

Teledetección y automatización en la agricultura del futuro

**Juan Luis Jacobo Cuéllar
Heriberto Guevara Rojo
Óscar Cruz Álvarez**

La agricultura es una actividad primaria que en la actualidad enfrenta desafíos importantes ante el crecimiento demográfico y la necesidad de incrementar la productividad para abastecer la demanda global de alimentos.

Existe la necesidad de incrementar la producción de los cultivos de manera sostenible, este desafío se puede lograr mediante el uso de diversas herramientas tecnológicas que incluyen la automatización de algoritmos en conjunto con sensores remotos, que pueden aportar datos relevantes para mejorar la planeación y toma de decisiones.

Además, la detección de cultivos permite realizar un monitoreo de la extensión agrícola y su evaluación, la gestión de los recursos, la detección de cambios de uso de suelo, la evaluación de riesgos agrícolas, entre otros. Gracias al desarrollo de las tecnologías para el monitoreo de cultivos mediante sensores remotos se ha logrado cambiar de modo significativo la manera en que se obtienen los datos.

Estas tecnologías combinan el uso de sensores remotos, imágenes satelitales, índices espectrales y análisis de datos que proporcionan toda la información de manera detallada sobre el estado de los cultivos.

LA REVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE LA TELEDETECCIÓN EN LA AGRICULTURA

La teledetección es la capacidad de obtener, a través de los sensores, información de un objeto o superficie sin estar en contacto directo con él, los sensores adquieren datos de la superficie terrestre, los cuales se procesan e interpretan generando información sobre sus características. Principalmente se basa en las propiedades del espectro electromagnético y la manera en que interactúa con los objetos o superficies en la Tierra.

El inicio y evolución de la teledetección proviene de dos grandes etapas, durante el siglo XX, previo a la década de 1960 había disponibilidad de fotografías aéreas como único recurso disponible para la observación de la superficie terrestre. Posteriormente, el lanzamiento de un satélite artificial por parte de la URSS y con los programas espaciales Mercury de los EE. UU. se obtuvieron las primeras imágenes de la superficie terrestre, asignando como tareas secundarias las capturas fotográficas. No obstante, el programa estadounidense TIROS-1 (Television Infrared Observation Satellite) se considera como el satélite que obtuvo las primeras imágenes para determinar patrones meteorológicos al integrar equipos especializados para la captura de la superficie, durante su periodo de funcionamiento logró tomar más de 22,000 fotografías.

En la Primera Guerra Mundial se implementó el uso de las imágenes aéreas como método de espionaje o reconocimiento de las zonas de batalla (Campbell y Wynne, 2011), posteriormente se comenzaron a utilizar para diferentes aplicaciones, incluyendo la geología, agricultura y cartografía. Para el periodo de la Segunda Guerra Mundial se desarrollaron dispositivos infrarrojos que no tuvieron éxito para la obtención de imágenes, estos dispositivos dieron pie al desarrollo de los distintos tipos de escáner ópticos, radiómetros y espectrómetros que se conocen en la actualidad.

Posteriormente, se establecieron planes para el monitoreo de la superficie terrestre como los

programas Earth Resources Technology Satellite (ERTS-1), conocido como Landsat-1 en la actualidad. Durante la década de 1970 este programa lanzó una serie de satélites LANDSAT (Landsat-1, Landsat-2 y Landsat-3).

En la actualidad se continúan colocando en órbita satélites de la misma serie, agregando instrumentos y sensores con grandes avances tecnológicos que tienen la finalidad del monitoreo de los recursos disponibles en la superficie terrestre. Además, mediante un esfuerzo mundial trabajan en conjunto en programas para colocar satélites en órbita (Sentinel, ASTER, SPOT, NOAA), creados con propósitos específicos (monitoreo de vegetación, detección de cambios en la superficie terrestre, recolectar datos meteorológicos, entre otros).

Existen dos tipos de sensores remotos (SR) (pasivos y activos) para el monitoreo de la superficie terrestre. Los SR pasivos son los que absorben la energía electromagnética que proviene de la luz emitida por el Sol. Su principal desventaja es que requieren luz solar para realizar las tareas y la cobertura de nubes, lo que complica obtener imágenes de calidad aceptable.

Por otro lado, los SR activos no dependen de la energía solar para cumplir con su objetivo, debido a que generan su propia energía. Utilizan microondas para transmitir energía al objeto de estudio, posteriormente ocurre el efecto de retrodispersión que finaliza el proceso al capturar la información emitida por dicho objeto. Sin embargo, estas imágenes suelen ser costosas. Además, es necesario contar con equipo especializado para su procesamiento y análisis (Di Bella *et al.*, 2008).

