

Diseño y construcción de un robot sembrador de semillas Design and implementation of a seed-sowing robot

H. Amores-Pérez^a, O. A. Alarcón García^b, Alejandre-Apolinar^a, I A. García-González^a

^a TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, 91096, Xalapa, Veracruz, México.

^b Universidad Anahuac campus Xalapa

Resumen

Este artículo presenta el diseño de un robot autónomo para la siembra de diversos cultivos con semillas de tamaño uniforme (3-4 mm). El objetivo principal es optimizar las labores agrícolas, reduciendo el esfuerzo, tiempo y mano de obra en comparación con los métodos de siembra tradicionales.

El robot integra componentes mecánicos y electrónicos. La etapa electrónica comprende sensores y actuadores para el control de distancias, posiciones y tiempos, así como la ejecución de las acciones de siembra. El sistema mecánico incluye una tolva de semillas, un mecanismo de perforación, un depósito de agua, una pala mecánica, un programa de selección de semillas y un sistema de control automatizado para la navegación y siembra. La locomoción se basa en un chasis adaptable a diferentes terrenos. La alimentación del sistema se realiza mediante baterías de litio recargables. Para la interacción con el agricultor, se utiliza un dispositivo móvil con comunicación inalámbrica y una aplicación Android con una interfaz hombre-máquina intuitiva.

Palabras Clave: Robot, Sembrador, Semillas, Automatización.

Abstract

This article presents the design of a robot for sowing seeds for various crop types where the seeds share a uniform sieve size of 3 to 4 mm. The intention of this implementation is to significantly assist farmers by reducing effort, time, and labor compared to traditional sowing methods. The construction of this sowing robot involves both mechanical and electronic components. The electronic stage consists of sensors and actuators that are fundamental to the robot's operation, as it is necessary to monitor distances, positions, and timings, and to execute the actions that allow for seed placement in the field. The mechanical aspect of the device includes a seed dispensing hopper, a perforation system for sowing, a water reservoir, a mechanical shovel, a program for selecting the seeds to be sown, and an automated control system to guide its movement and seed sowing. Its locomotion system is based on a chassis capable of navigating various terrain conditions. The electronics and motors are powered by rechargeable lithium batteries. To enable farmers to operate the robot, mobile devices with wireless communication are utilized. An Android application was developed with a human-machine interface that is sufficiently intuitive for easy operation of the user.

Keywords: Robot, Seed-Sowing, Seeds, Automation.

1. Introducción

El uso principal de las tierras dedicadas a la agricultura es generar alimentos. Las comunidades de agricultores son fundamentales para la economía en casi todas las partes del planeta. Se ha sostenido que la intersección de avances tecnológicos e innovaciones que impactan el crecimiento económico y social del sector agrícola representan un asunto

crucial para el estudio global relativo a la seguridad y la estabilidad en la provisión de alimentos a nivel mundial.

Actualmente, la agricultura no solo se considera como un sector sino con una visión ampliada que abarca la agroindustria, y particularmente la industria agroalimentaria. Una cuarta parte de la población reside en zonas rurales; Sin embargo, la contribución de la agricultura al producto interno bruto es inferior al 5%, la balanza comercial agrícola es deficitaria, particularmente las importaciones de alimentos

*Autor para la correspondencia: octavio.ga@xalapa.tecnm.mx

Correo electrónico: octavio.ga@xalapa.tecnm.mx (Octavio Augusto García Alarcon), hugo.ap@xalapa.tecnm.mx (Hugo Amores Pérez), salome.aa@xalapa.tecnm.mx (María Salomé Alejandre Apolinar), irma.ga@xalapa.tecnm.mx (Irma Angélica García González).

Historial del manuscrito: recibido el 04/11/2024, última versión-revisada recibida el 13/06/2026, aceptado el 06/07/2026, en línea (postprint) desde el 10/07/2026, publicado el 05/01/2027 DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v14i28.14149>



están aumentando ante la insuficiente producción nacional y la baja competitividad, la población rural está migrando en busca de trabajo e ingresos que la actividad agrícola ya no proporciona. Además, a pesar de la existencia de importantes recursos naturales, nuestro país ocupa el cuarto lugar en biodiversidad a nivel mundial.(Hurtado & Calderón, 2003).

En México, hay muchas personas dedicadas a la agricultura, los agricultores mexicanos enfrentan numerosos desafíos a diario. El principal problema al que se enfrenta el agricultor, es la jornada laboral, la falta de horas y salarios fijos. El agricultor que depende únicamente de su tierra debe plantar sus cultivos independientemente del día, de las condiciones climáticas y, a menudo, con riesgo de su salud debido a la exposición a una radiación solar cada vez más peligrosa.

