



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

**POSGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE SIEMBRA PARA UN VEHÍCULO  
AUTÓNOMO.**

**TESIS DE GRADO**

**Que como requisito parcial  
para obtener el grado de:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA**

**Presenta:**

**RAÚL VIDAL, GARCÍA HERNÁNDEZ**

**Bajo la supervisión de: DR. NOÉ, VELÁZQUEZ LÓPEZ**



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
ORIGINA DE EXAMENES PROFESIONALES



**Chapingo, Estado de México, a noviembre de 2020.**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE SIEMBRA PARA UN VEHÍCULO AUTÓNOMO.**

Tesis realizada por RAÚL VIDAL GARCÍA HERNÁNDEZ bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA**

DIRECTOR:   
DR. NOÉ VELÁZQUEZ LÓPEZ

ASESOR:   
DR. PEDRO CRUZ MEZA

ASESOR:   
DR. NOEL CHÁVEZ AGUILERA

<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	v
<b>DEDICATORIAS.....</b>	vii
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	viii
<b>DATOS BIOGRÁFICOS.....</b>	ix
<b>1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....</b>	1
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.3. Objetivos específicos.....	3
1.3. Hipótesis.....	3
1.4. Estructura de tesis.....	3
1.5. Literatura citada.....	4
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	6
2.1. La siembra de precisión en la agricultura.....	6
2.2. Sembradoras.....	6
2.2.1. Dosificador de platos horizontales o convencionales.....	7
2.2.2. Dosificador por dedos.....	8
2.2.3. Dosificador por vacío.....	9
2.3. Distribución de semilla.....	10
2.4. Sistemas inteligentes para densidad variable de siembra y fertilización.....	10
2.4. 1. Sistema autónomo para densidad variable de siembra.....	10
2.4. 2. Sistema de control para densidad de fertilización.....	11
<b>3. DESARROLLO DE UN SISTEMA DE SIEMBRA PARA UN VEHÍCULO AUTÓNOMO.....</b>	14
3.1. Resumen.....	14
3.2. Abstract.....	15

3.3. Introducción. ....	16
3.4. Materiales y métodos. ....	18
3.4.1. Ubicación del proyecto.....	18
3.4.2. Diseño de sembradora de precisión.....	18
3.4.3. Diseño digital en 3D de la sembradora. ....	20
3.4.6. Sistema electrónico de la sembradora. ....	21
3.4.7 Sistema mecánico de la sembradora. ....	22
3.4.8. Sistema de siembra. ....	23
3.4.9. Sistema de control profundidad.....	23
3.4.10 Sistema de corte de suelo.....	24
3.4. 11. Programación del motor a pasos y lectura del <i>encoder</i> .....	25
3.4. 12. Algoritmo de control para el sistema de siembra.....	26
3.4.13. Conexión del circuito eléctrico de la sembradora. ....	27
3.4.14. Programación del algoritmo para detección y conteo de semilla. ....	28
3.4.15. Pruebas de funcionamiento y evaluación de sembradora. ....	30
3.4.16. Pruebas de disco de corte.....	30
3.4.17. Pruebas de funcionamiento y evaluación de sistema de siembra en campo. 31	
3.5. Resultados y discusiones. ....	32
3.5.1 Sistema de corte de suelo y sistema de control de profundidad.....	32
3.5.2. Sistema de siembra. ....	33
3.5.3. Ensamble general de sembradora. ....	35
3.5.4. Diagrama de flujo para el sistema autónomo de la sembradora.....	36
3.5.5. Caracterización técnica de la sembradora. ....	37
3.6. Conclusiones. ....	38
3.7. Agradecimientos. ....	39
3.8. Literatura citada.....	39
<b>4. Anexos. ....</b>	<b>42</b>
4.1. Trámite de patente.....	42
4.2. Resumen en congreso agronómico 2019.....	45
4.3. Resumen en congreso agronómico 2020.....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS.

### Capítulo 1

Figura 1. Sembradora de plato horizontal. ....	7
Figura 2. Sembradora de dedos.....	8
Figura 3. Plato dosificador de dedos.....	9
Figura 4. Sembradora neumática de granos medios para siembra en camas. ....	9
Figura 5. Siembra monograno.....	10
Figura 6. Lengüeta fijadora de semilla <i>SmartFirmer</i> .....	11
Figura 7. Esquema del circuito electrónico y lógica de control.....	12

### Capítulo 3

Figura 8. A) Sembradora manual EarthWay y B) Disco de 4 cangilones. ....	20
Figura 9. A) Isométrica con estrella de corte y B) isométrica con sistema autónomo. .....	20
Figura 10. Sistema de siembra en sembradora.....	23
Fuente: elaboración propia.....	23
Figura 11. Sistema de control de profundidad y rueda de transmisión de movimiento. .....	24
Figura 12. Sistema de corte de suelo.....	24
Figura 13. Instrumentación del sistema de siembra.....	25
Figura 14. Diagrama de flujo del sistema de siembra.....	27
Figura 15. Diagrama de circuito de sistema de corte de suelo y dosificación de semillas.....	28
Figura 16. Sistema de alarma y conteo de semilla en sembradora.....	29
Figura 17. Diagrama de flujo para detección y conteo de semilla.....	29
Figura 18. Prueba de funcionamiento de disco de corte de suelo.....	30
Figura 19. Prueba de funcionamiento sistema de siembra y arrastre del Robot agricultor.....	31
Figura 20. Disco para romper el suelo.....	32
Figura 22. Siembra en suelo labrado.....	33
Figura 23. Siembra de maíz en LSR.....	34
Figura 24. Conjunto Robot-Sembradora agricultor Voltan.....	35
Figura 25. Diagrama de funcionamiento Robot-Sembradora Voltan.....	36

## **Capítulo 4**

Figura 26. Sembradora con sistema de dosificación autónomo.....	49
Figura 27. Sembradora con sistema de dosificación autónomo.....	50

## **ÍNDICE DE CUADROS.**

### **Capítulo 3.**

Cuadro 1. Subfunciones y alternativas de solución.....	18
Cuadro 2. Componentes electrónicos del sistema de siembra.....	21
Cuadro 3. Plantas obtenidas en 2 metros lineales.....	34
Cuadro 4. Características técnicas de sembradora autónoma para robot agricultor. .....	37

## DEDICATORIAS

*En memoria de mis padres, Raúl García López† e Asunción*

*Hernández Martínez†*

*A mis hermanos, María Antonia, Rita, Lucrecia, Juan Antonio,*

*Miguel Ángel y Luis Alberto*

*A mi futura esposa Ana Emilia*

*A mi director y amigo, el Dr. Noé Velázquez L.*

*A mis amigos y compañeros de la maestría, en especial a:*

*Guillermo, Merino, Facundo, Isaías, Victor, Beto y Natalia.*

*Por todo su apoyo*

*Muchas gracias*

*Vidal*

## **AGRADECIMIENTOS**

En este apartado me permito agradecer a las instituciones y personas que hicieron posible mi formación y la realización del presente trabajo, principalmente:

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua (IAUIA), por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico para desarrollar mis estudios de posgrado.

Al INIFAP por su apoyo en la formación y seguirme actualizándome en la maestría.

A mis asesores, por su valioso tiempo en la revisión y aprobación del proyecto, y en especial al Dr. Noé Velázquez L. por todo su tiempo brindado en apoyo para la realización de este proyecto; aportando conocimiento sabiduría y experiencia.

