RECONSTRUCCIÓN TRIDIMENSIONAL DE CULTIVOS: UNA NUEVA ERA EN LA AGRICULTURA INTELIGENTE

Gerardo Loreto Gómez
Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Uruapan
contacto: gerardo.lg@uruapan.tecnm.mx

¿Cómo los peces nos ayudan a entender la alimentación y sus desórdenes?

RESUMEN

La tecnología ha revolucionado en numerosos aspectos de nuestra vida cotidiana. Hoy en día, vemos automóviles autónomos navegando por calles concurridas, capaces de identificar y reaccionar ante todos los objetos a su alrededor con una precisión impresionante. ¿Cómo se ha logrado este avance significativo? La respuesta radica en la tecnología de reconstrucción tridimensional dedicada a percibir la forma y la estructura del mundo real a través de sensores y cámaras. Lo que permite tener una representación digital de un objeto o espacio, teniendo en cuenta sus características físicas como dimensiones, volumen y forma. Pero, ¿Qué implica exactamente esta tecnología y cómo funciona dentro de la agricultura para mejorar el rendimiento de los cultivos? A lo largo de este artículo conoceremos este interesante tema y como está cambiando la forma en que entendemos y manejamos los cultivos agrícolas a partir de información detallada y precisa proveniente de modelos digitales 3D.

Palabras clave: modelos tridimensionales, agricultura inteligente, reconstrucción 3D.

RECONSTRUCCIÓN TRIDIMENSIONAL Y SU IMPORTANCIA EN LA AGRICULTURA

La agricultura ha sido históricamente una actividad que depende en gran medida del conocimiento empírico y la experiencia acumulada por los agricultores. Este conocimiento tradicional les permite analizar diversas características de los cultivos con el fin de diagnosticar su estado actual y tomar decisiones informadas sobre su manejo, conocidos como parámetros morfológicos (Figura 1).

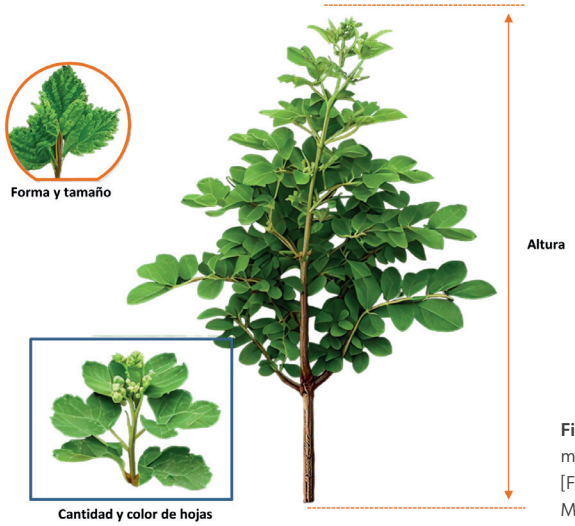

Figura 1. Parámetros morfológicos de plantas. [Fuente: Inteligencia Artificial META IA]

Los parámetros morfológicos de las plantas, tales como la estructura, el tamaño, la forma y el color de hojas, tallos y frutos, proporcionan información esencial sobre la salud, el desarrollo y el potencial productivo de los cultivos. La comprensión y el monitoreo de los parámetros morfológicos son fundamentales para mejorar la eficiencia de la producción agrícola. La altura de un cultivo o planta, por ejemplo, es una medición fundamental para evaluar su crecimiento, desarrollo y estado general. Una altura baja puede indicar limitaciones en el crecimiento debido a factores como estrés hídrico, deficiencias nutricionales, enfermedades o condiciones ambientales adversas. Por otro lado, una planta alta suele asociarse con un crecimiento vigoroso y un desarrollo adecuado, siempre que se mantenga dentro de los rangos óptimos para cada tipo de especie considerada. Sin embargo, una altura excesiva podría indicar un crecimiento desbalanceado, como en el caso de plantas que se alargan de forma anormal en busca de luz, un fenómeno conocido como etiolación. La interpretación de este parámetro varía significativamente según la especie de cultivo; por ejemplo, en cereales como el maíz o el trigo, una altura moderada es clave para evitar el fenómeno del "acame" que se presenta cuando los tallos o las espigas se doblan o caen debido a factores ambientales o fisiológicos como una fertilización excesiva con nitrógeno riego inadecuado, este problema se presenta en especies de cultivos de la familia de gramíneas (cereales y pastos), pero también puede afectar a oleaginosas, leguminosas y algunas hortalizas con tallos largos y frágiles.