En cuanto a los años de escolaridad, la población ocupada fue mayor en el rango de 4 a 6 años de educación, concentrando 947 mil trabajadores, de los cuales el 19,7% corresponde al empleo formal (186 mil) y el 80,3% corresponde al empleo informal (761 mil) (INEGI, 2024).

Específicamente, la fase de siembra juega un papel crucial en la determinación del rendimiento final del cultivo. Parámetros como la profundidad y la distribución a la que se colocan las semillas en el suelo influyen significativamente en el desarrollo de cada planta, cuando la profundidad es inadecuada o no uniforme, ciertas plantas experimentan un retraso en la emergencia, lo que dificulta su pleno desarrollo en el momento de la cosecha.

El presente trabajo presenta el diseño e implementación de una máquina robot de siembra de semillas que ayuda con el trabajo.(Barandiarán Gamarra, 2020).

2. Diseño de robots de siembra

Se llevó a cabo todo el proceso de diseño mecánico, desde el surgimiento del concepto hasta la elaboración de los planos técnicos requeridos para su producción, utilizando la interfaz del programa y sus herramientas de diseño, montaje y dibujo de piezas.

2.1 Diseño mecánico y estructural del robot de siembra.

Se utilizó un software de simulación llamado SolidWorks para diseñar el robot de siembra en un entorno virtual antes de construirlo en el mundo real. Se simularon los materiales y las dimensiones. Las piezas se modelaron en tres dimensiones y se crearon las vistas necesarias para la concepción de los dibujos.

Después de diseñar y modelar en SolidWorks, algunas piezas se imprimieron en 3D (Fig. 1).



Figura 1: Diseño en SolidWorks e impresiones 3D

Estas impresiones estaban destinadas a probar físicamente algunos de los mecanismos para ganar intuición y rediseñar, si es necesario, antes de mecanizar en metal (Fig. 2). Esto se hizo con el fin de reducir costos en las pruebas finales y ahorrar tiempo en los rediseños de metales. Inicialmente, se diseñó el chasis principal del robot.

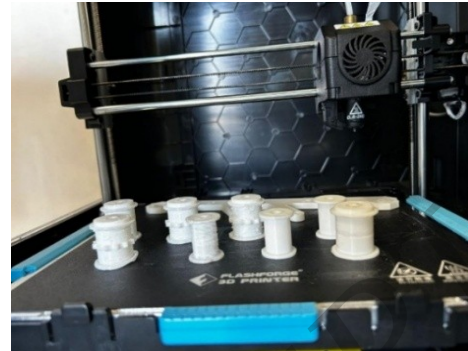


Figura 2: Impresiones 3D de rodamientos

El cual consiste en una placa metálica horizontal, sobre la cual se montan varios componentes del equipo, que incluyen: el tanque de líquido, la tolva dispensadora de semillas, el sistema electrónico, el sistema de siembra, la pala mecánica y un marco para soportar el sistema de orugas para la locomoción.

2.2 Sistema de seguimiento de locomoción

Un sistema de tracción de orugas y cadenas es un mecanismo de locomoción que utiliza orugas continuas en lugar de ruedas para el movimiento. Las orugas consisten en eslabones articulados que se engranan con ruedas dentadas, lo que permite un movimiento suave y estable sobre terrenos desafiantes como barro, arena, nieve y pendientes pronunciadas. Los componentes principales de este sistema son la banda continua que formaba la pista, las ruedas dentadas de transmisión que se acoplan a las pistas para transmitir la potencia del motor y generar movimiento (Fig. 3).



Figura 3: Integración de vías y cadenas

Luego está el rodillo de soporte que soporta el peso de la máquina y guía las orugas. Las ruedas locas que ajustan la tensión de la oruga para un funcionamiento óptimo y zapatas de garra que aumentan la superficie de contacto con el suelo y mejoran la tracción. Algunas ventajas son notables para utilizar este sistema, principalmente la excelente tracción que distribuye el peso de la máquina sobre una mayor superficie, reduciendo la presión sobre el suelo y evitando el hundimiento, la estabilidad que proporciona una base de

apoyo amplia y estable, ideal para terrenos irregulares y pendientes, la capacidad de carga que puede soportar Cargas pesadas y transportar grandes volúmenes de material y finalmente, la capacidad de ajustarse a diversas aplicaciones, desde maquinaria agrícola y de construcción hasta vehículos militares y de exploración.