## DATOS BIOGRÁFICOS

### Datos personales

***Nombre:*** Raúl Vidal García Hernández

***Fecha de nacimiento:*** 14 de enero de 1987

***Lugar de nacimiento:*** Entabladero, Espinal, Veracruz

***CURP:*** GAHR870114HVZRRL09

***Profesión:*** Ingeniero Mecánico Agrícola

***Cedula Profesional:*** 09292183

### Formación académica

***Bachillerato:*** CBTA No. 163, La Chaca, Coyutla, Ver.  
(2002-2005)

***Licenciatura:***

Ingeniería Mecánica Agrícola, UACH, Texcoco, Edo.  
de México (2006-2012).

# 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.

México cuenta con una superficie continental de casi 197 millones de hectáreas, donde el 16% aproximadamente es para producción agrícola: entre estos, cultivos de riego y temporal; y otro 40 por ciento con vegetación nativa para ganadería, por lo cual no cubrimos la producción requerida por la población y tendemos a ser dependientes por Estados Unidos principalmente (INEGI, 2017). Entre estos, las especies con superior área producidas en millones de hectáreas son el maíz blanco y amarillo 8.449, el sorgo 2.175, para forraje el sorgo y maíz 2.093, el frijol 1.912.

Desde los años setenta, en el país la pequeña agricultura se ha pensado solo en mecanización con equipos para tracción animal, desechando la automotriz por la alta inversión, complejidad técnica, consumo de potencia y gestión administrativa (Fernández, 2002). Además, la tracción animal ha ayudado a los humanos en la mayoría de las operaciones de campo desde el origen de la agricultura (Cerutti, 2014). Por lo que, en busca de aumentar la productividad en la mano de obra familiar en 1994, se desarrollaron equipos agrícolas para yuntas en México, para la siembra y fertilización dentro de la línea Plan Puebla (Jiménez *et al.*, 2014; Espinoza, 2017). Actualmente, la tracción animal aún se sigue practicando en gran parte de América, donde la siembra se realiza con coa, la cual aumenta la mano de obra y hace una agricultura de subsistencia.

Por otro lado, el abuso de la maquinaria, la emigración rural y el descuido de la agricultura nos abren mejores oportunidades de empleo y conservación del suelo (FAO, 2000). Sin embargo, al tener acceso al uso de las máquinas, el hombre obtuvo más fuerza de trabajo con costos de gestión similares a la tracción animal y pudieron aumentar significativamente la productividad y la eficiencia en el tiempo de las operaciones de campo (Cerutti *et al.*, 2014). Además, se ha encontrado la alteración del suelo con pendiente, terrenos demasiado pequeños para las operaciones mecanizadas y su costo-efectividad se ve muy afectado por los costos fijos (Väätäinen *et al.*, 2006; Cerutti, 2014). Por lo cual, se deben considerar estos

factores para el diseño de equipos agrícolas y entre otros, como las condiciones topográficas y superficies sin geometría; de tal manera que, las zonas rurales con su bajo potencial no logran incentivar la economía del país. Campos *et al.* (2007) mencionan que, existe una demanda potencial en el país de 2000 sembradoras de alta precisión para labranza de conservación en condiciones de temporal, para tractores de potencia media, en los estados del sur. De acuerdo con Zepeda y Lacki (2003), nos dicen que, si el sector agropecuario no se moderniza y la agricultura no se tecnifica, el desafío de la productividad agrícola no podrá ser enfrentada con éxito.

Actualmente, el uso de técnicas como, la agricultura de precisión o sitio ha beneficiado para adquirir altos rendimientos, la cual maneja la variabilidad espacial y temporal a nivel inter parcelario para mejorar el económico y reducir el impacto ambiental (Fountas *et al.*, 2003; Torres *et al.*, 2018). Por lo tanto, una siembra de precisión está relacionada con el éxito de un cultivo, el cual se logra al usar sembradoras con funciones de abrir el surco a profundidad deseada, distribución monograno, controlar la distancia entre granos, cubrir y compactar con suelo la semilla (Kepner *et al.*, 1982). Además, Turan *et al.* (2015) señala que utilizar una sembradora de precisión en semillas de maíz, reduce el daño mecánico, horas de trabajo, y se logra un espaciamiento y profundidad de siembra homogénea. En otro sentido, Abdulrahman *et al.* (2017) menciona que los sistemas robóticos han sido de importancia en todos los ámbitos, organizaciones y unidades industriales. Por lo que, la tecnología robótica puede utilizarse en diferentes trabajos agrícolas, principalmente la siembra de semillas, el arado y otras tareas, y reduce la necesidad de mano de obra (Jayakrishna *et al.*, 2018).

Con ello, culminar en una agricultura con precisión, eficiente y factible para los productores. Por lo tanto, alcanzar una agricultura de sitio controlada de manera remota y elevar la productividad en las regiones marginadas de México.

## **1.2. OBJETIVOS.**

### **1.2.1. Objetivo general.**

- Desarrollar y evaluar una sembradora de precisión autónoma para el robot agricultor VOLTAN, utilizando una sembradora EARTHWAY y componentes electrónicos para mejorar la calidad y precisión en siembra directa y convencional.

### **1.2.3. Objetivos específicos.**

- Rediseñar la sembradora de precisión manual EARTHWAY,
- Instrumentar, controlar la dosificación y detectar las semillas depositadas en el suelo,
- Adaptar una metodología de pruebas mediante la norma mexicana NMX-O-222-SCFI-2014, y
- Evaluar el funcionamiento de la sembradora en campo para caracterizarla.

## **1.3. Hipótesis**

A través, del desarrollo de un sistema de siembra autónomo se mejora la dosificación de semilla en la agricultura convencional y se incrementa la productividad de la máquina.

## **1.4. Estructura de tesis.**

El trabajo se conforma por tres capítulos: una introducción general, una revisión de literatura y un artículo científico para una revista con indexado nacional e internacional.

El primer Capítulo contribuye a la introducción general del proyecto de investigación, donde se enfoca el planteamiento del problema de estudio y su importancia, los antecedentes relevantes y la justificación. Dentro del mismo, se

describe el objetivo general y particulares, e hipótesis para resolver el problema. Para el segundo Capítulo, se presenta una revisión del estado del arte sobre la actividad de siembra de precisión en la agricultura, los tipos de siembra que se tienen en México y los sistemas de siembra inteligente. Además, los sistemas de siembra autónomos para control de densidad. Para el tercer Capítulo, se basó en desarrollar un sistema de siembra para un vehículo autónomo, el cual se realizó en la Universidad Autónoma Chapingo, México. Como último el apartado de anexos, donde se tiene el trámite de patente, resúmenes publicados en econgreso, el dibujo general con medidas de la sembradora y el enganche de robot-sembradora

### 1.5. Literatura citada.

- Abdulrahman; Mangesh K.; Umesh, K.; Ahmadakbar. (2017). Seed sowing robot. International Journal of Computer Science Trends and Technology. Vol. 5 Issue 2. pp. 131-143.
- Campos M., S. G., Z. Cadena, M. C. Reynolds, A., M. Jácome, S., Ballado C., J. A., B. Bonilla, J. J., E. Esqueda, V. A. (2007). Desarrollo de un sistema de siembra neumático de alta precisión para labranza de conservación para tractores de potencia media Terra Latinoamericana, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. vol. 25, núm. 1, pp. 85-91
- Cerutti K., A., Calvo y S., Bruun. (2014). Comparison of the environmental performance of light mechanization and animal traction using a modular LCA approach. Journal of Cleaner Production. 64. pp. 396-403.
- Espinoza V., D. (2017). Semblanza del Dr. Reggie J. Laird Broom: pionero de la ciencia del suelo en México. Terra Latinoamericana 35: 1-6 pp.
- FAO-SAGARPA. (2000): Informe Nacional Programa Mecanización, México D.F.
- Fernández N., M. A. I. Arias, R. y Nissen J. M. (2002). La mecanización agrícola en la pequeña agricultura, un estudio de caso; Cunco IX región chile. Valdivia, Chile; Agro surv.30 n.2. 17 p.
- Fountas, S.; Søren, M. P. and Simon, B. (2003). ICT in precision agriculture - diffusion of technology. Institute of Agricultural Sciences. The Royal Veterinary and Agricultural University, Denmark.
- INEGI. (2017). Consultado 01-05-2020 en <http://www.inegi.org.mx/programas/ena/2017/>.

