

# **Agricultura 4.0. El estrés hídrico en plantas estimado mediante un robot móvil.**

## **Agriculture 4.0. Water stress in plants estimated by a mobile robot.**

Madain Pérez Patricio (1).  
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.  
[madain.pp@tuxtla.tecnm.mx](mailto:madain.pp@tuxtla.tecnm.mx).

Lorena Elizabeth Balandra Aguilar\* (2). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Comitán,  
[lorena.ba@comitan.tecnm.mx](mailto:lorena.ba@comitan.tecnm.mx).

Ernesto Alonso Ocaña Valenzuela (3). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco, [ernesto.oaña@comalcalco.tecnm.mx](mailto:ernesto.oaña@comalcalco.tecnm.mx).

Juan Belisario Ibarra de la Garza (4). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Linares,  
[jibarra@itlinares.edu.mx](mailto:jibarra@itlinares.edu.mx).

---

\*corresponding author.

**Artículo recibido en octubre 04, 2024; aceptado en noviembre 11, 2024.**

### **Resumen.**

*El proyecto consiste en desarrollar una metodología para identificar de forma temprana el estrés hídrico en plantas en función del vigor en sus hojas e integrar un sistema de registro y análisis de información multimodal. Esto mediante el desarrollo de un algoritmo para la estimación de la profundidad o altura de las hojas a partir de una sola imagen usando métodos de deep learning, además establecer una relación matemática entre el cambio de altura de las hojas de la planta y el estrés hídrico, construyendo un sistema hidropónico automatizado para control de riego de las plantas, esto con la intención de formar recursos humanos especializados, construyendo un robot móvil autónomo para facilitar la adquisición de imágenes para el análisis de las plantas, utilizando sensores de humedad con tecnología IoT.*

**Palabras claves:** Deep learning, robot móvil, sensores, sistema hidropónico.

### **Abstract.**

*The project consists of developing a methodology to early identify water stress in plants based on the vigor of their leaves and integrating a multimodal information registration and analysis system. This by developing and algorithm to estimate the depth or height of the leaves from a single image using deep learning methods, also establishing a mathematical relationship between the change in height of the plant leaves and water stress, building an automated hydroponic system to control plant irrigation, with the intention of training specialized human resources, building an autonomous mobile robot to facilitate the acquisition or images for plant analysis, using humidity sensors with IOT Technology.*

**Keywords:** Deep Learning, hydroponic system, mobile robot, sensors.

## 1. Introducción.

Hoy día la tecnología se encuentra inmersa en casi todas las áreas de la ciencia en aquellas que se busca resolver una problemática o facilitar un trabajo, la tecnología esta presente en el sector agrícola, pues ha servido como una herramienta para el hombre y la naturaleza, agricultura y tecnología forman la agrotecnología. El procesamiento digital de imágenes es un campo que incluye varias ciencias tales como la óptica, electrónica, matemática, fotografía e informática combinar estas ciencias ayuda a la detección temprana y confiable de plagas para combatirlas sin químicos y sin afectar a las plantas, contribuyendo con ello a la salud del agricultor y de los consumidores. (Rosero, Cabrera, Anrango, Yandún y Lascano, 2019).

Los profesionales inmersos en esta áreas no están formados en conocimientos de tecnología, por lo que aplicar conocimientos automatizados en esta área se ha dificultado, pero con el paso del tiempo las personas involucradas se han familiarizado más con la aplicación de la automatización en la agronomía, a esto se le conoce como Agronomía 4.0. y las actividades que se hacían de forma manual para la detección de enfermedades de las plantas por ejemplo se ha ido facilitando con el uso de diferentes herramientas tecnológicas.

Para la adquisición de imágenes una hoja de la planta se captura a través de la cámara para su procesamiento, almacenamiento y transmisión. Esta imagen está en forma RGB (rojo, verde y azul) imagen a color. Para el preprocesamiento se aplican técnicas de mejoramiento de contraste y reducción de ruido, el suavizado de la imagen se realiza utilizando el filtro de suavizado. Luego se segmenta la imagen que es la división de la imagen en varias partes de mismas características o que tengan alguna similitud. Luego se extraen las características para identificar el objeto, se usa la extracción de color, textura, morfología y bordes. (Rosero, Cabrera, Anrango, Yandún y Lascano, 2019).

Este primer proceso que se tiene que hacer, para la captura de las imágenes se usará una cámara digital para captar de imágenes y un robot móvil para que haga el recorrido correspondiente.

Las tecnologías agrícolas están evolucionando rápidamente hacia un nuevo paradigma: la agricultura 4.0. Dentro de ese paradigma, la digitalización, la automatización y la inteligencia artificial juegan un papel importante en la producción de cultivos, incluyendo el control de malas hierbas y el control de plagas. (Santos y Kienzle, 2020).