Algunas desventajas son la velocidad limitada (que en este caso no es necesaria) y la complejidad de la construcción y las reparaciones. Se diseñó el sistema de pistas de locomoción, que comprende dos placas laterales conectadas con una disposición de rodillos, motores, ruedas dentadas, cadenas con accesorios especializados estratégicamente colocados para soportar la carga y un marco (Fig. 4). El bastidor tiene dos propósitos: garantizar la estabilidad de los rodamientos y alinear las dos pistas para evitar movimientos erráticos, manteniendo así la sincronización. Las orugas estarán equipadas con garras para facilitar la transmisión del movimiento a su superficie de contacto con el suelo durante el proceso de siembra. Las orugas son accionadas por dos motores, que proporcionan la energía para su movimiento y funcionan con baterías.



Figura 4: Sistema de riel y cadena en tamaño real

2.3 Tolva dispensadora de semillas

Una tolva dispensadora de semillas es un recipiente diseñado para almacenar y liberar semillas de forma controlada con fines agrícolas como la siembra o la voleo. Vienen en varios tamaños, desde pequeños de mano hasta grandes conectados a maquinaria y pueden almacenar diferentes cantidades de semillas. Las tolvas tienen un mecanismo para regular el flujo de semillas, asegurando una distribución constante durante la siembra, lo que se puede lograr por gravedad, un sistema de barrena u otros métodos. También están diseñados para proteger las semillas del clima y las plagas.

Al diseñar una tolva, se deben considerar factores como el tipo de semilla, la capacidad, el mecanismo de dispensación, la durabilidad y los materiales. El diseño de la tolva debe evitar atascos o flujos desiguales para diferentes tamaños y formas de semillas, su capacidad debe coincidir con el uso previsto, el mecanismo debe garantizar una distribución precisa con ajustes para la velocidad de siembra y debe estar hecho de materiales duraderos para resistir el desgaste (Fig. 5).

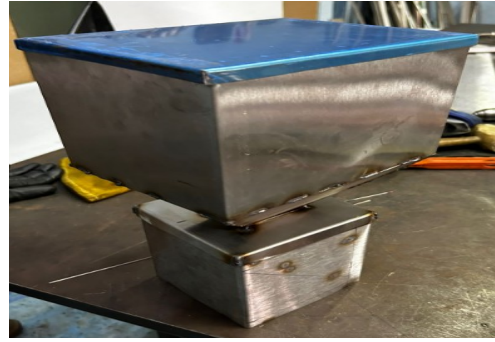


Figura 5: tolva dispensadora de semillas

La tolva dispensadora de semillas se diseñó en dos componentes: 1) la tolva de la base que almacena las semillas, y 2) el sistema de selección, que consiste en un mecanismo circular con dos aberturas rectangulares opuestas, dimensionado para acomodar solo cuatro o cinco semillas para la siembra. Este mecanismo es accionado por un motor, lo que hace que gire y seleccione las semillas antes de depositarlas en el sistema de siembra.

2.4 Sistema de perforación.

El sistema de perforación constituye uno de los módulos mecánicos esenciales del robot sembrador, encargado de generar huecos uniformes en el suelo para la deposición precisa de semillas. Este subsistema fue diseñado bajo criterios de eficiencia energética, durabilidad estructural y mantenimiento mínimo, integrando un mecanismo giratorio central y una tapa base que previene la obstrucción por acumulación de tierra durante la operación, (Fig. 6).

El elemento principal del sistema está conformado por una broca giratoria metálica acoplada a un motor reductor de corriente continua (DC), cuya configuración asegura un torque constante y una velocidad angular controlada, suficiente para perforar suelos agrícolas de textura media sin alterar su estructura. Esta disposición coincide con los hallazgos de Widiyanto y Juarto (2022), quienes destacan que la automatización de mecanismos de labranza mediante robots IoT mejora la precisión del sembrado y reduce la variabilidad en la profundidad de perforación, la profundidad promedio alcanzada oscila entre 3 y 5 cm (dependiendo del tipo de semilla a sembrar), en concordancia con los estándares de siembra automatizada descritos en proyectos de robótica agrícola (IEEE, 2025).



Figura 6: Mecanismo del sistema de perforación

El mecanismo motor–sistema de perforación constituye el conjunto encargado de transformar la energía eléctrica en

movimiento rotacional útil para la apertura controlada de los hoyos en el suelo. Este subsistema integra un motor de corriente continua (DC) con reductor de velocidad y un acoplamiento flexible que transmite el torque a la broca perforadora, garantizando un desempeño estable en suelos, el motor se fija a una placa soporte de acero y un vástago que baja y sube para realizar la perforación (Fig. 7).



Figura 7: Mecanismo motor- sistema de perforación.

