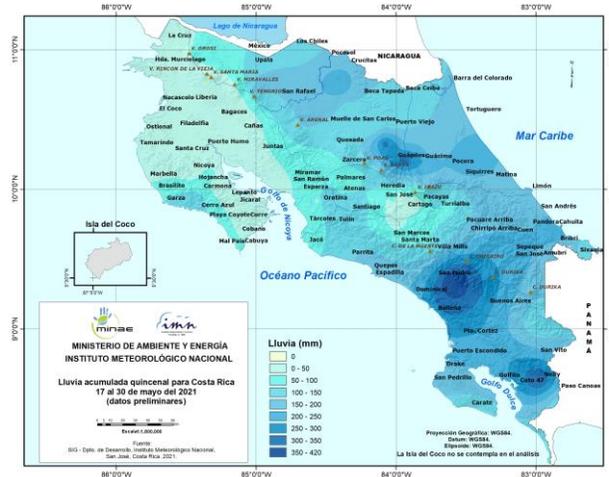


Figura 1. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la quincena del 17 de mayo al 30 de mayo del 2021.

PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CAÑERAS PERIODO DEL 31 DE MAYO AL 06 DE JUNIO

De la figura 2 a la figura 9, se muestran los valores diarios pronosticados de las variables lluvia (mm), velocidad del viento (km/h) y temperaturas extremas (°C) para las regiones cañeras. Se prevé una semana con condiciones levemente menos lluviosas de lo normal en todas las regiones cañeras, principalmente en Guanacaste Este, Guanacaste Oeste y Puntarenas. De forma que las principales lluvias se esperan en la primera mitad de semana.

La velocidad del viento se mantendrá sutilmente más ventosa de lo normal en el país; con mayor intensidad en Guanacaste Oeste, Guanacaste Este y Región Norte. Durante la semana predominará el viento del Este, a excepción del Sur donde se prevé incursión de viento principalmente del Oeste. Mientras la temperatura media se mostrará ligeramente arriba de lo normal, a excepción de las regiones Puntarenas y Sur donde se mantendrá normal para la época. De manera que las menores amplitudes se presentaran a mediados de semana.

“Condiciones más secas hacia el fin de semana en el Valle Central y vertiente Pacífico.”

BOLETÍN AGROCLIMÁTICO CAÑA DE AZÚCAR



Mayo 2021 - Volumen 3 – Número 12

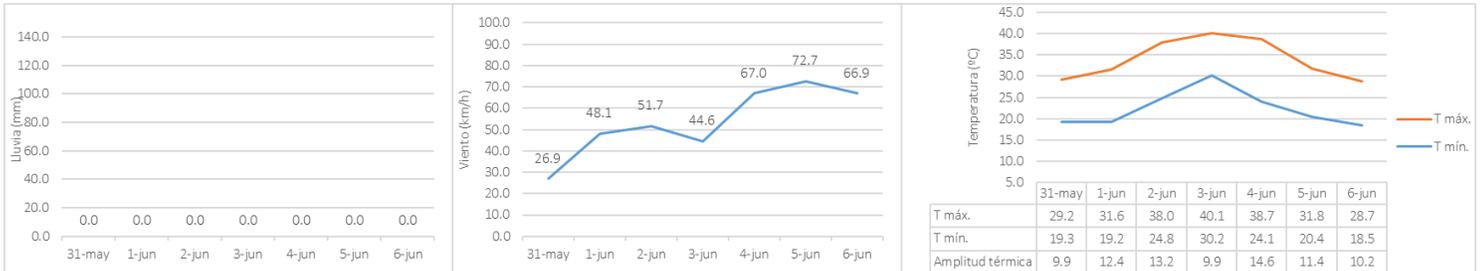


Figura 2. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 31 de mayo al 06 de junio en la región cañera Guanacaste Este.

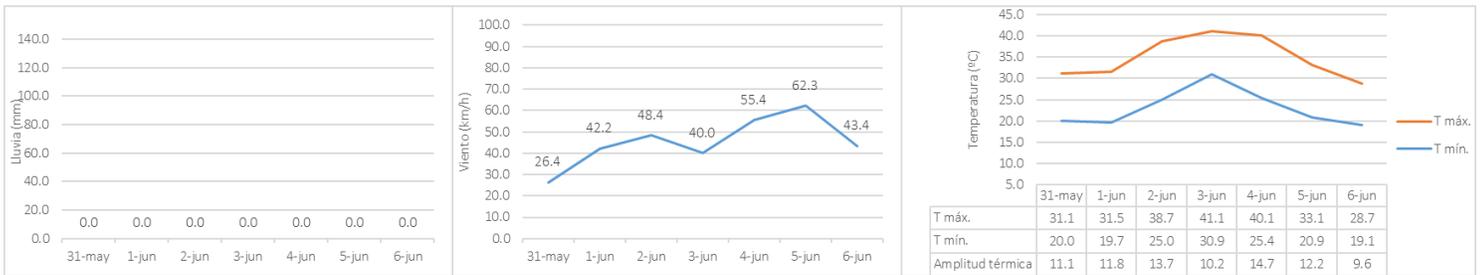


Figura 3. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 31 de mayo al 06 de junio en la región cañera Guanacaste Oeste.

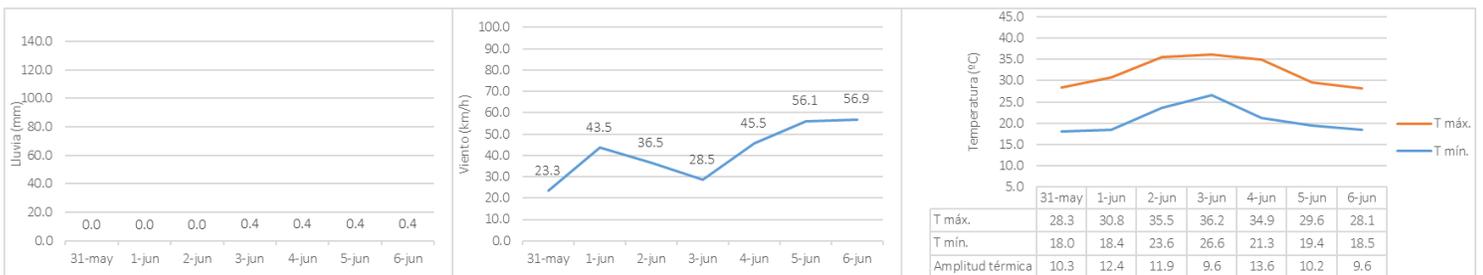


Figura 4. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 31 de mayo al 06 de junio en la región cañera Puntarenas.