Estos tipos de sensores proporcionan imágenes que cuentan con distintos tipos de resoluciones que son indispensables para conocer las características de los SR y sus potenciales usos. La resolución de las imágenes se define como espacial, temporal, espectral y radiométrica. Explicado de manera general, la resolución espacial se refiere al tamaño del píxel, la resolución temporal de un SR es la frecuencia con la que puede capturar imágenes de un mismo objeto o superficie, la resolución espectral indica el número de bandas y el ancho de banda

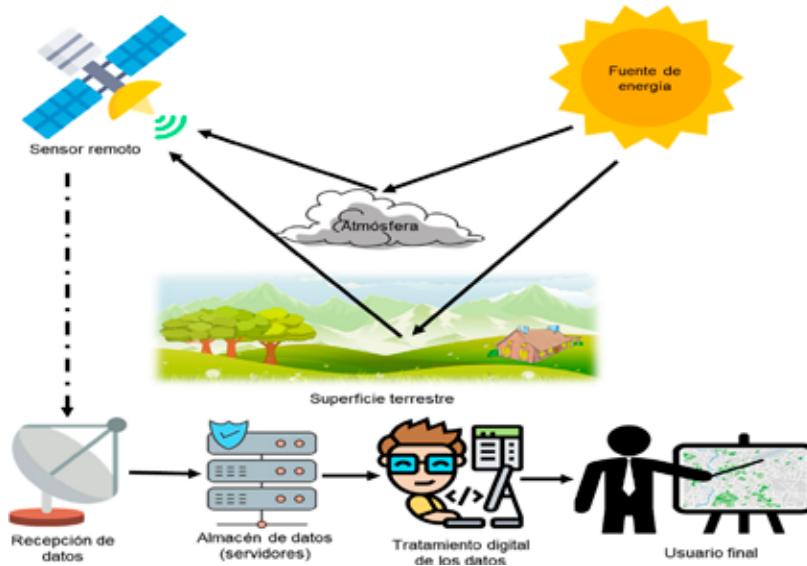


Figura 1. Representación esquemática de un sistema de teledetección. Imagen: Heriberto Guevara Rojo.

que posee el instrumento y la resolución radiométrica es la cantidad de niveles de grises que puede ser almacenado en las bandas del instrumento del SR (Campbell y Wynne, 2011). Los píxeles son las unidades mínimas que sirven para conformar una imagen, las imágenes que proporcionan los SR están formadas por miles o millones de estas unidades. Las imágenes de satélite poseen diferente resolución espacial que van entre los 30 metros y los 2.5 metros por cada píxel.

Como ejemplo, un tipo de SR pasivo es el satélite Landsat 8, puesto en órbita el 11 de febrero de 2013, que se utiliza principalmente para el monitoreo de la superficie terrestre. Cuenta con instrumentos que permiten obtener imágenes espaciales de media-alta calidad, está equipado con un radiómetro OLI (Operation Land Imager) capaz de mejorar la precisión cartográfica. Además, está integrado por un radiómetro infrarrojo TIRS (Thermal Infrared Sensor) que permite incrementar la capacidad para detectar características de temperatura superficial, análisis de transferencia de calor y humedad en agricultura, entre otras. Su órbita está cercana a los polos a una altitud de 705 km. La resolución espacial fluctúa entre 15 y 100 metros (sin remuestreo), así como una resolución radiométrica de 12 bits (Ihlen y Zanter, 2019).

En la actualidad existen diferentes herramientas aplicadas al monitoreo y estudio de la actividad agrícola como los VANT (vehículo aéreo no tripulado). Sin embargo, se considera que para el estudio de grandes extensiones es recomendable utilizar los sensores remotos, debido a que las imágenes generadas por los VANT requieren equipos con gran capacidad de procesamiento y almacenamiento y software avanzado para procesar los datos que se generan. Además, es necesario contar con personal

técnico especializado, una inversión inicial elevada por el costo de los equipos y licencias para realizar ciertas actividades como son el vuelo y procesamiento. Por lo tanto, se dificulta completar tareas con los equipos VANT.

A pesar de ello, son herramientas con alta eficiencia para realizar estudios de agricultura de precisión (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2017).

Por otro lado, se encuentran los SR de alta resolución como QuickBird, IKONOS, WorldView, entre otros. QuickBird fue lanzado el 18 de octubre del 2001. Orbita a una altitud de 600 km. Proporciona imágenes de alta resolución con datos pancromáticos de 61 centímetros y multiespectrales de 2.4 metros (Emery y Camps, 2017).