- Jayakrishna, P. V. S.; Reddy, M. S.; Sai, N. J.; Susheel, N. and Peeyush, K. P. (2018). Autonomous seed sowing agricultural robot. *International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, Bangalore, India. pp. 2332-2336.
- Jiménez, S. L., J. I. Cortes F. y A. Turrent F. (2014). Reggie J. Laird 1920-2013. *In Memoriam*. 8. Fundación COLPOS.
- Kepner, R. A., R. Bainer y E. Barger C. (1982). Principles of farm machinery. 3rd edition. AVI Publishing Company. Westport, CT, USA. 527 p.
- Torres S., J.; Romantchik K., E.; López C., I. I.; López C. G. de J. (2018). Sistema mecatrónico para el control de los dosificadores de fertilizante y pesticida granulados de una sembradora-fertilizadora. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas volumen especial número 21*. México. 15 p.
- Turan, J.; Višacki, V.; Sedlar, A.; Pantelic, S.; Findura, P.; Máchal, P.; Marecek, J. (2015). Seeder with different seeding apparatus in maize sowing. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, Vol. 63 núm. 18. pp. 137-141.
- Väätäinen, K.; Asikainen, A.; Sikanen, L.; A. Ala-Fossi. (2006). The cost effect of forest machine relocations on logging costs in Finland *For. Stud.*, 45 (450) pp. 135-141.
- Zepeda J. M. y P. Lacki. (2003). Educación agrícola superior: la urgencia del cambio. Segunda Edición. Dirección de Centros Regionales. Universidad Autónoma Chapingo. ISBN-968-884-923-5.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

### **2.1. La siembra de precisión en la agricultura.**

Hacer agricultura con la suficiente precisión sin excesos en los insumos aportados al suelo, ha sido una aspiración largamente anhelada (Manuel, 2013). La tendencia en la mecanización agrícola es la agricultura de sitio o de precisión, donde los equipos sean autónomos y que realicen labores en menor tiempo. De acuerdo con Önal *et al.* (2009) las sembradoras de precisión de tipo neumático comenzaron a ser utilizadas y se generalizaron desde los años de 1970's, principalmente, porque se puede graduar y proporcionar una distribución homogénea de semilla. Este tipo de sembradoras determinan la colocación a la distancia requerida y profundidad establecida para alcanzar altos rendimientos en los cultivos.

En los últimos años las sembradoras han presentado un gran cambio tecnológico en la siembra, siendo las neumáticas las de mayor trascendencia. Estos nuevos equipos realizan un proceso de siembra con alta precisión y velocidad de hasta 9 km h<sup>-1</sup>. Con respecto a esto, la calidad de labor de una sembradora de precisión se caracteriza por la colocación precisa y homogénea de semillas, y por su capacidad de ajuste a los términos de espaciamiento y velocidad de avance determinados (García y Palau, 1983).

### **2.2. Sembradoras.**

Godoy (2015) y Cabrera *et al.* (2007), definen las sembradoras en equipos agrícolas con aditamentos para distribuir semilla por semilla, dirigirla al sitio de caída y sea depositada de manera exacta en el suelo. De acuerdo con Ortiz (2003) las sembradoras monograno, son las que realizan la colocación precisa de semillas individuales a distancia definidas y en línea. Éstas pueden clasificarse de acuerdo con el sistema de siembra. Los sistemas de dosificación de semilla pueden clasificarse en dos tipos: mecánicos y neumáticos (Kepner *et al.*, 1982).

### 2.2.1. Dosificador de platos horizontales o convencionales.

Los dosificadores de platos horizontales son caracterizados como mecánicos. El problema de la siembra de granos resulta en ocasiones crítico. Si se tiene en cuenta que la sembradora de platos tradicional en nuestro medio requiere una semilla clasificada de tamaño y forma uniformes. Un plato de siembra con celdas que permiten el acomodo de la semilla. De acuerdo con estudios, estos sistemas presentan dificultades, principalmente en el daño mecánico y cuando se aumenta la velocidad e irregularidad en la profundidad de siembra (Figura 1).



Figura 1. Sembradora de plato horizontal.  
Fuente: Knapik (2013).

Es básicamente un plato que rota en la parte inferior del depósito y cuenta con barrenos con tamaños idénticos a semillas. El plato jala el grano por medio de dedos con resortes para dirigirla hasta el sitio de descarga y colocarla en el surco. Su costo es lo favorable, pero al tener granos que no son homogéneos, se tienen problemas de precisión y daño mecánico.

Es por ello, que se necesitan platos distintos para cada especie a establecer, particularmente se debe ser estricto en su diseño. Este tipo de equipos daña fácilmente los granos, por lo que, se tiene que considerar un mayor volumen de semilla y al emerger realizar un clareo de plantas.

### 2.2.2. Dosificador por dedos.

Los dosificadores de dedos, también son mecánicos, fueron innovaciones que tuvieron sus inicios antes de los 70's. Roland y Gordon (1972) en la patente **NO. 3,638,829** presentaron un aparato dosificador de semillas para sembradoras que incluye un alojamiento con un suministro de semillas y un disco selector de semillas que rota en la periférica inferior dispuesta en la semilla suministro, el disco tiene dedos de resorte montados con poliuretano que pueden ceder a una posición abierta o de recepción de semillas y polarizadas axialmente a una posición cerrada o de apriete de semillas, medios de accionamiento provistos en la carcasa y succionados con los dedos para abrir y cerrar para agarre de semillas, como se muestra en la Figura 2.

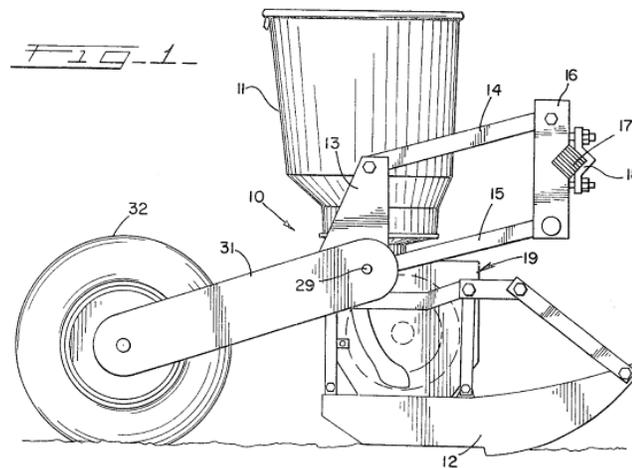


Figura 2. Sembradora de dedos.  
Fuente: Roland y Gordon (1972).