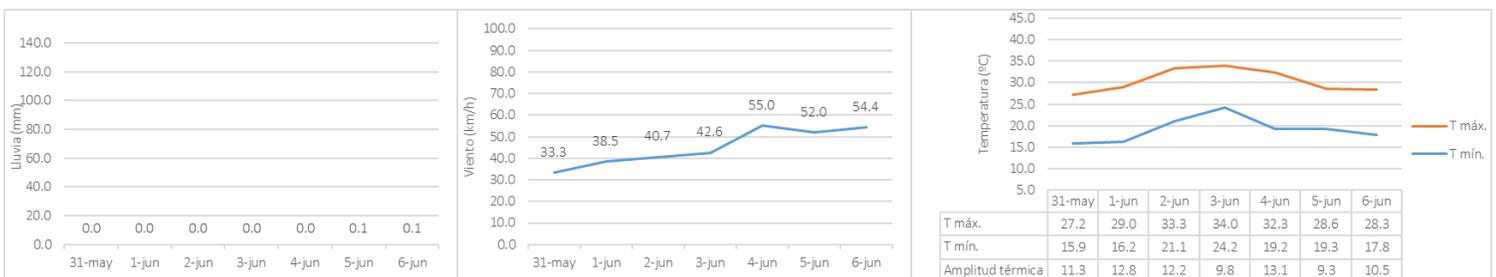


Figura 5. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 31 de mayo al 06 de junio en la región cañera Zona Norte.

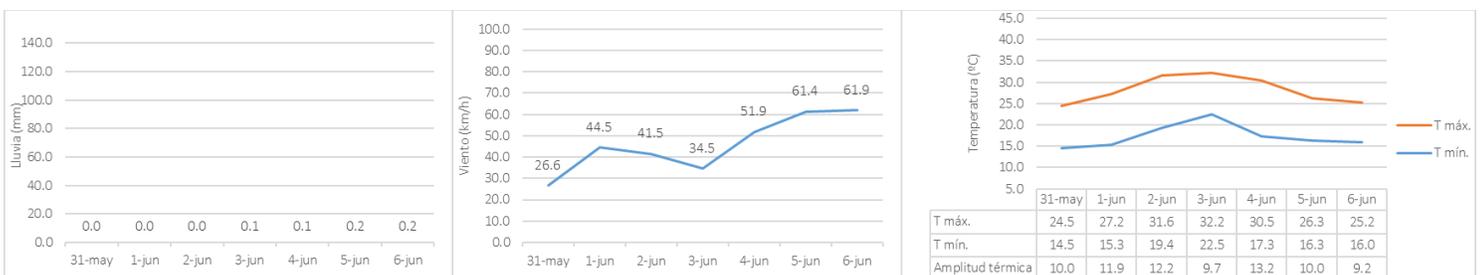


Figura 6. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 31 de mayo al 06 de junio en la región cañera Valle Central Este.

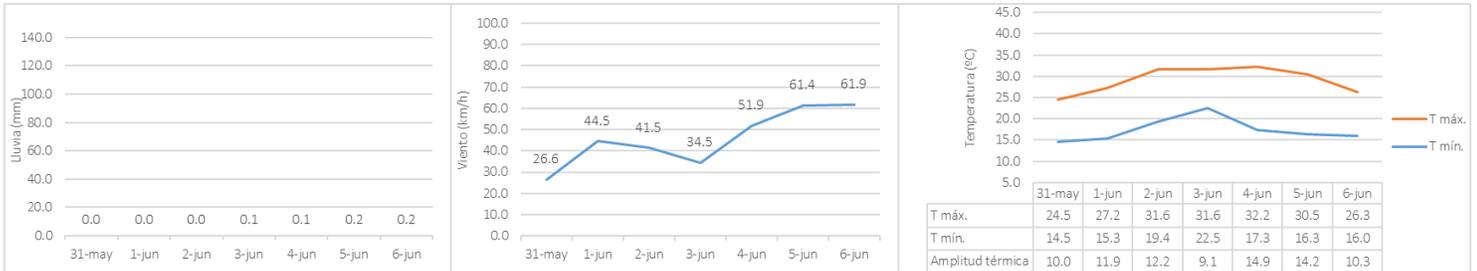


Figura 7. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 31 de mayo al 06 de junio en la región cañera Valle Central Oeste.

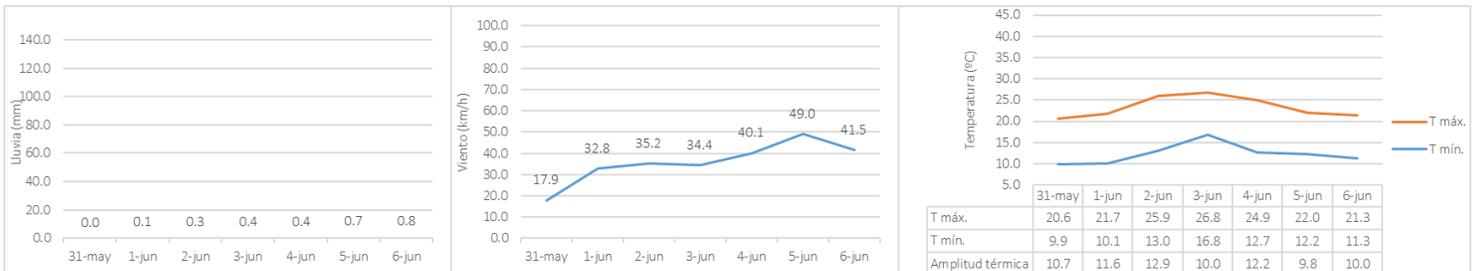


Figura 8. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 31 de mayo al 06 de junio en la región cañera Turrialba.

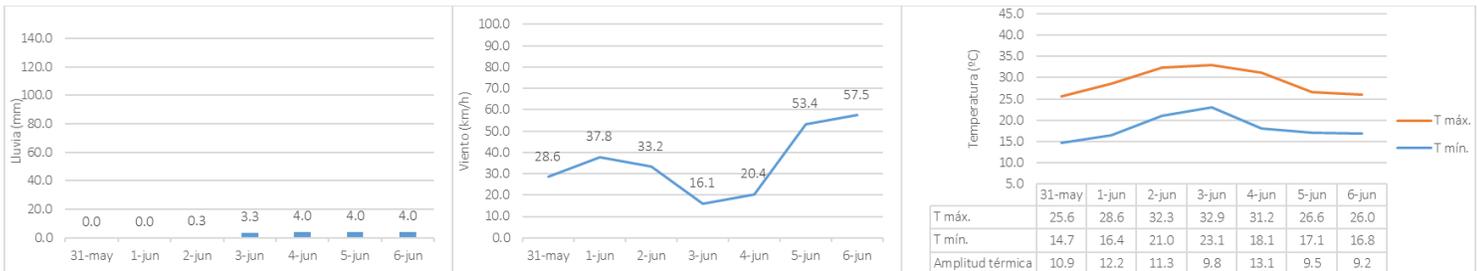


Figura 9. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 31 de mayo al 06 de junio en la región cañera Zona Sur.