2.5 Chasis

El diseño de un chasis es vital en la ingeniería de vehículos, ya que sirve como base del vehículo, proporcionando soporte estructural y puntos de montaje para varios componentes. También juega un papel clave en el rendimiento general del vehículo. El uso previsto del vehículo influye significativamente en el diseño del chasis. El chasis de un coche de carreras prioriza la ligereza y la alta rigidez para un manejo óptimo, mientras que el chasis de un camión pesado debe soportar cargas y tensiones significativas (Fig. 8). Los materiales del chasis suelen incluir acero para mayor resistencia y durabilidad, aluminio por su ventaja de peso o compuestos para una combinación de resistencia, ligereza y flexibilidad de diseño, aunque a un costo más alto. La selección de los materiales del chasis se debió al uso en exterior, la durabilidad en el tiempo, el peso y la resistencia para transportar todos los componentes.

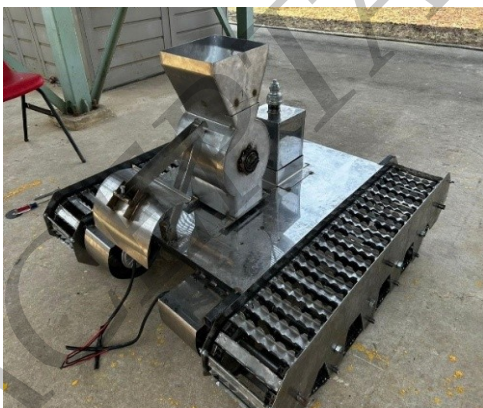


Figura 8: Chasis.

3. Electrónica

La electrónica juega varios papeles clave en este diseño. En este proyecto hay dos partes principales, la electrónica de potencia para mover motores y cargar en general y el sistema de comunicación para dar información de la posición

geográfica a través de GPS e interactuar con una app diseñada para android. Entre los elementos que la conforman se encuentran: los motores, conductores para la interconexión de componentes, la fuente de poder, sensores, sistema de control a base de microcontroladores, el sistema de comunicación que opera mediante protocolo WiFi/Bluetooth y GPS.

El sistema de control está basado en un microcontrolador ATmega328P de la plataforma Arduino. Esta placa recibe señales de varios sensores, incluido un acelerómetro y sensores para el extremo de la sembradora, la tolva de semillas, entre otros. Esta información se procesa para tomar decisiones como cuándo perforar, cuándo liberar semillas y hasta dónde avanzar. Este mismo microcontrolador también envía señales a las etapas del controlador del motor, que consisten principalmente en activar el puente H para controlar los diversos motores.

Para el control remoto, se utiliza un módulo Bluetooth para recibir información de un teléfono que ejecuta una aplicación dedicada. Esta aplicación de Android envía señales para mover el robot hacia adelante, hacia atrás y para girar a la izquierda o a la derecha. Actualmente se están realizando pruebas del sistema GPS para determinar el terreno para la trayectoria del robot o para un posible mapeo utilizando métodos alternativos.

4. Metodología

El desarrollo de robots agrícolas automatizados constituye una tendencia clave dentro de la agricultura de precisión, al permitir optimizar el uso de recursos, reducir tiempos operativos y aumentar la productividad del campo (González et al., 2021). El presente proyecto tiene como objetivo diseñar y construir un robot sembrador controlado de forma remota mediante una red inalámbrica, utilizando herramientas de simulación computacional y tecnologías de automatización modernas.

La primera etapa consiste en el diseño mecánico del robot utilizando el software SolidWorks, que permite crear modelos tridimensionales y realizar simulaciones estructurales, cinemáticas y dinámicas (Pérez & Ramírez, 2020).

En esta fase se definen los subsistemas principales: el chasis, el sistema de tracción, el módulo de selección de semillas, el perforador de suelo, el sistema de riego y el compartimiento electrónico. Las simulaciones se aplican para identificar interferencias mecánicas y optimizar la geometría de los mecanismos antes de la fabricación (Ruiz et al., 2022).

Con base en los modelos generados, se fabrican las piezas a escala mediante impresión 3D, lo que permite validar el ensamblaje y funcionamiento de los mecanismos a bajo costo y en menor tiempo (Martínez & López, 2019).

Esta fase busca comprobar la movilidad del sistema, el acoplamiento de engranajes, la disposición de los servomotores y la ergonomía de los componentes. Las pruebas funcionales sobre el prototipo permiten realizar ajustes de diseño antes de la fabricación final en acero.

Una vez validados los prototipos, las piezas se construyen a tamaño real en acero, seleccionando materiales estructurales resistentes a la fatiga y a la corrosión (ISO, 2019).

Se aplican procesos de corte, doblado y soldadura controlados por control numérico por computadora (CNC) para garantizar precisión dimensional. Este material otorga rigidez y durabilidad en las condiciones del entorno agrícola (López & Montoya, 2020).