En el sector de la agricultura existe una gran cantidad de variables o indicadores que se derivan de la información proporcionada por los SR que son utilizados para analizar y comprender el estado de la vegetación, incluyendo las etapas fenológicas, humedad del suelo, temperatura superficial, estrés hídrico, disponibilidad de nutrientes y detección temprana de plagas, entre otras. Para los agricultores, investigadores, técnicos de campo y otros profesionales es de gran importancia contar con

este tipo de datos para gestionar e implementar prácticas sostenibles en el manejo de los recursos naturales (acuíferos, cuerpos de agua y suelos, entre otros) para incrementar la productividad de los cultivos.

Existen diferentes tipos de aplicaciones informáticas orientadas a la agricultura que son generadas mediante la combinación de las variables agrícolas, los SR y las firmas e índices espectrales. Por lo general, son de gran utilidad para la identificación de cultivos y la estimación de coberturas, evapotranspiración, área foliar, productividad estimada, entre muchas otras (Guzmán-Álvarez *et al.*, 2022).

El uso de índices espectrales permite analizar y caracterizar la informaciónpectral que se obtiene por cualquier tipo de SR que tenga la capacidad de emitir y capturar la energía reflejada. Estos se pueden obtener al combinar las bandas o los valores que se almacenan previamente dentro del espectro electromagnético (gama de colores visibles e invisibles que los sensores utilizan para capturar información de la Tierra desde el espacio), es decir, se realiza la combinación de los valores de reflectancia o radiancia de las bandas. Cada índice arroja información diferente y muestra características específicas de los objetos en la superficie terrestre (Paz-Pellat *et al.*, 2014).

Con respecto a la agricultura, en la actualidad se tienen una gran cantidad de aplicaciones que han servido para mejorar las prácticas agrícolas a nivel mundial.

Sin duda es un sector que cada día se adapta mejor al campo y resulta ser una herramienta indispensable para garantizar la productividad y eficiencia en el uso y control de los recursos no renovables disponibles. Además, estas herramientas han servido para incrementar las utilidades con respecto al gasto que implica el uso de agroquímicos (pesticidas, fertilizantes, entre otros) al lograr identificar y localizar de manera efectiva las zonas con deficiencias.

En resumen, los SR garantizan a los productores mejor calidad en sus cosechas y prácticas

de manejo sostenible para el medio ambiente, incluyendo el monitoreo de la vegetación, gestión de usos de suelo y recursos hídricos, entre otros.

En países como Estados Unidos o Chile muchas de las aplicaciones son desarrolladas por el sector privado e implican un costo adicional para el agricultor.

En México, ante la falta de cartografía detallada y bases de datos de parcelas agrícolas, el uso de estas tecnologías es limitada.

Por lo tanto, es necesario promover la disponibilidad de información actualizada y garantizar su acceso público, para ello se requiere de un gran esfuerzo y trabajo conjunto entre las dependencias encargadas del sector agrícola (SADER e INEGI) y los productores.

USO DE PLATAFORMAS PARA EL MONITOREO AGRÍCOLA

Los algoritmos de programación son una lista de pasos claros y ordenados para resolver un problema específico. En la actualidad se emplean en las ciencias de información geográfica como la geoinformática, debido a que permiten al usuario realizar distintos tipos de operaciones, de manera repetitiva, en distintas áreas del conocimiento.

Estos algoritmos aportan distintas soluciones como la automatización de geoprocesos complejos, análisis de datos geoespaciales y generación de modelos geográficos, entre otros. Además, pueden favorecer un incremento en el rendimiento y productividad general al mejorar la precisión en los análisis de grandes cantidades de datos, entre otras características (Buzai, 2012).

Existen diferentes plataformas para realizar el monitoreo agrícola, entre ellas, se encuentra Google Earth Engine (GEE), una plataforma que se ha generalizado debido a que aporta un entorno interactivo que permite desarrollar aplicaciones relacionadas con el análisis de datos geoespaciales. Además, cuenta con una extensa biblioteca de funciones que permite al usuario analizar, visualizar y proyectar los datos.