TENDENCIA PARA EL PERIODO DEL 07 DE JUNIO AL 13 DE JUNIO

Se prevé una semana levemente más lluviosa de lo normal y particularmente en la región Sur. Las condiciones ventosas se mantendrán sutilmente por arriba de lo normal en Guanacaste Este y Guanacaste Oeste; así como normales para la época en las restantes regiones cañeras. La temperatura promedio se mantendrá normal a lo largo de la semana.

HUMEDAD DEL SUELO ACTUAL PARA REGIONES CAÑERAS

De acuerdo con Central America Flash Flood Guidance System (CAFFG), el cual estima la humedad en los primeros 30 cm de suelo, durante la semana del 24 al 30 de mayo de 2021 los suelos de la Zona Norte inician la semana con condiciones más húmedas que van reduciéndose a partir del jueves; mientras Guanacaste Este mostró valores de humedad más altos que los de Guanacaste Oeste a lo largo de la semana; por su parte Turrialba alto se mantuvo más saturado que Turrialba bajo en el periodo; Valle Central y Puntarenas presentaron porcentajes bajos de humedad durante la semana; en cuanto a la Zona Sur, esta evidencio montos elevados.

Como se observa en la figura 11, durante la mañana de hoy, la Región de Guanacaste Oeste presentó valores inferiores a 60% de saturación, mientras que la Región de Guanacaste Este tuvo entre 15% y 75%. La Región Puntarenas estuvo entre 15% y 60%, tanto la Región Valle Central Oeste como la Región Valle Central Este presentaron entre 30% y 60%.

El porcentaje de humedad de la Región Norte fue de entre 30% y 75%; la Región Turrialba Alta (> 1000 m.s.n.m.) tuvo entre 30% y 100% y la Región Turrialba Baja (600-900 m.s.n.m.) mostró entre 30% y 75%. La Región Sur varió entre 15% y 100% de humedad.

DIECA Y EL IMN LE RECOMIENDAN

Mantenerse informado con los avisos emitidos por el IMN en:

- @IMNCR
- Instituto Meteorológico Nacional CR
- www.imn.ac.cr

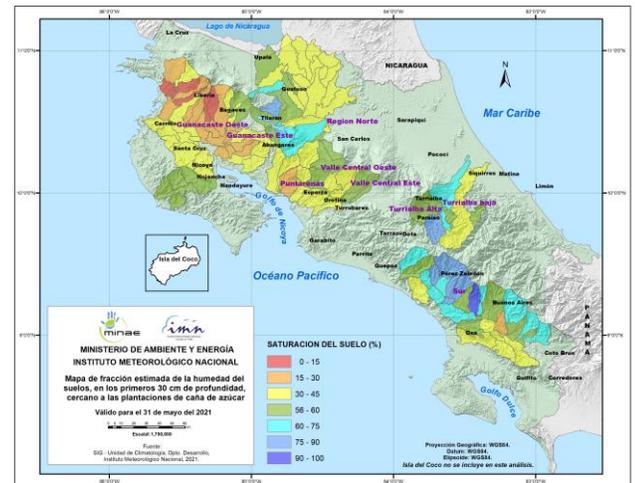


Figura 11. Mapa de fracción estimada de la humedad en porcentaje (%), en los primeros 30 cm de profundidad, cercana a las plantaciones de caña de azúcar, válido para el 31 de mayo del 2021.

CRÉDITOS BOLETÍN AGROCLIMÁTICO

Producción y edición del Departamento de Desarrollo
 Meteoróloga Karina Hernández Espinoza
 Ingeniera Agrónoma Katia Carvajal Tobar
 Geógrafa Nury Sanabria Valverde
 Geógrafa Marilyn Calvo Méndez

Modelos de tendencia del Departamento de
 Meteorología Sinóptica y Aeronáutica

INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL

NOTA TÉCNICA

Sensores remotos y su potencial uso en el cultivo de la caña de azúcar.

Ing. Agr. Erick Chavarria Soto

echavarria@laica.co.cr

Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar

Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar

Resumen

Los sensores remotos representan una herramienta de información mediante el procesamiento y análisis de imágenes aéreas. Actualmente hay una amplia diversidad de sensores remotos que miden las ondas del espectro electromagnético (EM), y que detectan desde la región visible (VIS) del EM, que es la que los humanos percibimos a través de la vista, hasta las regiones no visibles como toda la zona del infrarrojo (IR), ondas de radar, rayos X, etc. Las plantas reflejan con mucha facilidad las ondas del IR y el análisis de estas ondas pueden utilizarse para la interpretación del comportamiento del cultivo de la caña de azúcar, para realizar estimaciones de producción o determinar el estado hídrico y necesidades de riego. Toda la información que se puede obtener de estas herramientas dependerá de la cantidad y calidad de datos asociados para la estimación de los modelos, las imágenes por sí solas no proveerán de esta información sin haber realizado estudios previos de interpretación. Se hace un breve repaso de las herramientas y su aplicabilidad potencial al cultivo de la caña de azúcar.

Introducción

El planeta Tierra así como los seres vivos que lo habitan están expuestos a una inconmensurable cantidad de radiación que llega del espacio, siendo El Sol el principal tributario en cuanto a la cantidad de energía que emite y llega en forma de diferentes ondas de radiación, y que mucha es filtrada a través del escudo que representa la capa de ozono (O₃) en nuestra atmósfera, que protege a toda la vida sobre el planeta de los nocivos rayos ultravioleta (Figura 1).

Toda la radiación llega a la Tierra desde el espacio en forma de ondas y se diferencian entre sí principalmente por una característica importante denominada longitud de onda. Las ondas se pueden representar como las oscilaciones a lo largo de un eje como se ilustra en la Figura 2, la longitud de onda es la distancia entre las crestas y se representa con la letra griega lambda (λ). Otra característica de las ondas es la frecuencia que es la cantidad de oscilaciones que hace una onda en un periodo de tiempo y se expresa en Hertz (Hz), entendiendo que una oscilación completa está formada por las dos crestas opuestas de la onda tal y como se muestra en la zona sombreada de la Figura 2.