Por otro lado, Bellefroid (2005) en la patente **No.: US 2005/0172874 A1**, propone el método más práctico encontrado es utilizar un disco que gira en un plano vertical que empuja las semillas a través de un pequeño orificio, donde las semillas caen sobre el suelo. Estos dispositivos se pueden encontrar en sembradoras de última generación de la marca John Deere modelo 1010 y 1035 (Figura 3).

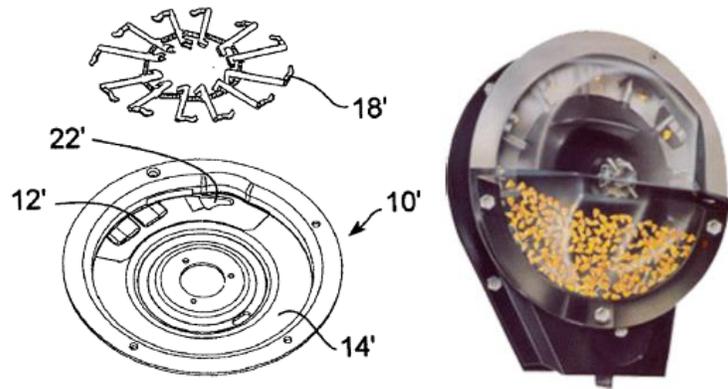


Figura 3. Plato dosificador de dedos.  
Fuente: Bellefroid (2005).

### 2.2.3. Dosificador por vacío.

Las sembradoras por vacío o neumáticas funcionan con una turbina que rota a velocidades que oscilan entre 50 y 70 m s<sup>-1</sup> el movimiento se trasmite por bandas, las cuales se acoplan a un cardán que viene de la Toma de Fuerza del tractor, ésta genera un flujo de aire por los barrenos del disco dosificador con diámetro menor al de los granos (Godoy, 2015) (Figura 4). Entonces, si el plato pasa la región de succión, se cae la semilla por igualar las presiones inferior y atmosférica (Godoy, 2015; García y Palau, 1983).



Figura 4. Sembradora neumática de granos medios para siembra en camas.  
Fuente: Garibaldi, *et al.* (2017).

### 2.3. Distribución de semilla.

De acuerdo con Soza *et al.* (2011) la dosificación monograno en coincidencia con una conducción recta y de poca altura de caída presenta un mejor comportamiento, evaluado a través del índice de calidad, donde surge una sustancial diferencia en la disminución de las duplicaciones y en menor medida de fallos respecto al sistema de dosificación a chorrillo y tubo conductor cilíndrico de altura.

Conociendo el número de vueltas y el perímetro de la rueda de transmisión de movimiento, entonces sabremos las revoluciones del dosificador y tendremos la cantidad de semillas distribuidas en una distancia establecida (Figura 5).



Figura 5. Siembra monograno John Deere 1700 Maxemerge Plus.  
Fuente: John Deere (s.f).

### 2.4. Sistemas inteligentes para densidad variable de siembra y fertilización.

#### 2.4. 1. Sistema autónomo para densidad variable de siembra.

Bragachini *et al.* (2017) mencionan sistemas de siembra inteligentes con sensores, los cuales se colocan sobre una coleta apretadora de semilla que informa sobre contenido de materia orgánica, limpieza del surco, cámara de aire, temperatura y humedad del suelo; manejada *online* automáticamente la densidad de siembra individual (Figura 6). Es decir, se puede manejar con conectividad *Cam*

*Bus* y motores eléctricos la variabilidad de un metro cuadrado de densidad variable dentro de un lote. Esto define la microvariabilidad en siembra variable de precisión.



Figura 6. Lengüeta fijadora de semilla *SmartFirmer*.  
Fuente: Bragachini *et al.* (2017).

Este proceso lo presenta la firma *Precision Planting* llamada “*SmartFirmer*”, con los tres factores medidos posee una alta correlación con la fertilidad potencial de un micro ambiente, con la posibilidad de depositar las semillas requeridas, y obtener mejores rendimientos de producción y respuesta económica.

#### **2.4. 2. Sistema de control para densidad de fertilización.**

Torres *et al.* (2018) desarrollaron un sistema electromecánico para el control de fertilizantes y pesticidas sólidos, ellos acoplaron este dispositivo a un equipo de siembra y fertilización. El cual, se compone de microcontroladores para procesamiento y control, para manipular motores de corriente directa y hacer girar el mecanismo de dosificación. Mencionan que las variaciones de dosificación se alcanzan con la manipulación de la frecuencia de rotación del mecanismo, y con el uso del PWM motor y el proporcional integral (Figura 7). Se puede decir, que el componente electromecánico satisface las características técnicas para equipos de dosis variable.

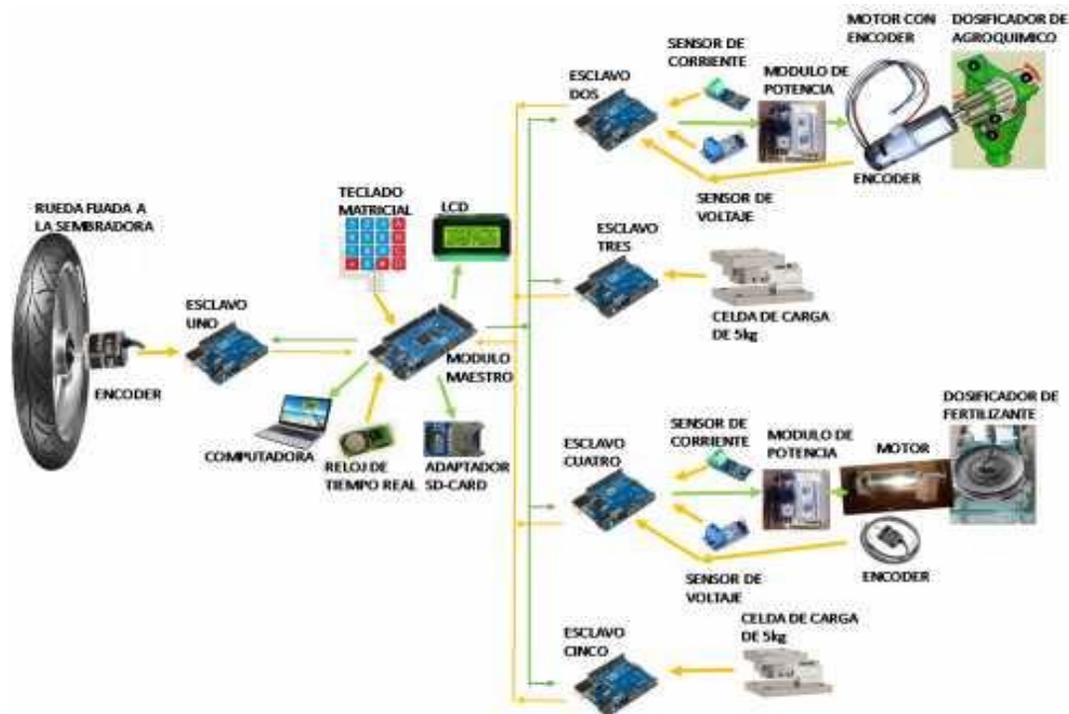


Figura 7. Esquema del circuito electrónico y lógica de control.  
Fuente: Torres *et al.* (2018).