Posteriormente, se desarrolla la automatización integral del robot, conformada por los siguientes subsistemas:

Sistema de selección de semillas: controlado por drivers de control a pasos para posicionar el actuador que garantizan la liberación individual de cada semilla (Ortiz & Hernández, 2021).

Sistema perforador: equipado con un actuador giratorio y motorreductor es controlado por un driver de control a pasos y un sensor electromecánico para ajustar la profundidad de siembra según el tipo de cultivo.

Sistema de riego: basado en una bomba controlada por un driver PWM para dosificarla cantidad necesaria de líquidos.

Sistema de avance: controlado por un microcontrolador mediante algoritmos y un sistema de navegación conformado por sensores orientación y posición, garantizando precisión en la distancia entre hileras (Ramírez & García, 2022).

La programación de los microcontroladores se realiza en C/C+++, integrando sensores de posición, sensores de distancia, sensores electromecánicos, drivers y módulos inalámbricos (LORA y bluetooth) para la comunicación remota. El control jerárquico se organiza en dos niveles:

Control local del hardware (Arduino mega).

Supervisión y envío de comandos mediante una interfaz desarrollada en una aplicación móvil (García & Salgado, 2020).

El control remoto del robot se efectúa a través de una red inalámbrica, implementando protocolos de comunicación seguros (TCP/IP y MQTT). Esto permite el monitoreo de variables operativas como velocidad,

Posición y estado de los sistemas (Chávez & Medina, 2021).

La comunicación se refuerza mediante rutinas de seguridad que aseguran la continuidad de la operación ante fallos de conexión, activando modos de parada o retorno automático.

Finalmente, se realizan pruebas de campo en terrenos controlados para verificar el desempeño del robot. Se evalúan indicadores como:

Precisión de siembra (± 5 cm).

Profundidad uniforme de perforación.

Cantidad de semillas correctamente depositadas.

Mediante una comunicación serial, el microcontrolador recibirá la información desde la aplicación del dispositivo móvil y comenzará el proceso del sembrado. Se buscará que el robot en movimiento pueda cumplir su trayectoria sin problema, y en caso de que surja un obstáculo imprevisto, con la ayuda de sensores poder esquivarlo y retomar la trayectoria original.

5. Discusión

El desarrollo del robot sembrador controlado vía remota mediante una red inalámbrica confirma la factibilidad de combinar diseño asistido por computadora con técnicas de manufactura digital y automatización aplicada a la agricultura de precisión. El modelado y análisis mediante herramientas CAD/CAE permitió validar la cinemática y la integridad estructural del conjunto antes de la fabricación física, lo cual se alinea con estudios previos que subrayan la importancia de la simulación como etapa clave para reducir errores y costos en el desarrollo de robots agrícolas (Liu, 2022).

La estrategia de prototipado rápido mediante impresión 3D resultó especialmente útil para validar geometrías, tolerancias y acoplamientos mecánicos en fases tempranas del proyecto. La literatura reciente muestra que la manufactura aditiva

facilita iteraciones más rápidas y económicas, contribuyendo a mejorar el diseño funcional y a acelerar la transición hacia la fabricación en materiales metálicos para la versión final (Crisóstomo, 2021; Martínez & López, 2019).

Durante la integración de los subsistemas de automatización, selección de semillas, perforación, dosificación de riego y navegación surgieron desafíos técnicos relacionados con la sincronización de actuadores y la robustez de la comunicación inalámbrica. En entornos controlados, las redes IoT y los protocolos estándar demostraron ser adecuados para la teleoperación y la telemetría; sin embargo, la literatura advierte que la eficiencia en campo depende en gran medida del diseño de la arquitectura de comunicaciones y de las rutinas de tolerancia a fallos (Dhanaraju et al., 2022; Mohamed, 2021).

Desde una perspectiva humanista, el robot sembrador no busca sustituir la labor agrícola, sino potenciar la productividad y reducir la carga física del trabajo manual. Este enfoque responde a la visión de una agricultura 4.0 inclusiva y sostenible, donde la tecnología actúa como facilitadora del bienestar social y del uso responsable de los recursos naturales (Mohamed, 2021; FAO, 2023).

Resultados

La fase experimental del proyecto permitió evaluar el desempeño del robot sembrador a partir de tres etapas principales: simulación, prototipado y automatización.

En la etapa de simulación, mediante SolidWorks, se validaron los parámetros cinemáticos y estructurales de los sistemas mecánicos, logrando identificar interferencias en el acoplamiento del sistema de perforación y el mecanismo de dosificación de semillas. Las pruebas virtuales posibilitaron una reducción del 30 % en el tiempo de corrección de diseño, en comparación con un proceso de desarrollo directo sin simulación, lo que coincide con lo reportado por Shamshiri et al. (2020) sobre la eficiencia del modelado asistido por computadora en robótica agrícola.