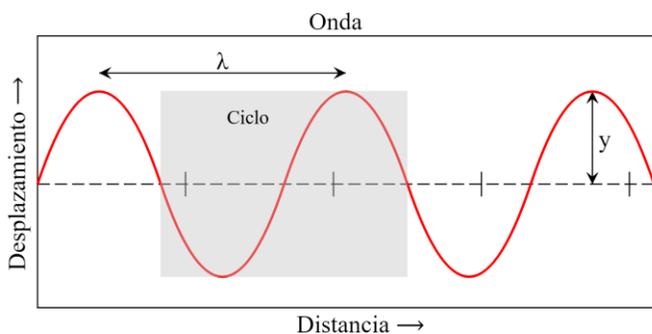


Figura 1. Representación esquemática de la posición de las diferentes capas de la atmósfera y la ubicación de la capa de ozono. Fuente: (Geología web, 2021).

Todos los tipos de radiación a la que la Tierra está expuesta conforman lo que se conoce como el espectro electromagnético (EM). Las ondas del EM abarcan longitudes en el ámbito de los 0,01 nanómetros (nm) hasta los 10 kilómetros (km). Dentro del EM hay una región que se le denomina espectro visible (VIS) que está en el rango entre los 380 y los 750, este es el rango dentro del cual el ojo humano puede percibir la radiación que le permite ver los colores.

perceptibles por el ojo humano y que a diferencia del VIS, puede ser reflejado por las plantas con bastante energía como es el caso del infrarrojo cercano conocido también como NIR por sus siglas en inglés (near infrared).

Estas ondas fuera del rango visible y que no son percibidas por el ojo humano pueden ser detectadas por sensores especializados que son sensibles a la radiación reflejada por los objetos; y la identificación de las diferentes longitudes de onda para los diferentes análisis de los elementos sobre la superficie terrestre permite establecer la firma espectral de los objetos. La firma espectral se puede definir como la característica de la superficie de los objetos para transmitir, absorber y reflejar la radiación electromagnética; es estable y única para un objeto dado (Dong, Anh, Thu, & Anh, 2014)



λ = longitud de onda
y = amplitud

Figura 2. Componentes principales de las ondas. Fuente (Krishnavedala, 2012).

La reflectancia es una característica de la radiación estrechamente relacionada con las características de los cuerpos o elementos que reciben las ondas, significa que los cuerpos sólidos reflejan una proporción de la radiación que reciben. Por ejemplo el ojo humano es capaz de percibir los colores de tal manera que un objeto de color azul expuesto a la radiación luminosa absorbe todas las ondas que componen la luz y refleja la longitud de onda azul permitiendo que el ojo humano perciba el color. El rango del VID es de baja reflectancia porque casi todas las ondas son absorbidas y muy pocas reflejadas, como ejemplo tenemos el caso de las plantas que absorben todas las ondas para convertirla en energía para la fotosíntesis, liberando solamente la que corresponde a la zona del verde, por esta razón es que las plantas se ven verdes.

La reflectancia va a estar también influenciada por la composición físico-química de los materiales u objetos así como el estado de los elementos, la rugosidad de las superficies, la cantidad de radiación y hasta el ángulo de incidencia de las ondas. Los elementos reflejan la radiación de diferente manera, y en el caso específico, las plantas reflejan fuertemente la longitud de onda correspondiente a la zona del color verde; pero hay longitudes de onda que no son

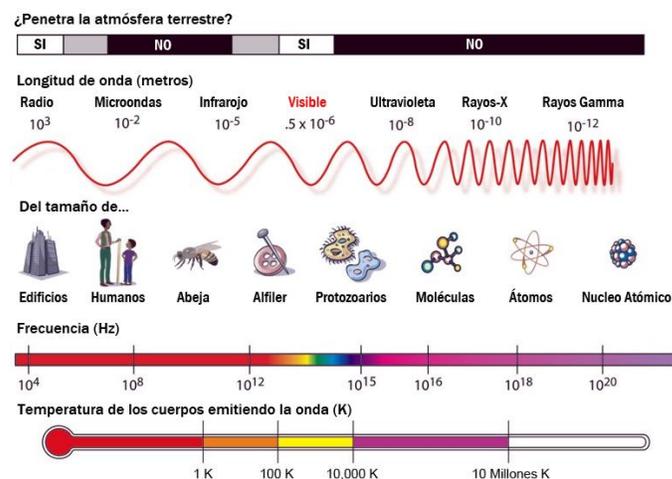


Figura 3. Esquematación del espectro electromagnético. Fuente: (Casanova, 2012).

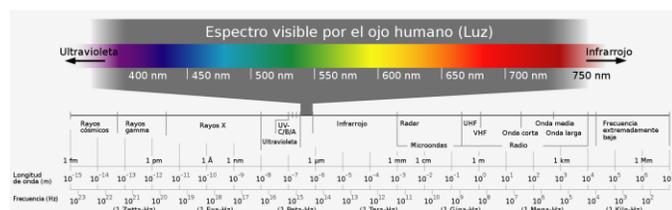


Figura 4. Rango del espectro electromagnético que es captado por el ojo humano a través de la luz. Fuente: (Wikipedia, 2007).

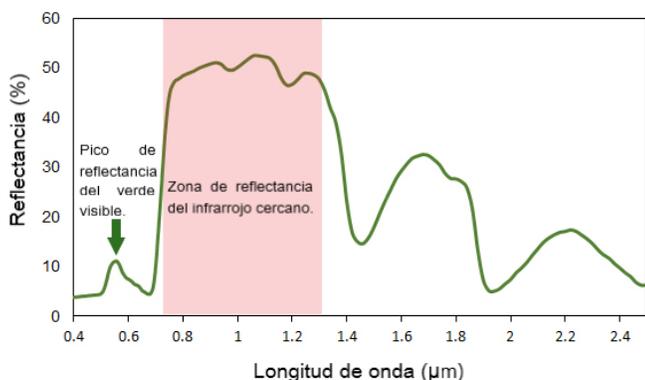


Figura 5. Curva de reflectancia (%) de la vegetación en relación a la radiación en diferentes longitudes de onda en micrómetros (μm), $1\mu\text{m} = 1.000$ nanómetros (nm). Fuente: (Humboldt State University, 2021)

Teledetección y sensores remotos

En el sentido estricto de la aplicabilidad del término se puede definir como teledetección la obtención vía remota (a distancia y sin contacto con el objeto) de información de un objeto mediante el uso de sensores específicos para medir la radiación emitida, absorbida o reflejada por los elementos en estudio (Dung, Anh, Thu, & Anh, 2014).