## 2.5. Literatura citada.

- Bellefroid M. (2005). Finger type seed meter back plate seeding device. Patente No.: US 2005/0172874 A1. California, E. U. A. 3 p.
- Bragachini M.; Sánchez, F.; Urrets Z., G.; Scarmuzza, F.; Villarroel, D. y Vélez, J. P. (2017). Dossier de sembradoras. INTA Manfredi, Córdoba, Argentina. 12 p.
- Cabrera S., J.M., R. Calderón E., H. Serwatowski, R.J. (2007). Pneumatic seed metering unit for precision seeders. <http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp?wo=2007064184&IA=MX2006000134&DISPLAY=DESC>.
- García, C. y Palau, E. (1983). Mecanización De Los Cultivos Hortícolas. 4ta edición, Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 243 p.

- Garibaldi, M. F., García, H. R. V., Baltazar, B. E., Osuna, C. E. S. y Martínez, R. E. (2017). Sembradora neumática para siembra en camas. Folleto Técnico. Núm. 76. SAGARPA-INIFAP-CIRNOC. Aguascalientes, Ags., México. 31 p.
- Godoy L., A. F. (2015). Perfeccionamiento del diseño de la sembradora de granos convencional "guajiro am 2010-1-5t". Tesis de maestría, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Santa Clara. 94 p.
- Jonh Deere. (s.f). Sembradora MaxEmerge. Empresa Vicens Maquinària Agrícola, S.A. México. 2 p. Consultado en <http://www.interempresas.net/Agricola/FeriaVirtual/Producto-Sembradora-de-4-6-u-8-hileras-John-Deere-1700-Maxemerge-Plus>.
- Kepner, R. A., R. Bainer y E. Barger C. (1982). Principles of farm machinery. 3rd edition. AVI Publishing Company. Westport, CT, USA. 527 p.
- Knapik. (2013). Sembradora de Arrastro para Motocultor / Micro tractor. Manual de Instrucciones, Brasil. 19 p. consultado en <http://www.knapik.com.br>
- Manuel, M. R. (2013). Modelo del planteo de una sembradora neumática. Mapa de siembra implementado con lógica reconfigurable utilizando técnicas de codiseño software/hardware. Tesis doctoral, Universidad de Córdoba, Argentina. 165 p.
- Önal, I., A. Degirmencioglu., A. Yazgi. (2009). Performance of the metering unit and soil engaging components of a direct seeding machine. Journal of Agricultural Machinery Science 5: 291-302.
- Ortiz, C. J. (2003). Las máquinas agrícolas y su aplicación. Sexta edición. Editorial mundi prensa. México. 509 p.
- Roland J. F. and R. O'-N Gordon. (1972). FINGER-TYPE PLANTER. Patente No. 3,638,829. Chicago, EUA. 6 p.
- Soza, E. L., P. Quiros J., D. Agnes W. y N. Montenegro. (2011). Variabilidad de una sembradora experimental alistada con dos sistemas de dosificación en la implantación de soja. Rev. Facultad de Agronomía, UBA 31(3). Buenos Aires, Argentina. pp. 193-201.
- Torres S., J.; Romantchik K., E.; López C., I. I.; López C. G. de J. (2018). Sistema mecatrónico para el control de los dosificadores de fertilizante y pesticida granulados de una sembradora-fertilizadora. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas volumen especial número 21. México. 15 p.

### 3. DESARROLLO DE UN SISTEMA DE SIEMBRA PARA UN VEHÍCULO AUTÓNOMO.

#### 3.1. Resumen.

Este trabajo se enfocó en el desarrollo de una sembradora con dosificación autónoma y registro de semillas de maíz depositadas al suelo. Las funciones principales fueron: a) cortar la maleza y abrir el suelo, b) dosificar la semilla a distancias de 10 a 30 cm y c) regular la profundidad de siembra de cinco a diez cm. La solución óptima fue un sistema independiente con enganche pivotante al vehículo autónomo y dosificador mecánico de plato vertical. Se utilizaron dos motores eléctricos uno para accionar el cortador del suelo y otro para girar el dosificador. También se agregó una rueda de control de profundidad. La sembradora se instrumentó con un *encoder* incremental para medir la distancia y con un sensor óptico para conteo y detección de la caída de semillas. Todo se controló con una tarjeta Arduino ATmega 2560; programado para dosificar a cada 13 cm y una profundidad de siembra de 5 a 10 cm. El conjunto robot-sembradora se comportó estable con el sistema de visión artificial, el cual identifica dos líneas y se dirige por el centro de gravedad hasta terminar el surco y así girar mediante la función remota en la cabecera. Por lo que, para labranza tradicional (LT) se obtuvo un promedio de distancia entre semillas de 16 cm y para labranza sin rastrojo (LSR) se obtuvo una distancia entre semillas de 12.5 cm, esto indica que la sembradora tiene mejor funcionamiento en LSR. El dispositivo pesa 10 kg, el vehículo autónomo no tiene problemas en campo con la fuerza de tracción requerida y con ello se logró una dosificación variable de semillas de manera controlada y predefinida.

**Palabras clave:** Sembradora, autónoma, dosificar, *encoder*.<sup>1</sup>

# DEVELOPMENT OF A SOWING SYSTEM FOR AN AUTONOMOUS VEHICLE

## 3.2. Abstract.

This work focused on the development of a seeder with autonomous dosage and registration of maize seeds deposited on the soil. The main functions were: a) to cut the weeds and open the soil, b) to dose the seed at distances of 10 to 30 cm and c) to regulate the sowing depth from five to ten cm. The optimum solution was an independent system with a pivoting hitch to the autonomous vehicle and a mechanical vertical plate metering system. Two electric motors were used, one to drive the soil cutter and the other to turn the metering unit. A depth control wheel was also added. The seed drill was instrumented with an incremental encoder to measure the distance and with an optical sensor to count and detect the fall of the seed. Everything was controlled with an Arduino ATmega 2560 card; programmed to dose every 13 cm and a sowing depth of 5 to 10 cm. The robot-seeder set behaved stably with the artificial vision system, which identifies two lines and directs itself through the centre of gravity until it finishes the furrow and thus rotates by means of the remote function at the headland. Therefore, for traditional tillage (LT) an average seed distance of 16 cm was obtained and for stubble-free tillage (LSR) a seed distance of 12.5 cm was obtained, indicating that the seed drill has better performance in LSR. The device weighs 10 kg, the autonomous vehicle has no problems in the field with the required traction force and thus variable seed metering was achieved in a controlled and predefined manner.

**Key words:** Seeder, autonomous, dosing, encoder.<sup>2</sup>

### 3.3. Introducción.

México cuenta con una superficie continental de casi 197 millones de hectáreas, donde el 16% aproximadamente es para producción agrícola: entre estos, cultivos de riego y temporal; y otro 40 por ciento con vegetación nativa para ganadería, por lo cual no cubrimos la producción requerida por la población y tendemos a ser dependientes por Estados Unidos principalmente (INEGI, 2017). Entre estos, las especies con superior área producidas en millones de hectáreas son el maíz blanco y amarillo 8.449, el sorgo 2.175, para forraje el sorgo y maíz 2.093 y el frijol 1.912.

Desde los años setenta, en el país la pequeña agricultura se ha pensado solo en mecanización con equipos para tracción animal, desechando la automotriz por la alta inversión, complejidad técnica, consumo de potencia y gestión administrativa (Fernández, 2002). Además, la tracción animal ha ayudado a los humanos en la mayoría de las operaciones de campo desde el origen de la agricultura (Cerutti, 2014). Por lo que, en busca de aumentar la productividad en la mano de obra familiar en 1994, se desarrollaron equipos agrícolas para yuntas en México, para la siembra y fertilización dentro de la línea Plan Puebla (Jiménez *et al.*, 2014; Espinoza, 2017). Actualmente, la tracción animal aún se sigue practicando en gran parte de América, donde la siembra se realiza con coa, la cual aumenta la mano de obra y hace una agricultura de subsistencia.