Como parte del entorno de esta plataforma de GEE, JavaScript es un lenguaje de programación

```

//58===== Leaf Chlorophyll index - LCI
var lci = median.expression ('((B8-B5)/(B8+B4))',{'B4':B4, 'B8':B8, 'B5':B5});
//Map.addLayer(lci,{min:-0.1699, max:0.7685, "palette":paleta_indices}, "lci", false);
//59===== Leaf water content index - LWCI
var lwci = median.expression ('log(1-(B8-B5))/ -log(1-(B8-B5))',{'B8':B8, 'B5':B5}); |
//Map.addLayer(lwci,{min:-0.0033, max:0.9078, "palette":paleta_indices}, "lwci", false);
//60===== Log ratio - LOGR
var logr = median.expression ('log(B8/B4)', {'B8':B8, 'B4':B4});
//Map.addLayer(logr,{min:-0.1639, max:2.5482, "palette":paleta_indices}, "logr", false);

```

Figura 2. Líneas de código JavaScript para índices de vegetación en GEE. Imagen: Heriberto Guevara Rojo.

que utiliza distintos tipos de datos básicos como las cadenas, números, listas, objetos y funciones. Además, está integrada por una biblioteca de funciones preestablecidas, lo que permite agregar comandos o líneas de código de manera fácil y sencilla. Aunque estas funciones no tienen la posibilidad de ser editadas para enfocarse en necesidades muy específicas y se tiene que optar por otras metodologías para realizar la misma operación.

Por otro lado, GEE permite el uso del lenguaje de Python, pero es aún más limitado que JavaScript, debido a que no cuenta con ayuda para las bibliotecas de funciones, tutoriales o documentos establecidos por parte de Google (Google, 2021).

En la ventana de editor de GEE (Code Editor) se pueden localizar distintas ventanas en donde visualizar los códigos que los usuarios suben a la nube (Scripts), la documentación de las funciones preestablecidas (Docs), el acceso a archivos subidos a la nube (Assets), una pestaña para obtener los valores proyectados en la ventana de mapas (Inspector) y la información de los metadatos de las imágenes.

Uno de los grandes beneficios que aportan este tipo de plataformas es el uso de datos en la nube, ello permite realizar análisis de datos de manera masiva; la gran mayoría de imágenes de satélite se encuentra accesible en la plataforma y con procedimientos de corrección atmosférica, radiométrica, entre otros, no se requiere una computadora de gran capacidad, ya que los geoprocesos se realizan en la propia nube (Perilla y Jean-François, 2020).

Como se ha mencionado, es una plataforma con deficiencias en cuanto al acceso y desarrollo de funciones, sin embargo, es un proyecto en constante actualización y desarrollo, por lo que es necesario

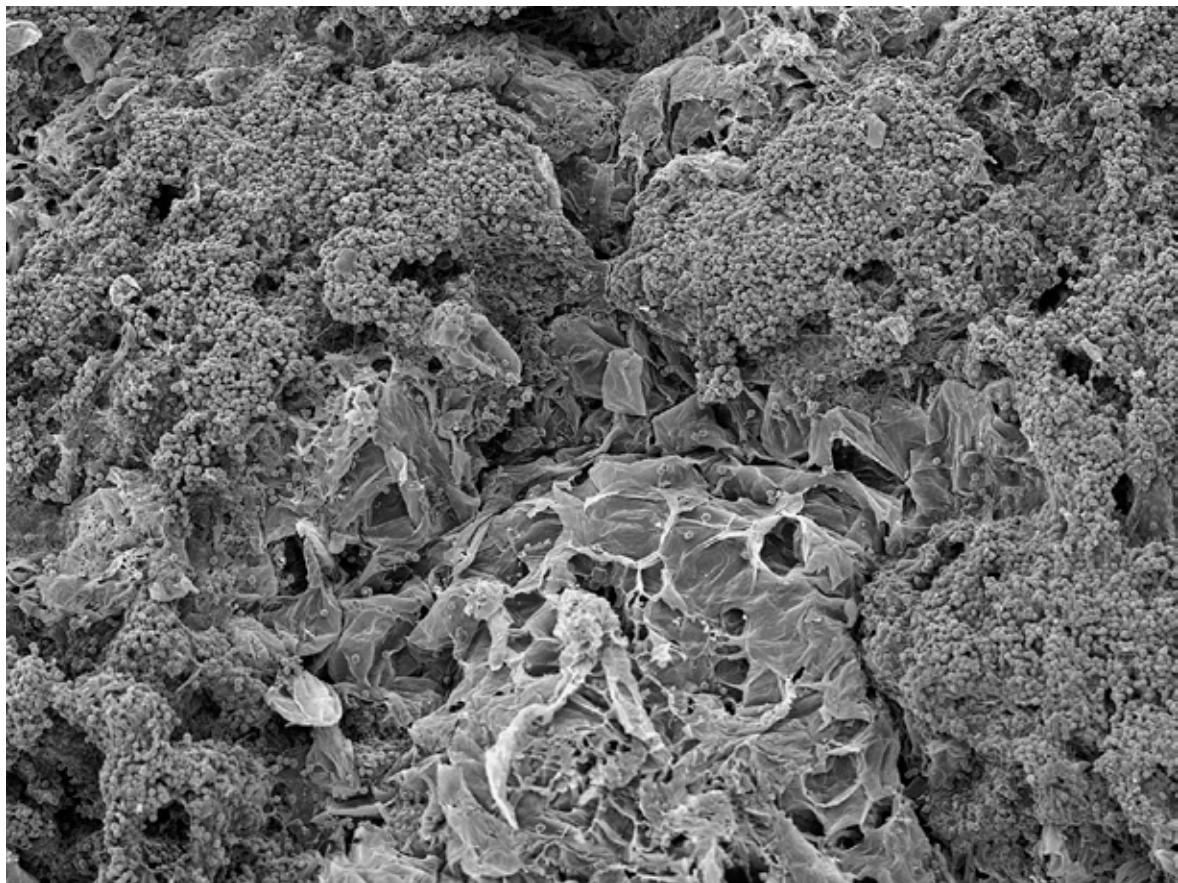
considerar estas limitaciones antes de seleccionar la plataforma para realizar un proyecto o, en su defecto, tomar en cuenta que es necesario complementarlas con otras plataformas especializadas.