Sensores remotos

De acuerdo a Van Leeuwen & Vargas (2010) los sistemas de teledetección dependen de la interacción entre la fuente de energía o radiación, los objetos o elementos en estudio y los sensores que captan la energía o radiación. Una vez obtenidas las lecturas de los sensores hay una fase de procesamiento de la información que se traduce en imágenes de manera que puedan ser útiles para análisis y toma de decisiones..

Tipos de sensores

1. Sensores pasivos: los sensores pasivos captan la energía que se refleja en la superficie de los objetos. La fuente principal de energía para el funcionamiento de estos sensores es la radiación solar que es reflejada por los objetos sobre la superficie. Ejemplos de sensores pasivos: cámaras fotográficas o de vídeo; espectrómetros de rayos gama; escáner multiespectrales; escáner térmicos; radiómetros de microondas; espectroscopios y espectrómetros.

2. Sensores activos: son aquellos que poseen su propia fuente de energía, la cual emiten hacia los objetos en estudio midiendo el tiempo y la energía con que son retornados al sensor. Ejemplos de sensores activos: escáner láser (LiDAR), radares de altitud y radares de imágenes.

Tipos de plataformas

Los sensores pueden estar colocados en diversas plataformas de acuerdo al alcance y objetivos que persigue la teledetección.

1. Terrestres: los sensores pueden estar a sobre la superficie o colocados en plataformas de observación como torres o grúas. Son útiles para trabajos de teledetección minuciosos que requieren cubrir áreas pequeñas.

2. Aéreas: los equipos son aerotransportados en aeronaves de ala fija o rotatoria que pueden ser de desde drones de vuelo bajo hasta aviones para captación de imágenes a alta altitud.

3. Espaciales: los equipos están colocados en satélites fuera de la atmósfera cubriendo la Tierra en órbitas que pueden ser polares (en dirección a los polos) o geoestacionarias (en dirección al ecuador). Los satélites que cubren el planeta en órbitas polares tienen mayor cobertura de la superficie de la Tierra que los que siguen órbitas geoestacionarias.

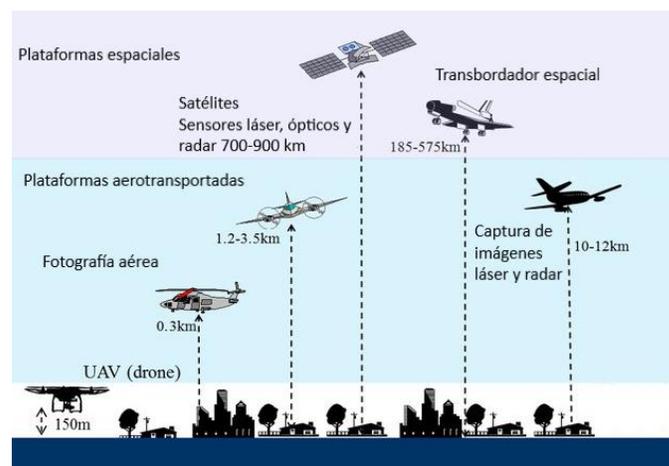


Figura 6. Plataformas y sensores remotos usualmente utilizados para teledetección. Fuente: (Yamazaki & Liu, 2016).

Uso de los sensores remotos en el cultivo de caña de azúcar.

El uso de imágenes aéreas captadas por cámaras fotográficas proveen mucha información acerca de la superficie terrestre especialmente lo que se refiere a la cobertura vegetal, en este sentido los cultivos son un objetivo común alrededor del mundo permitiendo una serie de información a los analistas sobre todo en lo que se refiere a extensión, un ejemplo de ello es la herramienta de Google Earth en la que fácilmente cualquier persona puede obtener información de distribución o dispersión, vías o fuentes de agua cercanas, ciudades, etc. No obstante, hay mucha información que el VIS (captado por las cámaras fotográficas comunes) no brindan toda la información disponible del cultivo, como por ejemplo, el estado de desarrollo o situaciones de estrés por afecciones bióticas o abióticas como sí se puede hacer con sensores que operan a longitudes de onda que no son visibles al ojo humano o las cámaras fotográficas comunes.

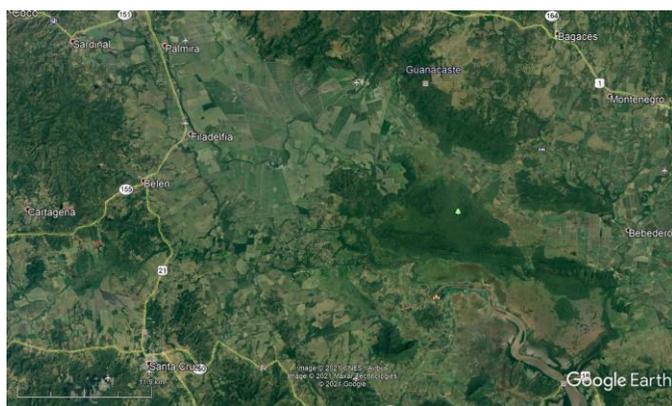


Figura 7. Imagen aérea de Google Earth en la que se observa la cuenca del río Tempisque, Guanacaste. Costa Rica, 2021.

Las principales aplicaciones al cultivo de caña de azúcar del uso de imágenes aéreas captadas por sensores remotos son principalmente: 1) mapeo; 2) estimaciones de producción y 3) determinación de condiciones de estrés.

Mapeo

Es quizá una de los productos más comunes obtenidos a partir de imágenes aéreas. Aunque normalmente esta labor se puede realizar con equipos topográficos terrestres en pequeña escala, la cobertura se puede complicar cuando el cultivo ocupa grandes extensiones en los territorios.

La identificación de las áreas se hace mediante fotointerpretación delimitando las áreas de interés con la cobertura vegetal objetivo. No obstante en caña de azúcar desde 1991 se ha trabajado con las 3 bandas espectrales (azul, rojo y verde) que conforma el VIS para obtener firmas espectrales que diferencien entre cultivos adyacentes en una misma imagen o composición (Abdel-Rahman & Ahmed, 2008).

El producto final de la fotointerpretación es una base de datos de sistemas de información geográfica (SIG) conformada por polígonos que representan los campos con caña de azúcar, la cual se puede superponer a otras capas con información y realizar diferentes análisis espaciales según la necesidad, a partir de la que se pueden obtener mapas como el de la Figura 8.