Por otro lado, el abuso de la maquinaria, la emigración rural y el descuido de la agricultura nos abren mejores oportunidades de empleo y conservación del suelo (FAO, 2000). Sin embargo, al tener acceso al uso de las máquinas, el hombre obtuvo más fuerza de trabajo con costos de gestión similares a la tracción animal y pudieron aumentar significativamente la productividad y la eficiencia en el tiempo de las operaciones de campo (Cerutti *et al.*, 2014). Además, se ha encontrado la alteración del suelo con pendiente, terrenos demasiado pequeños para las operaciones mecanizadas y su costo-efectividad se ve muy afectado por los costos fijos (Väätäinen *et al.*, 2006; Cerutti, 2014). Por lo cual, se deben considerar estos factores para el diseño de equipos agrícolas y entre otros, como las condiciones topográficas y superficies sin geometría; de tal manera que, las zonas rurales con

su bajo potencial no logran incentivar la economía del país. Campos *et al.* (2007) mencionan que, existe una demanda potencial en el país de 2000 sembradoras de alta precisión para labranza de conservación en condiciones de temporal, para tractores de potencia media, en los estados del sur. De acuerdo con Zepeda y Lacki (2003), nos dicen que, si el sector agropecuario no se moderniza y la agricultura no se tecnifica, el desafío de la productividad agrícola no podrá ser enfrentada con éxito.

Actualmente, el uso de técnicas como, la agricultura de precisión o sitio ha beneficiado para adquirir altos rendimientos, la cual maneja la variabilidad espacial y temporal a nivel inter parcelario para mejorar el económico y reducir el impacto ambiental (Fountas *et al.*, 2003; Torres *et al.*, 2018). Por lo tanto, una siembra de precisión está relacionada con el éxito de un cultivo, el cual se logra al usar sembradoras con funciones de abrir el surco a profundidad deseada, distribución monograno, controlar la distancia entre granos, cubrir y compactar con suelo la semilla (Kepner *et al.*, 1982). Además, Turan *et al.* (2015) señala que utilizar una sembradora de precisión en semillas de maíz, reduce el daño mecánico, horas de trabajo, y se logra un espaciamiento y profundidad de siembra homogénea. En otro sentido, Abdulrahman *et al.* (2017) menciona que los sistemas robóticos han sido de importancia en todos los ámbitos, organizaciones y unidades industriales. Por lo que, la tecnología robótica puede utilizarse en diferentes trabajos agrícolas, principalmente la siembra de semillas, el arado y otras tareas, y reduce la necesidad de mano de obra (Jayakrishna *et al.*, 2018). Con ello, culminar en una agricultura con precisión, eficiente y factible para los productores.

Con respecto a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue desarrollar y evaluar una sembradora de precisión autónoma para el robot agricultor "VOLTAN", a través de programar un algoritmo para su funcionamiento autónomo insertado en el mecanismo de dosificación de semilla. Además, instalar un sistema para evitar saturación en la descarga de semilla y detección de semilla colocada en el suelo o línea de siembra. Por lo tanto, alcanzar una agricultura de sitio controlada de manera remota y elevar la productividad en las regiones marginadas de México.

### 3.4. Materiales y métodos.

#### 3.4.1. Ubicación del proyecto.

El proyecto se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Chapingo, en el de Posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, localizada geográficamente a las siguientes coordenadas LN: 19.4729 y LW: -99.2059 a una altitud 2142 msnm. Para las pruebas se preparó una parcela experimental de 25 x 25 m. en el área de Ingeniería Mecánica Agrícola.

#### 3.4.2. Diseño de sembradora de precisión.

Para el desarrollo de la sembradora se inició con el diseño mecánico y se utilizó la teoría de (Budynas y Nisbett, 2011). De acuerdo con el proceso de diseño de ingeniería se identificaron las necesidades para reconocer el problema y encontrar alternativas de solución. Para esto, las funciones principales fueron: 1) cortar la maleza, romper el suelo y abrir el surco, 2) dosificar la semilla a una distancia de diez a 30 cm y 3) regular la profundidad de siembra de cinco a diez cm. Así mismo, se desarrolló un diseño conceptual con subfunciones que debe realizar; además, se organizó una lluvia de ideas planteando soluciones para un problema específico, como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Subfunciones y alternativas de solución.

Sub Funciones	Soluciones		
	1	2	3
1 Acople al robot	<u>Enganche cuatro barras con unión pivotante</u>	Fijo al chasis	-
2 Dosificador	Mecánico de dedos	<u>Mecánico de plato vertical</u>	Neumático
3 Tren de siembra	-	Fijo	<u>Flotante</u>
4 Material	Plástico	<u>Aluminio</u>	Acero

5	Abre surcos	Disco cóncavo	vertederas	<u>Disco y Cincel en V</u>
6	Trasmisión	Bandas de hule	<u>Cadenas y motores eléctricos</u>	Engranajes
7	Control de profundidad	<u>Una Rueda</u>	Dos ruedas	-
8	Sistema de funcionamiento	-	Autónomo	Mecánico

Fuente: elaboración propia.

Con respecto a las alternativas de solución y la lluvia de ideas se planteó la siguiente solución óptima:

1. Enganche de tiro al robot con unión pivotante,
2. Dosificador mecánico de plato vertical con cangilones (sembradora *EARTHWAY*),
3. Tren de siembra con sistema flotante (Sistema de cuatro barras),
4. Material aluminio,
5. Abre surcos por disco de corte y cincel,
6. Trasmisión con motores eléctricos,
7. Control de profundidad con rueda de polímero, y
8. Sistema de funcionamiento autónomo.

Para esto, se tomó como base la sembradora *EARTHWAY*, la cual se modificó para realizar la dosificación de manera electrónica (Figura 8 A). Sin embargo, para hacer coincidir en cuatro caídas o cada 90° de giro, se diseñó y manufacturó un disco con cuatro cangilones, y así tener mayor precisión (Figura 8 B).

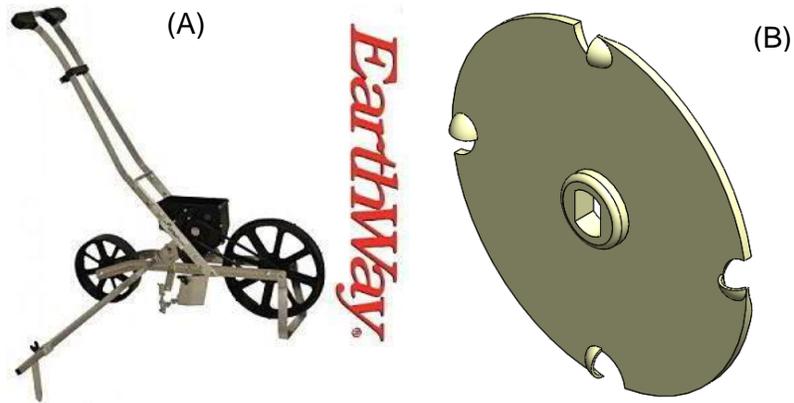


Figura 8. A) Sembradora manual EarthWay y B) Disco de 4 cangilones.  
Fuente: ARG-AGRO (s.f).