Ahora bien, para fines del presente artículo se entiende por Agricultura 4.0 una agricultura que integra una serie de innovaciones para producir productos agrícolas, agricultura de precisión es un concepto de gestión agrícola basado en la observación, la medición y la respuesta a la variabilidad de los cultivos en diferentes campos. (Santos y Kienzle, 2020).

La agricultura 4.0 ofrece muchas posibilidades. Los drones y otras plataformas de detección pueden proporcionar información en tiempo real, producen imágenes, captan diferentes parámetros agronómicos y alertan a los agricultores sobre el progreso de un cultivo, el estado del suelo, la aparición o el riesgo de plagas y enfermedades. Un robot agrícola puede realizar las tareas repetitivas que reducen mano de obra, reduce las pérdidas de rendimiento debido a la detección tardía de plagas y enfermedades. (Santos y Kienzle, 2020).

La tarea puede resultar monótona y repetitiva, pero al lograr automatizarlo con el apoyo del robot móvil y la cámara servirá constantemente para implementarla en cualquier proyecto de automatización que requiera la producción de imágenes para evitar enfermedades en las plantas.

Al adoptar tecnología agrícola, se presentan desafíos como la propiedad y gestión de los datos digitales, el tener los conocimientos, capacidad y habilidad para manejar robots agrícolas, adaptación de los sistemas de explotación agrícola, el precio de compra, la infraestructura de Tecnologías de Información y el mantenimiento y servicio técnico. (Santos y Kienzle, 2020).

## 2. Métodos.

Para realizar el diseño y construcción de un robot móvil autónomo aplicado a la estimación del estrés hídrico en plantas, es importante desarrollar una metodología para identificar de forma temprana el estrés hídrico en plantas en función del vigor en sus hojas e integrar un sistema de registro y análisis de información multimodal.

### 1. Para lograr este objetivo es necesario entonces desarrollar un algoritmo para la estimación de la profundidad o altura de la planta a partir de una sola imagen usando métodos de deep learning.

Entendiéndose el concepto de deep learning como el aprendizaje profundo que es un subcampo de Machine Learning que usa una estructura jerárquica de redes neuronales artificiales, que se construyen de una forma similar a la estructura neuronal del cerebro humano, conectadas como una tela de araña, permitiendo hacer el análisis de una forma no lineal, aprender con el ejemplo, puede aprender a realizar tareas de clasificación directamente desde imágenes, texto o sonidos. Los modelos se entrenan utilizando un gran conjunto de datos etiquetados y arquitectura de redes neuronales que contienen muchas capas. (Centeno, 2019).

El aprendizaje profundo requiere grandes cantidades de datos etiquetados y una gran potencia de cálculo. (Centeno, 2019).

### 2. Además, se requiere un sistema hidropónico automatizado para control de riego de las plantas.

El buen control del riego es una de las mejores vías para capitalizar la gran inversión hecha en sistemas de hidroponía, el manejo del riego en hidroponía se hace midiendo manualmente el drenaje resultante de los riegos del día, obteniendo un comportamiento promedio. (Bribiesca, 2021).

### 3. Es necesario además formar recursos humanos especializados.

La formación de recursos humanos es uno de los desafíos que tiene la agroindustria 4.0, ya que un buen profesional de la agricultura no necesariamente es experto en tecnologías digitales y robótica, y se hace necesario crear la capacidad para la implementación de estos equipos automatizados para su uso correcto para que realmente se utiliza todo el potencial de los robots agrícolas. (Santos y Kienzle, 2020).

### 4. Construir un robot móvil autónomo para la adquisición de imágenes para el análisis de las plantas.

Este robot es relevante en el ámbito de la agricultura dada su capacidad para automatizar los procesos agrícolas y efectuar tareas sumamente complejas o repetitivas para un humano. Los robots agrícolas se valen de una serie de dispositivos y tecnologías para su adecuado funcionamiento como sensores de obstáculos, GPS, módulos de radiocontrol, sensores infrarrojos, conexión wifi, brazos de múltiples grados de libertad y las cámaras. (Arquiñego, Bustinza, Gastañaga y Rivas, 2022).

### 5. Desarrollar sensores de humedad de suelo y ambiente con tecnología IoT.

Estos sensores de humedad del suelo son extremadamente útiles para determinar los niveles de agua, facilitando considerablemente los esfuerzos de los agricultores y reduciendo los costos, el uso de éstos, eficientizan el riego habitual, ya que permiten a los agricultores estimar los niveles de agua sin necesidad de estar físicamente en el lugar. (Cherlinka, 2022).