Los análisis espaciales dependerán de la información con la que se alimente la base de datos o de las capas con que se cuenten, pero pueden ser tan sencillos como estimaciones de áreas, distribución de áreas por variedades, identificación de polígonos de acuerdo a rangos de productividad por mencionar algunos. El contar con capas adicionales como las delimitaciones territoriales permite hacer cálculos de áreas por territorios, o pasar a análisis más complejos como determinación de pendientes o generación de modelos de elevación digital (MED) en los casos con que se cuente con información de la elevación o curvas de nivel

Estimaciones de producción

La predicción de la productividad que se proyecta obtener en el cultivo de la caña de azúcar al final de la temporada constituye el Santo Grial de la actividad azucarera alrededor del mundo. Abdel-Rahman y Ahmed (2008) hacen mención de muchos investigadores que han tratado de obtener esta información a partir del análisis de imágenes aéreas obtenidas a través de sensores remotos que operan en el rango no visible del EM.

El primer paso en la elaboración de un inventario del cultivo es el mapeo de las áreas destinadas a la producción, información que se puede estimar con relativa facilidad y que será efectiva en función de lo actualizada, la cantidad y calidad de datos de indicadores disponibles para el análisis espacial de la información. Muchos de los proyectos para estimar modelos de estimación mediante el uso de sensores remotos están basados en imágenes históricas de las áreas de estudio y de la recolección de información relativa a esas áreas.

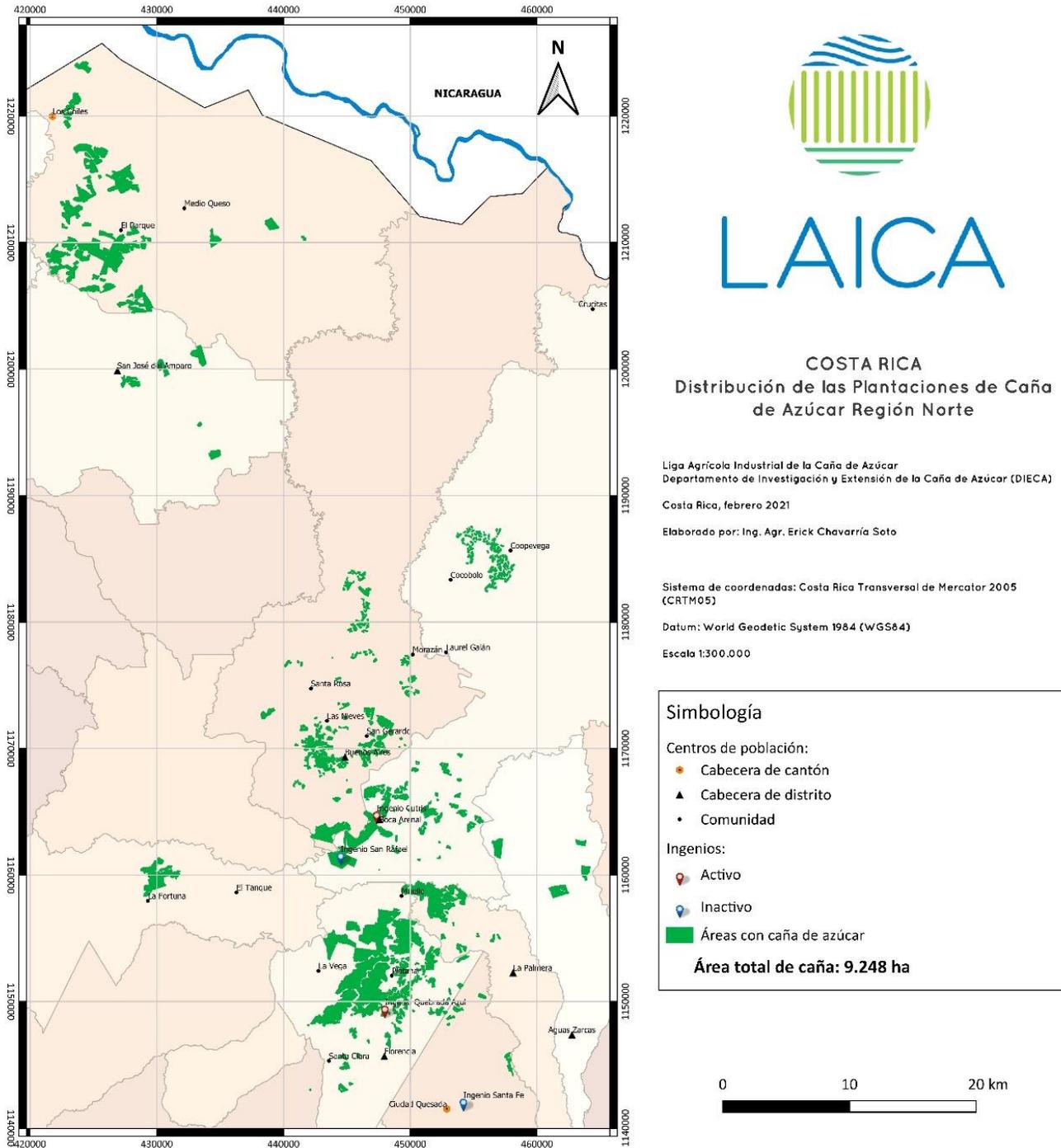


Figura 8. Mapa de la distribución de las áreas cañeras de la región Norte elaborado a partir de imágenes aéreas. Costa Rica, 2021.

Como se mencionó anteriormente, las plantas son altamente absorbentes de las ondas en la zona del VIS, reflejando solamente las ondas entre los 500 y 600 nm que corresponden a la región del color verde, sin embargo los tejidos de plantas saludables son altamente reflectivos en la zona del NIR. El uso de la reflectancia de las plantas en las zonas del NIR es de mucha utilidad para el cálculo de índices que se pueden correlacionar con variables de producción y otras variables respectivas a la ontogenia o estado de desarrollo del cultivo. Los índices se calculan a partir de los valores de reflectancia medidos por el sensor en las bandas (canales) disponibles en los diferentes rangos de longitud de onda del EM en la zona del NIR, u otras zonas de interés en el espectro (Cuadro 1).