### 3.4.3. Diseño digital en 3D de la sembradora.

Al tener definida la solución óptima de los sistemas y componentes, se desarrolló el dibujo 3D en el software Solid Works 2016® como se muestra en la Figura 9. Para esto, se tomaron en cuenta materiales comerciales y de fácil acceso para su manufactura y disminuir el maquinado de geometrías complejas para reducir tiempo y costos en el prototipo. Se diseñó el enganche sujetado con el chasis y las uniones fueron con tornillos para fácil ensamble y desensamble del robot.

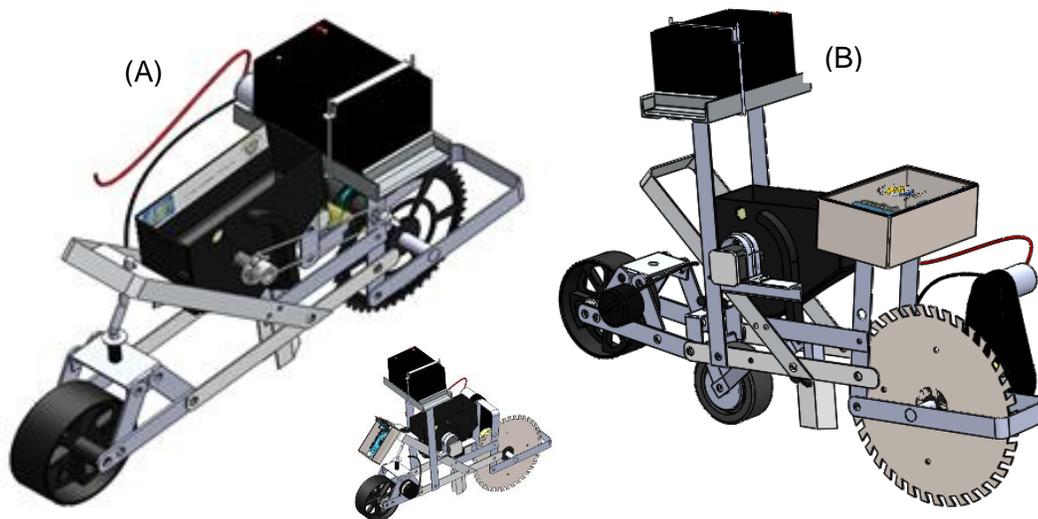


Figura 9. A) Isométrica con estrella de corte y B) isométrica con sistema autónomo.  
Fuente: elaboración propia.

En la Figura 9 A se obtuvo un diseño alternativo con las características técnicas obtenidas en el Cuadro 1 con densidad variable de semilla mediante un motor eléctrico de 12 Volts con 40.5 rpm mínima y se varia con el PWM y con una estrella de corte con trasmisión de movimiento de un motor eléctrico. Entonces, para la Figura 9 B se desarrolló un diseño con la mejor alternativa de solución y cuenta con un sistema autónomo para controlar la dosificación mediante los componentes electrónicos.

### 3.4.6. Sistema electrónico de la sembradora.

En el Cuadro 2, se enlistan los componentes utilizados, para lo cual en la tarjeta Arduino se desarrolló la programación, asimismo mediante el *encoder* incremental se automatizó el motor a pasos y se manipuló con el controlador de puente H. Entonces, la activación del sistema y del disco de corte se inicia con los relevadores. Respectivamente, se instaló un sistema de alarma de caída y contador de semilla con un diodo láser modelo: **EE-SHT126** como emisor y un receptor láser modelo: **EE-SHT126RM**.

Cuadro 2. Componentes electrónicos del sistema de siembra.

Componente	Características	
Arduino Atmega 2560	Voltaje de operación	5 Volts DC
	Pines de entrada y salida digital	54 con 15 salida PWM
	Pines entrada analógica	16
	Memoria Flash	256 KB
	Corriente de entrada y salida	20 mA
	Resolución	5000 pulsos por rev.
<i>Encoder autonics</i>	Voltaje de entrada	5 Volts DC, 12-24 DC
	Tipo y modelo	Incremental, E50S8-5000-3-T-5
	Diámetro flecha	8 mm

	Modelo	42J1848-425-SX
Motor a pasos	Voltaje de operación	12 Volts
	Número de pasos	60 pasos
	Modelo	IBT-4
Controlador de puente H	Corriente máxima	50 A
	Entradas PWM	200KHz
	Voltaje de operación	5 V- 15 V
Batería recargable	Voltaje de operación	12 Volts
	Corriente	7Ah
	Modelo	HL-52S
Módulo 2 relevadores	Voltaje de operación	12 Volts
	Corriente	10 A

Fuente: elaboración propia.

### 3.4.7 Sistema mecánico de la sembradora.

Al tener el diseño óptimo se manufacturaron los componentes de cada sistema; se comenzó con el chasis principal de la sembradora, el cual soporta la batería de 12 Volts, el dosificador en la parte central superior y la parte inferior el cincel abre surcos y por último el gabinete del circuito. En la parte trasera, mediante pivote se ensambló el sistema de control de profundidad con un esparrago para regular la altura de la rueda, y se instaló una rueda con el *encoder* para conocer la distancia recorrida y en la parte frontal se acopló el motor con el disco de corte del suelo. Para romper el suelo y cortar la maleza se utilizó un disco de corte con sierra con un diámetro de 25.4 cm con filo en la periferia accionado por un motorreductor de 12 Volts con 93 rev. por minuto. Éste sistema de siembra, ocupa de una rueda secundaria para mover el eje del *encoder* por una banda dentada y así controlar la dosificación variable mediante un algoritmo para cada cultivo a establecer.

### 3.4.8. Sistema de siembra.

El sistema de siembra consta de componentes mecánicos, sensores y actuadores electrónicos, los cuales, se muestran en la Figura 10A los mecánicos, a) depósito de semilla, b) dosificador de cangilones vertical, c) cincel para abrir el surco, d) gabinete del circuito y e) chasis principal. Asimismo, en la Figura 10B se muestran los sensores y actuadores electrónicos que automatizaron el sistema de siembra, f) motor a pasos de 12 volts, g) diodo láser, h) módulo de receptor láser i) Arduino Atmega 2560, j) módulo de controladores **IBT4**, k) un módulo con dos relevadores **HL-52S**, y l) batería de 12 Volts.

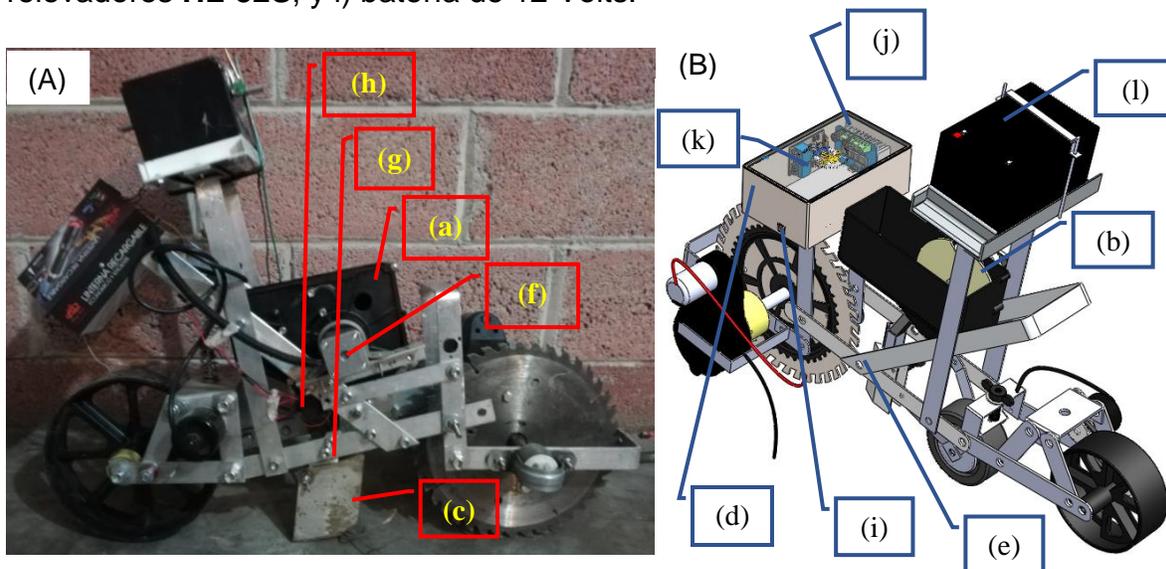


Figura 10. Sistema de siembra en sembradora.  
Fuente: elaboración propia.