Por otro lado, el número o cantidad de hojas refleja la capacidad fotosintética de la planta, que es crucial para la producción de energía y su crecimiento. Un número insuficiente de hojas en una planta puede ser indicativo de problemas de salud, como enfermedades, estrés hídrico o deficiencias nutricionales, lo que limita su capacidad para realizar la fotosíntesis de manera eficiente. La fotosíntesis es un proceso clave en el que las hojas transforman la energía lumínica, el dióxido de carbono y el agua en compuestos orgánicos, como azúcares, que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de la planta. Por lo tanto, una reducción en el número de hojas disminuye directamente la tasa fotosintética, lo que se traduce en una menor producción de materia orgánica y, en consecuencia, en un impacto negativo sobre el rendimiento y la calidad de los frutos. Además, un exceso de hojas puede generar un crecimiento vegetativo desmedido, lo que desvía la energía y los recursos hacia la producción de biomasa foliar en detrimento de la formación y maduración de los frutos. El tamaño y forma de las hojas es otro parámetro morfológico de importancia, hojas grandes y bien formadas son indicativos de una buena absorción de luz y un proceso fotosintético eficiente. La forma y el tamaño pueden variar según la especie, pero cualquier deformidad podría señalar problemas como plagas, enfermedades o deficiencias nutricionales, lo que indicaría que es necesario ajustar el riego, la fertilización, o aplicar tratamientos fitosanitarios si se observan hojas dañadas o deformes. El color de las hojas es un indicador visual clave del estado fisiológico y nutricional de una planta, ya que está directamente relacionado con la presencia y concentración de pigmentos fotosintéticos, principalmente la clorofila. Las hojas de color verde intenso reflejan una alta concentración de clorofila, lo que sugiere una salud óptima y una capacidad fotosintética eficiente. Por el contrario, la aparición de hojas amarillentas, una condición conocida como clorosis, suele ser indicativa de deficiencias nutricionales, particularmente de nitrógeno, un elemento esencial para la síntesis de clorofila y proteínas. Esta pérdida de pigmentación reduce la capacidad de la planta para absorber luz y convertirla en energía química, lo que afecta negativamente la producción de materia orgánica y, en última instancia, el crecimiento y rendimiento del cultivo.

En el ámbito de la agricultura de precisión, el color de las hojas se cuantifica mediante el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés), un parámetro ampliamente utilizado para evaluar la salud vegetal. El NDVI se calcula a partir de la reflectancia de la luz en las longitudes de onda del rojo y del infrarrojo cercano, que están directamente relacionadas con la actividad fotosintética y la biomasa foliar. Valores altos de NDVI (cercanos a 1) indican una vegetación densa y saludable, mientras que valores bajos (cercanos a 0) sugieren estrés, deficiencias nutricionales o escasa cobertura vegetal. Este índice es empleado para monitorear grandes extensiones de cultivos de manera rápida y no destructiva, permitiendo la detección temprana de problemas y la implementación de medidas correctivas. Del mismo modo, el color de los frutos puede indicar su madurez, calidad y es una guía para la aplicación de fertilizantes específicos o tratamientos fitosanitarios, y es además un indicador del momento óptimo para su cosecha.