Uno de los índices más utilizados para correlacionar con producción es el índice de vegetación de diferencia normalizada o NDVI (por sus siglas en inglés). Este índice se calcula a partir de los valores de reflectancia en las bandas del rojo visible e infrarrojo (IR), se utiliza para estimar el estado y la cantidad de la vegetación. En caña azúcar se ha utilizado para

correlacionar los valores de NDVI calculados en durante diferentes etapas de desarrollo del cultivo con valores de productividad en el tiempo obtenidos al final de sucesivas temporadas cosecha para obtener modelos de predicción de producción a partir de valores de NDVI, los valores experimentales obtenidos muestran correlaciones que en el mejor de los casos llegan a un 0,84 (Krishna Rao, Venkateswara Rao, & Venkataratnam, 2002). En experiencias realizadas en Costa Rica se han encontrado coeficientes de correlación en el NDVI con la productividad en toneladas (t) de caña por hectárea (ha) de alrededor de 0,66 (Alemán Montes, 2020).

Otras experiencias con el cultivo de caña de azúcar han evidenciado que índices como el radio simple de vegetación (SR o RVI) está mejor correlacionado con variables de estimación de biomasa como índice de área foliar (LAI) y la cantidad de tallos por metro cuadrado (m²) en modelos de ajuste que rondan valores entre un 97 y el 99% (Abdel-Rahman & Ahmed, 2008).

Cuadro 1. Principales proveedores de imágenes satelitales para análisis mediante teledetección.

| Proveedor | Sensor | Satélite/misión | Banda | Longitud de onda | Descripción/zona del EM | Referencia |
|--------------------------|------------|-----------------|-------|------------------|--------------------------------|--------------|
| NASA | MODIS | Terra/Aqua | 3 | 459 - 479 | VIS: visible azul | (NASA, s.f.) |
| | | | 4 | 545 - 565 | VIS: visible verde | |
| | | | 5 | 1.230 - 1.250 | SWIR: infrarrojo de onda corta | |
| | | | 6 | 1.628 - 1.652 | SWIR: infrarrojo de onda corta | |
| | Lansat 7 | Lansat 7 | 3 | 631 - 692 | VIS: visible rojo | (NASA, s.f.) |
| | | | 4 | 772 - 898 | NIR: infrarrojo cercano | |
| | | | 5 | 1.547 - 1.749 | SWIR: infrarrojo de onda corta | |
| | | | 6 | 10.310 - 12.360 | TIR: térmico infrarrojo | |
| | Lansat 8 | Lansat 8 | 3 | 636 - 673 | VIS: visible rojo | (NASA, s.f.) |
| | | | 4 | 851 - 879 | NIR: infrarrojo cercano | |
| | | | 5 | 1.566 - 1.651 | SWIR: infrarrojo de onda corta | |
| | | | 6 | 10.600 - 11.190 | TIR: térmico infrarrojo | |
| Agencia Espacial Europea | Sentinel 2 | S2A | 2 | 492,4 | VIS: visible azul | (ESA, s.f.) |
| | | | 3 | 559,8 | VIS: visible verde | |
| | | | 4 | 664,6 | VIS: visible rojo | |
| | | | 8 | 832,8 | NIR: infrarrojo cercano | |
| | | S2B | 2 | 442,3 | VIS: visible azul | |
| | | | 3 | 492,4 | VIS: visible verde | |
| | | | 4 | 559,8 | VIS: visible rojo | |
| | | | 8 | 833,0 | NIR: infrarrojo cercano | |

Determinación de estados de estrés del cultivo

Análisis de imágenes satelitales también se están utilizando para determinar situaciones de estrés tanto en sistemas ecoforestales (Liua et al, 2020) como en el cultivo de la caña de azúcar (Abdel-Rahman & Ahmed, 2008). Anteriormente se mencionó que las plantas sanas son altamente reflectivas en la zona del IR, por lo tanto es factible determinar si la plantación está sometida a condiciones de estrés mediante la medición de la energía que reflejan en esa zona del EM.

Se han realizado experiencias tratando de correlacionar imágenes satelitales del IR con índices calculados a partir de mediciones en tierra como son el contenido de agua en las plantas y en el suelo; a partir de estos valores se estima el índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI por sus siglas en inglés) como un indicador del estado hídrico de las plantas en condiciones postriego para determinar la eficiencia de los sistemas de riego en cuanto a cantidad y frecuencia (Veysia, Naseria, Hamzheh, & Bartholomeus, 2017).

Otros trabajos de investigación han utilizado otros criterios para relacionar el estado hídrico de los cultivos mediante modelos matemáticos más elaborados que involucran la evapotranspiración del cultivo, imágenes térmicas, imágenes IR y el NDVI (Alves, Filgueiras, Rodrigues, da Cunha, & Aleman, 2020). No obstante, la falta de información relacionada con el estado de desarrollo del cultivo limita los modelos restándoles precisión en las estimaciones, sin embargo permite determinar diferencias en el estado hídrico en diferentes situaciones, lo que supone que la técnica tiene potencial mejorando la métrica en incorporando otras variables de desarrollo del cultivo.

Otras aplicaciones a la condiciones de estrés en las que han utilizado imágenes aéreas a partir de sensores remotos han sido la estimación de daños por enfermedades, tal y como lo describen Apan y colaboradores (2004) quienes determinaron que se puede estimar el daño por roya naranja (*Puccinia kuehni*) en la caña de azúcar usando imágenes IR basándose en el cambio de la pigmentación de las plantas que se encuentran afectadas por la enfermedad. También se han utilizado este tipo de imágenes para detectar el estado nutricional del cultivo y las deficiencias de macronutrientes, especialmente nitrógeno (N) y potasio (K) en la caña de azúcar (Schmidt, Gers, Narciso, & Frost, 2001).

Conclusiones

Hay un gran potencial en el uso de imágenes aéreas como herramientas aplicadas a la productividad en el cultivo de caña de azúcar. Independientemente de la plataforma que se utilice para la obtención de imágenes aéreas es sumamente importante la disponibilidad y la medición de parámetros en tierra que permitan definir modelos matemáticos con buena precisión. Los esfuerzos que se han realizado para la estimación de productividad han permitido el desarrollo de modelos que arrojan estimaciones que pueden desviarse del resultado real en rangos que pueden ir desde las 2 y hasta las 6 t/ha de caña de azúcar dependiendo del modelo aplicado. Muchos de estos esfuerzos se han realizado con imágenes históricas obtenidas de diversos satélites, las cuales han correlacionado con los registros correspondientes de productividad, lo que limita mucho la precisión de los modelos al no disponer de información de otras variables que tienen que ver con el desarrollo del cultivo. A mayor calidad de la información, mejores son las posibilidades de aumentar la precisión de los modelos, las imágenes por sí solas no van a brindar todas las respuestas.