Durante la fase de prototipado en impresión 3D, se fabricaron piezas a escala 1:3 para validar su compatibilidad, movilidad y equilibrio estructural. Este procedimiento facilitó la optimización del peso total del robot, reduciéndolo en un 15 % antes de su manufactura en acero. Asimismo, se verificó la precisión de ensamblaje y la alineación del eje de perforación, confirmando la utilidad de la manufactura aditiva como herramienta de verificación previa (Crisóstomo, 2021).

En la etapa de automatización, se integraron los sistemas de control del avance, la selección de semillas, la perforación y el regado de líquido, conectados mediante una red inalámbrica de comunicación basada en módulos IoT. Las pruebas de campo controladas mostraron una tasa de precisión de siembra del 97 % en terrenos homogéneos, con una latencia promedio de transmisión de 1.3 s, así como algunos datos de tiempo de sembrado, distancias y número de semillas depositados de forma manual y de forma automática con el robot, (tabla 1 y tabla 2).

Es importante mencionar que cada ciclo consiste en realizar la perforación en el suelo, depositar la semilla, rellenar la perforación, depositar agua y avanzar a la siguiente perforación.

Como podemos observar en el sembrado manual presenta alta variabilidad debido al esfuerzo humano, precisión al depositar las semillas y ritmo de trabajo, por lo que la dispersión entre pruebas es amplia.

Tabla 1. Sembrado manual 10 mts

	prueba 1			prueba 2			prueba 3			prueba 4		
ciclo	distanci a	num de semillas	tiemp o	distanci a	num de semilla s	tiemp o	distanci a	num de semilla s	tiemp o	distanci a	num de semilla s	tiemp o
	0	2	13.5	0	2	12.81	0	2	12.15	0	2	12.48
2	43	2	14.29	38	2	12.5	40	2	11.4	39	2	11.96
3	48	2	13.03	40	2	11.58	40	2	12.61	40	2	12.09
4	43	2	13.21	44	2	12.81	30	2	12.42	37	2	12.61
5	44	2	14.78	50	2	11.59	38	2	11.7	44	2	11.64
6	49	2	13.09	45	2	12.63	35	2	11.06	40	2	11.84
7	56	2	12.72	43	2	12.02	39	2	11.54	41	2	11.74
8	53	2	12.62	40	2	12.67	34	2	12.71	39	2	12.69
9	60	2	13-18	36	2	12.01	38	2	11.02	37	2	12.01
10	53	2	13.11	38	2	13.3	36	2	11.57	37	2	12.43
11	70	2	12.39	38	2	11.35	35	2	11.39	36	2	11.87
12	65	2	13.35	42	2	13.37	35	2	11.41	38	2	11.36
13	60	2	13.32	47	2	12.17	38	2	11.9	42	2	12.03
14	82	2	11.27	42	2	12.41	35	2	11.43	38	2	11.92
15	60	2	12.88	44	2	11.99	38	2	11.1	41	2	11.04
16	75	2	13.61	46	2	11.79	38	2	11.2	38	2	11.49
17	60	2	14.57	40	2	13.03	36	2	11.21	38	2	12.12
18	55	2	12.37	40	2	12.36	40	2	11.12	40	2	11.74
19				32	2	11.1	38	2	12	35	2	11.55
20				38	2	10.9	30	2	12.83	34	2	11.88
21				39	2	12.6	32	2	11.83	35	2	12,21
22				38	2	11.09	28	2	12.14	33	2	11.11
23				38	2	11.5	28	2	11.75	33	2	11.62
24				40	2	11.98	38	2	11.75	39	2	12.85
25				39	2	11.8	39	2	12.05	39	2	11.92
26				38	2	11.63	30	2	12.64	32	2	12.13
27							36	2	11.16	34	2	12.08
28							29	2	12			
29							30	2	12.52			
ciclos												
totales												
	18			26			29			27		

Las distancias son variables, desde 28 hasta 82 cm, presentando baja precisión espacial, dependiendo del cansancio, precisión, terreno y ritmo. Al no existir un patrón constante, afecta la densidad poblacional del cultivo, la competencia entre plantas y por lo tanto su rendimiento final. Por otro lado, al realizarlo de manera automática con el robot los tiempos por ciclo son mucho más consistentes entre 16.5 y 18.3 s., aunque el robot es más lento por ciclo, mantiene una estabilidad muy alta, prácticamente sin variaciones bruscas, los ciclos son fijos, 24 ciclos en las pruebas de 10 m, equivalentes a ≈ 41.6 cm por hoyo, esto hace que las distancia sean totalmente constante, lo que mejora la distribución del cultivo, la homogeneidad y el rendimiento por superficie.