Los parámetros morfológicos descritos son solo una pequeña muestra de la gran cantidad de datos que es requerido analizar durante el crecimiento de una planta [1], lo cual resulta un proceso complicado para el agricultor y que generalmente se realiza con base en la experiencia. Es aquí donde los métodos de reconstrucción tridimensional y el análisis de una gran cantidad de datos mediante sistemas informáticos adquieren importancia para la toma de decisiones en el manejo de cultivos.

PROCESO DE RECONSTRUCCIÓN TRIDIMENSIONAL

La reconstrucción tridimensional en la agricultura tiene como objetivo capturar de manera integral el entorno agrícola mediante el uso de diversos sensores, con el fin de generar modelos tridimensionales que representen fielmente la estructura y el estado de los cultivos. Esta tecnología permite a los agricultores obtener una visión más detallada y precisa del crecimiento de las plantas, facilitando el análisis de los parámetros morfológicos claves. El proceso de creación de un modelo tridimensional comienza con la adquisición de datos a través de sensores, como cámaras, LiDAR (acrónimo del inglés Light Detection and Ranging) o escáneres láser, que capturan información geométrica de los cultivos o plantas. Sin embargo, estos datos crudos deben someterse inicialmente a un proceso de selección y filtrado para identificar y extraer únicamente la información relevante que será utilizada en la generación del modelo. En esta etapa, se priorizan datos específicos como la geometría de las plantas (altura, forma y estructura), la densidad y distribución de las hojas y la textura superficial. Además, se descartan datos redundantes, ruidosos o irrelevantes, como mediciones erróneas o información ambiental no relacionada con los cultivos. Esta depuración asegura que solo los datos más precisos y significativos se integren en el proceso de reconstrucción. Una vez depurados los datos, se aplican diversos métodos computacionales, como algoritmos de procesamiento de imágenes, técnicas de fusión de datos o modelos basados en inteligencia artificial, para realizar la reconstrucción tridimensional. (Figura 2).

Figura 2. Reconstrucción 3D de plantas. [Fuente: Inteligencia Artificial META IA]

En la tecnología de reconstrucción tridimensional, los sensores desempeñan un papel crucial debido a que son los encargados de generar los datos que permiten crear los modelos virtuales. Los métodos de reconstrucción se han clasificado como activos y pasivos con base en la información que se obtiene de los sensores. Los métodos activos utilizan sensores como el LiDAR o láseres que permiten medir distancias con alta precisión, incluso en condiciones de poca luz [2].

Los sensores LiDAR funcionan enviando miles de pulsos de luz láser por segundo hacia la superficie que se desea escanear. Cuando estos pulsos de luz chocan con un objeto, como una hoja de una planta o el suelo, parte de la luz se refleja de vuelta al sensor. El tiempo que tarda este pulso en regresar se utiliza para calcular la distancia entre el sensor y el objeto. Este proceso se repite millones de veces, creando lo que se denomina una "nube de puntos" en 3D que representa la superficie del terreno y la vegetación en detalle.