Una limitación que ha ralentizado la aplicación de estas herramientas en Costa Rica es la disponibilidad, calidad y costo de la obtención de las imágenes aéreas. Las imágenes satelitales disponibles sin costo pueden en algunos casos no ser una opción viable debido a la cobertura nubosa en la región y en el instante que la órbita del satélite pase por el sitio de estudio. En el caso de Costa Rica por ejemplo, obtener buenas imágenes de la región Norte es muy difícil debido al clima particular de la región en la que por una gran parte del año se encuentra nublado. Algunas misiones espaciales son por tiempo definido por lo que no se podrán disponer de imágenes por tiempo indeterminado. Las plataformas aerotransportadas son más flexibles, pueden evitar las limitaciones físicas que tienen las imágenes de satélite y permiten obtener imágenes de excelente calidad y alta resolución espacial, sin embargo el costo de las misiones de teledetección son muy altos lo que hace que los usuarios se planteen muy bien la relación beneficio/costo de estos servicios.

Los costos asociados a la obtención de imágenes en ocasiones conllevan altas expectativas en la calidad y cantidad de información que se pueda obtener de ellas. Es importante poner en contexto que la información que se pueda obtener del

análisis de imágenes dependerá de la calidad de los datos asociados. No es posible que una imagen aérea responda a todas las situaciones en el sitio en estudio si no se tienen suficiente cantidad de datos y calidad en las mediciones. Muchas de las experiencias con caña de azúcar en la correlación de datos con imágenes aéreas se basan en registros pasados que no cuentan con mayor información del comportamiento del cultivo en sus diferentes estadios. Es necesario en este sentido realizar trabajos para afinar estos modelos incorporando otras variables biométricas como altura y número de tallos para estimaciones de productividad por ejemplo.

Literatura citada

- Abdel-Rahman, E., & Ahmed, F. (10 de julio de 2008). The application of remote sensing techniques to sugarcane (*Saccharum spp. hybrid*) production: a review of the literature. (T. & Francis, Ed.) *International Journal of Remote Sensing*, 29(13), 3753–3767.
- Alemán Montes, B. (2020). Sistema de monitoreo espacio-temporal del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), a partir de información satelital, en CoopeVictoria R.L. Grecia, Costa Rica. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, UCR, San José, Costa Rica.
- Alves, É. d., Filgueiras, R., Rodrigues, L. N., da Cunha, F. F., & Aleman, C. C. (27 de octubre de 2020). Water stress coefficient determined by orbital remote sensing techniques. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(12), 847-853.
- Apan, A., Held, A., Phinn, S., & Markley, J. (20 de enero de 2004). Detecting sugarcane 'orange rust' disease using EO-1 Hyperion hyperspectral imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 25(2), 489–498.
- Casanova, V. (28 de junio de 2012). *Astrofísica y Física*. Recuperado el 18 de mayo de 2021, de *Astrofísica y Física*: <https://www.astrofisicayfisica.com/2012/06/que-es-el-espectro-electromagnetico.html>
- Doung, N. D., Anh, L. V., Thu, H. L., & Anh, N. K. (enero de 2014). Spectral signatures in landsat 8 oli image and their interpretation for land cover study. 35th Asian Conference on Remote Sensing 2014 (págs. 1-10). Hanoi: ACRS.
- ESA. (s.f.). MultiSpectral Instrument (MSI) Overview. (European Space Agency) Recuperado el 18 de mayo de 2021, de MultiSpectral Instrument (MSI) Overview: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument>
- EUMETSAT. (2012). The MSG channels. (G. Bridge, & A. Maas, Editores) Recuperado el 18 de mayo de 2021, de The MSG channels: http://www.eumetrain.org/satmanu/Basic/Basic_Channels/index.htm
- Geología web. (18 de mayo de 2021). geologiaweb. Obtenido de geologiaweb: <https://geologiaweb.com/planeta-tierra/atmosfera-terrestre/>
- Humboldt State University. (18 de mayo de 2021). GSP 2016 Introduction to remote sensing. Obtenido de GSP 2016 Introduction to remote sensing: http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP_216_Online/lesson2-1/reflectance.html
- Krishna Rao, P. V., Venkateswara Rao, V., & Venkataratnam, L. (2002). Remote sensing: a technology for assessment of sugarcane crop acreage and yield. (S. f. Promotion, Ed.) *Sugar Tech*, 4(3 y 4).
- Krishnavedala. (2012 de julio de 2012). Wikipedia. Recuperado el 18 de mayo de 2021, de Wikipedia: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20387691>
- Liua, N., Dengb, Z., Wangc, H., Luo, Z., Gutiérrez Juradob, H. A., Hea, X., & Guanb, H. (11 de julio de 2020). Thermal remote sensing of plant water stress in natural ecosystems. *Forest Ecology and Management*(476), 1-14.
- NASA. (s.f.). Landsat Science. (L. Rocchio, M. P. Taylor, Editores, J. G. Masek, Productor, & National Aeronautics and Space Administration) Recuperado el 18 de mayo de 2021, de Landsat Science: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-overview>
- NASA. (s.f.). Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. (B. Maccherone, Editor, S. Frazier, Productor, & National Aeronautics and Space Administration) Recuperado el 18 de mayo de 2021, de Moderate

Resolution Imaging Spectroradiometer:
<https://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>

Schmidt, E. J., Gers, C. J., Narciso, G., & Frost, P. (2001). Remote sensing in the South African sugar industry. *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists*(24), 241–245.

Van Leeuwen, B., & Vargas, R. D. (15 de julio de 2010). Proyecto UNESCO RAPCA. Recuperado el 18 de mayo de 2021, de Proyecto UNESCO RAPCA: <http://ns.bvs.hn/docum/unesco/Amenazas/Presentaciones%20Powerpoint/02%20Introduccion%20Sensores%20Remotos/Introduccion%20Sensores%20Remotos.PDF>

Veysia, S., Naseria, A., Hamzehb, S., & Bartholomeus, H. (26 de abril de 2017). A satellite based crop water stress index for irrigation scheduling insugarcane fields. *Agricultural Water Management*, 70-86.

Wikipedia. (16 de marzo de 2007). Wikipedia. Recuperado el 18 de mayo de 2021, de Wikipedia: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic_spectrum-es.svg

Yamazaki, F., & Liu, W. (2016). Remote sensing technologies for post-earthquake damage assessment: a case study on the 2016 Kumamoto earthquake. *6th ASIA Conference on Earthquake Engineering (6ACEE)*, (págs. 1-13). Cebu City, Philippines.

Recuerde que puede acceder los boletines en
www.imn.ac.cr/boletin-agroclima y en
www.laica.co.cr