Estos resultados evidencian la viabilidad de los sistemas inalámbricos para entornos agrícolas en pequeña y mediana escala, conforme a lo propuesto por Dhanaraju et al. (2022) y Rehman et al. (2022).

Finalmente, el sistema logró completar un ciclo automatizado de siembra, perforación y riego en un tiempo promedio de 53 s por metro lineal, con una autonomía de energía de 3 horas continuas. Estos indicadores muestran que el prototipo satisface las expectativas de funcionalidad y rendimiento planteadas en la etapa de diseño.

Tabla 2. Sembrado automatizado con el robot 10 mts

prueba 1			prueba 2		prueba 3		prueba 4	
ciclo	tiempo	num de semillas	tiempo	num de semillas	tiempo	num de semillas	tiempo	num de semillas
1	18.02	2	17.77	2	17.3	1	17.71	2
2	18.05	2	17.63	2	18.32	2	17.4	3
3	17.42	3	17.67	2	17.73	2	17.65	2
4	17.73	2	17.85	3	17.81	2	17.93	2
5	17.5	2	17.83	2	17.6	2	17.91	3
6	17.09	2	17.71	2	17.73	3	17.7	2
7	17.5	4	18	3	17.91	2	17.53	4
8	17.24	2	17.74	2	17.85	2	17.79	2
9	16.78	2	18.1	2	17.68	2	17.9	2
10	16.5	2	18.03	3	17.8	2	17.67	4
11	17.55	3	17.53	2	17.72	2	17.82	2
12	18.24	2	17.7	2	17.65	2	17.68	2
13	17.2	2	17.71	3	17.73	2	17.9	2
14	17.83	2	17.7	2	17.54	3	17.67	3
15	17.6	4	17.76	2	17.9	2	17.85	2
16	17.84	2	18	3	18.2	1	17.6	2
17	17.58	3	17.64	2	17.35	2	17.54	2
18	17.92	2	17.57	2	17.55	4	18.1	2
19	17.57	2	17.71	4	17.76	2	17.8	2
20	17.78	2	17.55	2	17.88	2	17.92	4
21	18.11	2	18.5	3	17.69	3	17.67	2
22	17.53	3	17.6	2	17.76	2	18	3
23	17.55	2	17.68	2	17.4	2	17.54	2
24	16.85	3	17.77	2	17.9	2	17.87	2

6. Conclusión

Este documento presenta el diseño de un robot de siembra de semillas capaz de manejar varios tipos de semillas (tamiz de 3-4 mm). El robot consta de un chasis, un sistema de locomoción de orugas y cadenas, un sistema de siembra para la colocación de semillas y sistemas de comunicación que permiten el control remoto y GPS. El método de comunicación GPS, se ajusta para definir límites del terreno para la navegación. Actualmente, se están realizando pruebas de siembra en diversos terrenos para evaluar la eficiencia del robot en comparación con los métodos de siembra tradicionales.

Este trabajo está patentado por el líder del proyecto, el Dr. Hugo Amores. Además de los ajustes electrónicos, el equipo está trabajando en modificaciones mecánicas y accesorios para mejorar el rendimiento del robot.

El desarrollo del robot sembrador controlado vía remota mediante una red inalámbrica representa un avance significativo hacia la automatización accesible en la agricultura de precisión. Los resultados demuestran que el uso de simulación computacional, manufactura aditiva y control inalámbrico puede integrarse de manera efectiva para diseñar sistemas mecatrónicos funcionales, escalables y sostenibles.

El sembrado manual muestra tiempos menores por ciclo (11–14 s), pero presenta una gran variabilidad tanto en la distancia de los hoyos como en la uniformidad del procedimiento, lo cual afecta significativamente la consistencia del establecimiento del cultivo.

Por el contrario, el robot presenta tiempos ligeramente mayores (16–18 s), aunque con una estabilidad notable, manteniendo una separación fija de 24 hoyos por cada 10 metros (en las pruebas realizadas), controlando la aplicación de agua y el movimiento con alta repetitividad. En general, aunque el método manual es más rápido, el robot ofrece una siembra más homogénea, repetible y precisa, factores clave para mejorar el rendimiento agrícola, optimizar la densidad de plantas y reducir la variabilidad asociada al trabajo humano.

Desde el punto de vista técnico, la metodología empleada permitió optimizar recursos, reducir errores de diseño y mejorar la eficiencia en la etapa de implementación. La modularidad del sistema facilita futuras adaptaciones, como la incorporación de sensores de humedad o cámaras de visión artificial, lo cual ampliará las capacidades del robot hacia una agricultura más inteligente y autónoma.