Contar con una plataforma como GEE en la que se puede integrar el geoprocесamiento y la automatización de los procesos es una gran ventaja cuando es necesario realizar operaciones de manera repetitiva o trabajar con grandes extensiones de territorio. Además, permite trabajar desde la nube, tiene una interfaz dinámica y práctica para el usuario y una capacidad enorme para realizar operaciones computacionales.

CONCLUSIÓN

El uso de herramientas como las imágenes de satélite y los algoritmos de programación en el sector de la agricultura, conlleva ventajas para llevar a cabo tareas, que para los técnicos requieren grandes esfuerzos para estudiar coberturas de vegetación o detectar anomalías y deficiencias a nivel de parcela.

Por lo tanto, es importante sumar esfuerzos para que estas acciones puedan realizarse de manera conjunta, tomando en cuenta a los técnicos especializados en la materia de información geográfica o la capacitación profesional del personal encargado de las actividades agrícolas (técnicos y productores), para que cuenten con la habilidad de determinar y mejorar sus tareas de manejo agro-nómico, necesarias para un plan de desarrollo sostenible en el manejo y aprovechamiento de los recursos.



© Luz Noyola-Méndez. Microscopía electrónica de barrido del huitlacoche (*Mycosarcoma maydis*).

R E F E R E N C I A S

- Buzai GD (2012). Geografía y sistemas de información geográfica evolución teórico metodológica hacia campos emergentes. *Revista Geográfica de América Central* 2(48E):15-67.
- Campbell JB and Wynne RH (2011). *Introduction to remote sensing*. Guilford Press.
- Di Bella CM, Posse G, Beget ME, Fischer MA, Mari N y Veron S (2008). La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones. *Ecosistemas* 17(3):39-52.
- Emery W and Camps A (2017). *Introduction to satellite remote sensing: atmosphere, ocean, land and cryosphere applications*. Elsevier.
- Guzmán-Álvarez JA, González-Zúñiga M, Fernández JAS y Calvo-Alvarado JC (2022). Uso de sensores remotos en la agricultura: aplicaciones en el cultivo del banano. *Agronomía Mesoamericana* 33(3):48279.
- Ihlen V and Zanter K (2019). *Landsat 8 (L8) data users handbook*. US Geological Survey.

Ojeda-Bustamante W, González-Sánchez A, Mauricio-Pérez A y Flores-Velázquez J (2017). Aplicaciones de los vehículos aéreos no tripulados en la ingeniería hidroagrícola. *Tecnología y Ciencias del Agua* 8(4):157-166.

Paz-Pellat F, Romero-Sánchez ME, Palacios-Vélez E, Bolaños-González M, Valdez-Lazalde JR y Aldrete A (2014). Alcances y limitaciones de los índices espectrales de la vegetación: marco teórico. *Terra Latinoamericana* 32(3):177-194.

Perilla GA y Mas JF (2020). Google Earth Engine (GEE): una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube. *Investigaciones Geográficas* (101). <https://doi.org/10.14350/ig.59929>.

Juan Luis Jacobo Cuéllar
Heriberto Guevara Rojo
Óscar Cruz Álvarez
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad Autónoma de Chihuahua
mineraster@outlook.es
ocruz@uach.mx