Existen diferentes tipos de sensores de humedad con relación a su tecnología (Cherlinka, 2022):

- Sensores terrestres.
- Sensores aéreos.
- Sensores satelitales.

**6. Implementar un sistema de adquisición, registro y visualización multimodal, proveniente de imágenes y sensores.**

El registro de imágenes se define como el proceso de alinear imágenes de una misma escena capturadas bajo diferentes condiciones. Cuando estas imágenes corresponden a distintos espectros se denomina registro multimodal. (Cárdenas, 2018).

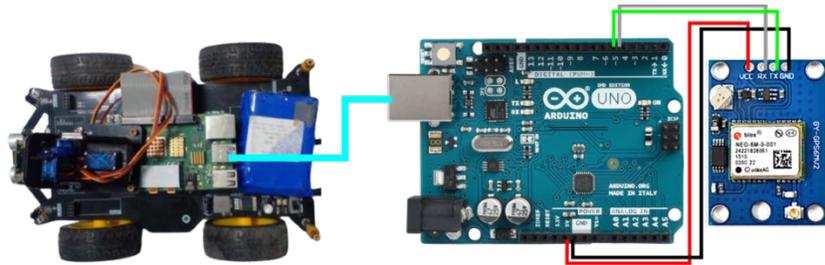
**3. Desarrollo.**

1. Establecimiento del sistema hidropónico preparando los materiales, sembrando las semillas, preparación de soluciones y automatización del sistema.

Se utiliza como laboratorio el cultivo abierto de maíz, ubicado en Tecnológico Nacional de México, Comitán, utilizando para este ejercicio agricultura abierta.

2. Diseño, construcción y evaluación del comportamiento del robot móvil autónomo en cultivos protegidos.

El prototipo corresponde a un modelo Raspbot de la empresa Yahboom, incluye una tarjeta embebida Raspberry Pi 4 Modelo B. Es un dispositivo de bajo costo y por lo tanto el rendimiento es lento comparado con otros dispositivos. Tiene una cámara Raspberry Pi Rev 1.3 de 5 Megapíxeles y una batería de litio de 12.6 V para su funcionamiento sin estar conectado a una fuente. Se conecta a una placa arduino para el envío de las coordenadas geográficas al robot mediante una comunicación serial.



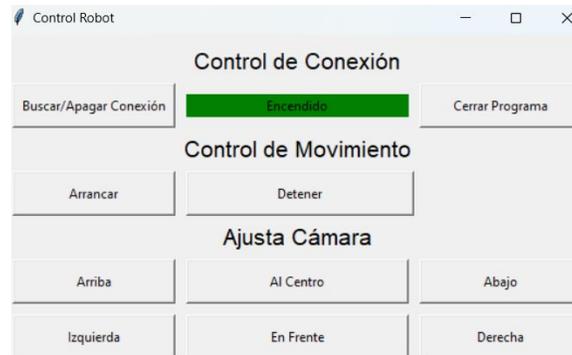
**Figura 1.** Diagrama de conexión del prototipo.



**Figura 2.** Prototipo.

La comunicación y el control se realizó mediante Bluetooth para aprovechar las áreas en donde no se tienen conexiones de internet, y ofrece un rango de 100 m.

Se desarrolló un programa en Python para la comunicación entre el robot y la placa arduino con opciones para el direccionamiento de la cámara para captura de imágenes.



3. Elaboración de algoritmo de estimación de estrés en plantas en donde se alimentarán las plantas en diferentes condiciones y se adquirirán las imágenes de color y de profundidad.

La comunicación en el programa para la adquisición de imágenes se realizó mediante Bluetooth y la recepción de las coordenadas geográficas del GPS.

El robot está listo para la adquisición de las imágenes y una vez elaborada la base de datos de las imágenes se pueda realizar las comparaciones con los sensores de humedad.

4. Desarrollo de sensores IoT de humedad y otros parámetros ambientales.
5. Implementación del sistema de registro y visualización de información.

## Conclusiones.

Al llevar a cabo el diseño y construcción de un robot móvil autónomo aplicado a la estimación del estrés hídrico en plantas, coadyuvara a desarrollar una metodología que permita identificar de forma temprana el estrés hídrico en plantas en función del vigor en sus hojas e integrar un sistema de registro y análisis de información multimodal. Esta información será en beneficio de los cultivos que se realicen ya que se podrá detectar con anticipación problemas de enfermedades de las plantas y posibles plagas, que al detectarla de manera anticipada permitirá actuar a tiempo sin perder la calidad de lo que se produce. La aplicación de diversas herramientas tecnológicas en el área de agronomía permite además el formar recursos humanos especializados que combinen cada día más aplicaciones tecnológicas en actividades del campo asegurando con esto la calidad de los productos.