Imagen obtenida de envato

Por otro lado, los métodos pasivos, se basan en imágenes capturadas con luz ambiental para reconstruir la geometría de los objetos. Las cámaras digitales son empleadas ampliamente para capturar imágenes desde diferentes ángulos que luego son combinadas para crear el modelo tridimensional, este proceso se conoce como fotogrametría [3]. El uso de cámaras monoculares en la reconstrucción tridimensional de plantas es un enfoque interesante y desafiante, ya que implica reconstruir una estructura tridimensional a partir de imágenes bidimensionales capturadas por una sola cámara, en este proceso al proyectar un objeto 3D a un espacio 2D, se pierde la información de profundidad. Para abordar la reconstrucción se realiza capturas de múltiples imágenes de la planta desde diferentes ángulos, moviendo la cámara alrededor de la planta o moviendo la planta frente a la cámara. Cada imagen proporciona una vista diferente, y al combinar estas imágenes, se puede reconstruir la estructura tridimensional. Las cámaras binoculares o estéreo capturan imágenes del mismo objeto desde dos posiciones diferentes en el mismo instante de tiempo, lo que da como resultado la creación de una disparidad binocular, definida como la diferencia en la posición de una misma escena vista por las dos cámaras separadas por una cierta distancia. Como resultado, los objetos en la escena aparecen en diferentes posiciones relativas en cada imagen. A partir de esta disparidad es posible calcular la distancia o profundidad a la que se encuentra el objeto, esto es similar a lo que realiza los ojos del ser humano. Las cámaras RGB-D (acrónimo del inglés Red, Green, Blue - Depth), son capaces de adquirir información de color y profundidad sobre el objetivo simultáneamente, las siglas RBG-D se refiere a los tres canales de color que la cámara captura y a la información de profundidad. La cámara RGB-D toma una imagen en color convencional utilizando estos tres canales y los combina para representar una imagen a todo color, además mide la distancia desde la cámara hasta los objetos en la escena mediante sensores que emiten luz infrarroja, creando un mapa de profundidad. Este mapa de profundidad asocia a cada píxel de la imagen una distancia específica, lo que permite saber cuán lejos está cada punto de la cámara. Un ejemplo es el sensor Microsoft Kinect® que se utiliza en consolas de video juegos.

Una vez recolectados los datos, se necesitan convertirlos en información útil para la reconstrucción utilizando técnicas de procesamiento de información definidas como algoritmos de reconstrucción. Estos algoritmos realizan tareas como la alineación correcta de los datos o de las imágenes provenientes de diferentes sensores para que coincidan en el espacio tridimensional (Registro de puntos), creación de mallas que una los puntos capturados para dar forma al objeto o cultivo (Reconstrucción de superficies), aplicar colores o texturas a la malla para hacer el modelo más realista (Texturización), eliminar datos erróneos o imprecisos para mejorar la calidad del modelo final (Filtrado de ruido), entre otros.

La reconstrucción tridimensional de cultivos se ha aplicado con éxito en diversos tipos de cultivos para evaluar parámetros morfológicos clave. Por ejemplo, en viñedos, se han utilizado modelos 3D generados mediante LiDAR y fotogrametría para analizar la arquitectura de las plantas y optimizar la poda, mejorando la exposición solar y la calidad de la uva [4]. En maíz y trigo, se han utilizado modelos 3D generados mediante enfoques activos y pasivos para analizar la arquitectura de las plantas [5]. El uso de imágenes tridimensionales en la agricultura es un ejemplo perfecto de cómo la tecnología puede ayudar a resolver problemas antiguos de nuevas maneras. Aunque aún estamos en las primeras etapas de su adopción, el potencial es enorme. A medida que estas herramientas se vuelvan más accesibles y asequibles, es probable que veamos un aumento en su uso, lo que podría significar cultivos inocuos, incremento en el rendimiento y una agricultura más sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. *Birchler, T. A., Rose, R. W., Royo, A., & Pardos, M. (1998). La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. Investigación agrária, sistemas y recursos forestales, 7(1/2), 109-121. Obtenido de: https://compostamasvi.com/ebooks/plantaideal.pdf*

2. *Yu, S., Liu, X., Tan, Q., Wang, Z., & Zhang, B. (2024). Sensors, systems and algorithms of 3D reconstruction for smart agriculture and precision farming: A review. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 224, p. 109229. doi: https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109229*

3. *Okura, F. (2022). 3D modeling and reconstruction of plants and trees: A cross-cutting review across computer graphics, vision, and plant phenotyping. Breeding Science, 72(1), 31-47. doi: https://doi.org/10.1270/jsbbs.21074*

4. *Schöler, F., & Steinhage, V. (2015). Automated 3D reconstruction of grape cluster architecture from sensor data for efficient phenotyping. Computers and Electronics in Agriculture, 114, 163-177.*

5. *Zhu, F., Thapa, S., Gao, T., Ge, Y., Walia, H., & Yu, H. (2018, December). 3D reconstruction of plant leaves for high-throughput phenotyping. In 2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data) (pp. 4285-4293).*