En el plano social, este tipo de innovación tecnológica se orienta hacia la reducción del esfuerzo físico de los productores y la mejora de la productividad en zonas rurales, sin desplazar la mano de obra humana, sino complementándola con herramientas que promuevan el bienestar y la sostenibilidad ambiental.

Finalmente, se concluye que la integración entre el diseño virtual, la manufactura digital y la automatización remota constituye un modelo replicable en proyectos de educación superior y en emprendimientos tecnológicos, aportando al desarrollo de competencias científicas y técnicas en el ámbito de los sistemas computacionales aplicados a la agricultura moderna.

Bibliografía

- Chávez, L., & Medina, R. (2021). Implementación de redes inalámbricas en sistemas mecatrónicos agrícolas. *Revista de Innovación Tecnológica*, 15(3), 45–58.
- Crisóstomo, J. L. B. (2021). 3D Printing Applications in Agriculture, Food Processing, and Packaging: A Review (archivo en repositorio). <https://media.neliti.com/media/publications/372312-3d-printing-applications-in-agriculture-5304b21a.pdf>
- Dhanaraju, M., Chenniappan, S., Ramalingam, R., Pazhanivelan, S., & Kalia Perumal, R. (2022). Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture. *Agronomy*, 12(10), 1745. <https://doi.org/10.3390/agronomy12101745>
- FAO. (2023). Agriculture 4.0 and the human-centered approach to digital farming. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- García, D., Torres, F., & Salgado, P. (2020). Control remoto de robots agrícolas mediante IoT y microcontroladores de bajo costo. *Ingeniería Computacional*, 8(2), 56–67.
- González, J. (2022). La revolución de la impresión 3D en la industria manufacturera. *Técnica*.
- González, M., Rivera, H., & Castañeda, J. (2021). Robótica y automatización en la agricultura de precisión. *Revista Tecnociencia*, 12(4), 33–47.
- ISO. (2019). ISO 630-1: Structural steels for general purposes. International Organization for Standardization.
- Hurtado, A. C., & Calderón, M. d. (2003). La agricultura en México: 1.5.4 un atlas en blanco y negro. México D.F.: UNAM Geografía.
- INEGI. (2024). <https://www.inegi.org.mx/programas/enoc/15ymas/>
- IEEE. (2025). Agricultural Robot for Automatic Ploughing and Seeding. IEEE Conference Publication. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7358525>
- Liu, C. (2022). Current Status and Development Trends of Agricultural Robots. [Journal / Repository]. <https://nyjxxb.net/index.php/journal/article/view/1389>
- López, A., Pérez, I., & Montoya, C. (2020). Selección de materiales metálicos en prototipos agroindustriales. *Revista Ingeniería Aplicada*, 5(2), 91–100.
- Martínez, J., & López, G. (2019). Prototipado rápido mediante impresión 3D para validación de sistemas mecatrónicos. *Tecnología y Diseño*, 7(1), 23–31.
- Mohamed, E. S. (2021). Smart Farming: Improving Agricultural Management through IoT and AI (revisión). *Computers and Electronics in Agriculture*
- Ortiz, M., & Hernández, F. (2021). Sistemas de dosificación automática de semillas en maquinaria agrícola. *Ingeniería y Desarrollo Tecnológico*, 19(2), 14–27.
- Ortiz, M., & Hernández, F. (2021). Sistemas de dosificación automática de semillas en maquinaria agrícola. *Ingeniería y Desarrollo Tecnológico*, 19(2), 14–27.
- Pérez, C., & Ramírez, D. (2020). Simulación mecánica aplicada al diseño de robots agrícolas en SolidWorks. *Ciencia y Tecnología Aplicada*, 6(3), 58–70.
- Ramírez, E., Torres, R., & García, J. (2022). Control de motores y algoritmos PID en robótica móvil agrícola. *Sistemas y Automatización*, 11(2), 88–102.
- Ruiz, L., Sánchez, P., & Díaz, R. (2022). Optimización de mecanismos robóticos mediante análisis de movimiento en SolidWorks Motion. *Ingeniería y Robótica*, 9(2), 41–53.
- Shamshiri, R. R., Weltzien, C., Hameed, I. A., Yule, I. J., Grift, T. E., Balasundram, S. K., ... Chowdhary, G. (2020). Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 13(4), 1–14. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201304.4278>
- Widianto, M. H., & Juarto, B. (2022). Smart Farming Using Robots in IoT to Increase Agriculture Yields: A Systematic Literature Review. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 4(3), 256–267. <https://doi.org/10.18196/jrc.v4i3.18368>