## Créditos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto a través de la *Convocatoria Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2024 de los Institutos Tecnológicos Federales y Centros*.

## Referencias bibliográficas.

- Arquiñego, B., Bustinza, S., Gastañaga, G. y Rivas, J. (2022).** Diseño Mecatrónico de un Robot Móvil de detección de hongos y plagas en cultivos de naranjos. <https://www.urp.edu.pe/pdf/id/41572/n/robot-movil-de-deteccion-de-hongos-y-plagas-en-cultivos-de-naranjos>.
- Bribiesca, R. (4 de febrero de 2021).** El control del riego en hidroponía, <https://agrofacto.com/control-riego-hidroponico/>.
- Cárdenas, J. (Agosto de 2018).** Registro multimodal de imágenes VIS, SWIR y LWIR en hardware dedicado. Tesis [Magíster en Ciencias de la Ingeniería con Mención en Ingeniería Eléctrica] Universidad de Concepción, Chile.
- Centeno, A. (Julio de 2019).** DEEP LEARNING, Universidad de Sevilla, Trabajo de fin de grado, doble grado en Matemáticas y estadística, <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/90004/Centeno%20Franco%20Alba%20TFG.pdf>.
- Cherlinka, V. (3 de agosto de 2022).** Sensores de humedad del suelo: ¿para qué sirven?. <https://eos.com/es/blog/sensores-de-humedad-del-suelo/>.
- Rosero N, Cabrera J, Anrango M, Yandún M, Lascano S. (14 de septiembre de 2019).** Detección de enfermedades en cultivos de papa usando procesamiento de imágenes, Revista Cumbres Vol. 6 N° 1, Versión electrónica ISSN 1390-3365. <http://investigacion.utmachala.edu.ec/revistas/index.php/Cumbres>.
- Santos, S. y Kienzle J. (2020).** Agricultura 4.0 Robótica agrícola y equipos automatizados para la producción agrícola sostenible. <https://www.fao.org/3/cb2186es/cb2186es.pdf>

## Información de los autores.



**Madain Pérez Patricio** es graduado como Doctor en Ciencias en Automatización y Computación Industrial en 2005, por la Universidad de Ciencias y Tecnologías de Lille, Francia. Investigador y Docente desde 1997 en el Departamento de Posgrado y la Carrera en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Es miembro del Claustro Doctoral "Doctorado en Ciencias de la Ingeniería" perteneciente al Programa Nacional de Posgrados de Calidad, I.T. de Tuxtla Gutiérrez desde 2016. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel II.



**Lorena Elizabeth Balandra Aguilar** es Doctora en Educación por el Instituto de Estudios Universitarios en febrero de 2011, Maestra en Educación Superior por la Universidad Autónoma de Chiapas en febrero de 2001 y Licenciada en Sistemas Computacionales por la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla en abril de 1995. Docente desde 1996 del departamento de Sistemas y Computación en el Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Comitán, y del departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en el TecNM / Instituto Tecnológico de Puebla durante septiembre de 2016 a septiembre de 2021 y desde septiembre de 2021 a la fecha nuevamente en el TecNM / I.T. Comitán, reconocimiento de perfil deseable para profesores de tiempo completo desde julio de 2013 a la fecha. Miembro de Cuerpo académico en Formación desde 2015 y 2023, miembro del Sistema Estatal de Investigadores durante 2011-2012 y de la Red Nacional de Monitoreo y Recolección de datos desde 2024.



**Ernesto Alonso Ocaña Valenzuela.** Forma parte de la academia de Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecatrónica en el Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Comalcalco. Miembro de la Red Nacional de Monitoreo y Recolección de datos desde 2024. Reconocimiento de perfil deseable para profesores de tiempo completo. Líder de Cuerpo académico y Miembro de la Red Nacional de Monitoreo y Recolección de datos desde 2024. Sus áreas de interés son la manufactura avanzada y actualmente está enfocado en el área de visión artificial.



**Juan Belisario Ibarra De La Garza** es Doctorante en Ingeniería Aplicada por el Colegio de Formación Educativa Tenam en Agosto de 2024, Maestro en Gestión de Tecnologías de Información por la Universidad TecMilenio del Sistema Tecnológico de Monterrey, Campus las Torres, Abril de 2013 y es Ingeniero en Electrónica y Comunicación por ITESM Campus Monterrey en Diciembre de 1993. Docente desde 1994 del departamento de Sistemas y Computación en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Linares. Miembro de la Red Nacional de Monitoreo y Recolección de datos desde 2024.