### 3.4.9. Sistema de control profundidad.

Este sistema se desarrolló con componentes mecánicos, para ello, se adaptó al chasis principal de la sembradora en la parte inferior de ésta, como se muestra en la Figura 11. Principalmente, consta de a) Resorte de compresión y sinfín para regular profundidad de siembra, b) Rueda de control de profundidad.

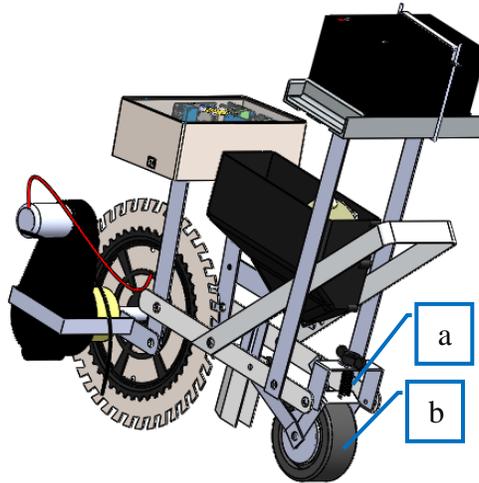


Figura 11. Sistema de control de profundidad y rueda de transmisión de movimiento.  
Fuente: elaboración propia.

### 3.4.10 Sistema de corte de suelo.

El sistema de corte de suelo se rediseñó debido a que el disco no tenía el diámetro adecuado y también la posición de la batería como se mostró en Figura 10, éste se integró de los siguientes componentes: a) disco de corte de 25.4 cm, b) chasis del sistema de corte, c) motor eléctrico de 12 Volts y d) batería de 12 Volts (Figura 12).

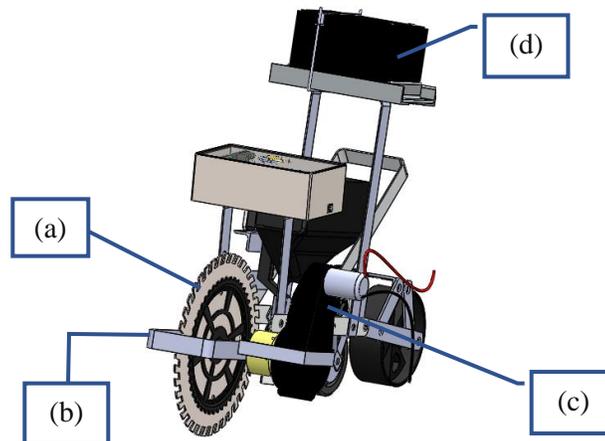


Figura 12. Sistema de corte de suelo.  
Fuente: elaboración propia.

### 3.4. 11. Programación del motor a pasos y lectura del *encoder*.

Del mismo chasis se adaptó a) una rueda secundaria de polímero para leer la distancia recorrida b) banda y polea dentada para hacer girar el eje y c) *encoder* incremental. Éste sistema envía información de distancia lineal recorrida por la rueda de la sembradora y así activar el motor para girar el dosificador y depositar la semilla a la distancia deseada. Primero se midió el perímetro de la rueda secundaria, y se instaló la transmisión por bandas al *encoder* 1:1 (Figura 13). además, se calculó el ángulo y la distancia entre semillas mediante la expresión 1 y 2, respectivamente.

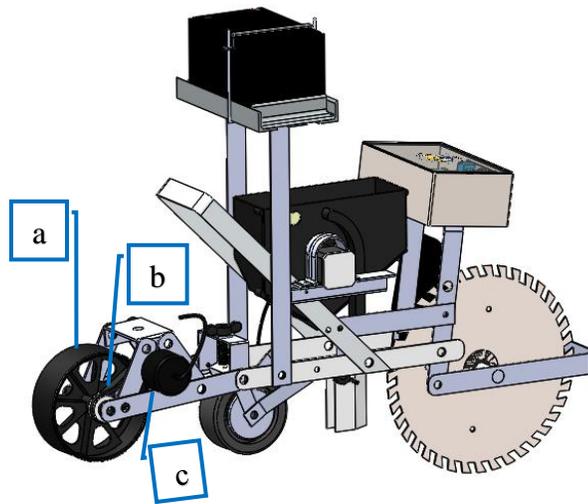


Figura 13. Instrumentación del sistema de siembra.  
Fuente: elaboración propia.

Al tener definido el mecanismo de medición se calculó los grados de avance del *encoder* ( $Gr$ ) y así se conocer la distancia recorrida por la sembradora. Para esto, se necesitó la resolución del *encoder* (5000 pulsos por vuelta), y con el perímetro de la rueda se precisó la distancia recorrida por la sembradora en tiempo real y automatizar la descarga de semilla, para ello se utilizaron las siguientes expresiones 1 y 2, respectivamente.

$$Gr = \frac{360}{ppr} * pr \quad (1)$$

Donde:

$Gr$  = número de grados de avance del eje del *encoder*, [°]

$ppr$  = número de pulsos totales por revolución del *encoder* (5000), [Pulsos/giro].

$pr$  = pulsos registrados por el Arduino, [Pulsos/m].

$$lr = \frac{P}{360} * Gr \quad (2)$$

Donde:

$lr$  = distancia recorrida por la llanta, [m].

$p$  = perímetro del neumático, [m].

De acuerdo con la expresión (1) se definió la distancia entre semillas de 0.13 m y se procedió para la programación del dosificador, el cual es activado por un motor a pasos modelo **42J1848-425-SX** con un controlador **IBT4** (4.5 a 12 V). Para medir la distancia de siembra se adaptó un *encoder* a una rueda sin tracción, este tiene una resolución de 5000 pulsos por revolución con  $\pm 0.013$  cm de error. Cuando la rueda gira el *encoder* registra los pulsos y mediante el algoritmo programado y utilizando las expresiones descritas anteriormente se calcula la distancia recorrida en todo momento. Una vez que se cumple la distancia programada se hace girar el dosificador de 5 cangilones 70° y descarga una semilla depositándola al suelo de manera precisa.

### **3.4. 12. Algoritmo de control para el sistema de siembra.**

En la Figura 14 se muestra el diagrama de flujo y algoritmo desarrollado. Para cuando el robot se desplace, entonces se inicia el sistema con la declaración de variables del *encoder* y el motor a pasos; de tal manera que, al girar la rueda secundaria, el *encoder* comienza a medir y al haber registrado 13 cm se activa el giro del motor 70° para descargar la semilla al suelo y así sucesivamente continuar el ciclo hasta detener el robot.

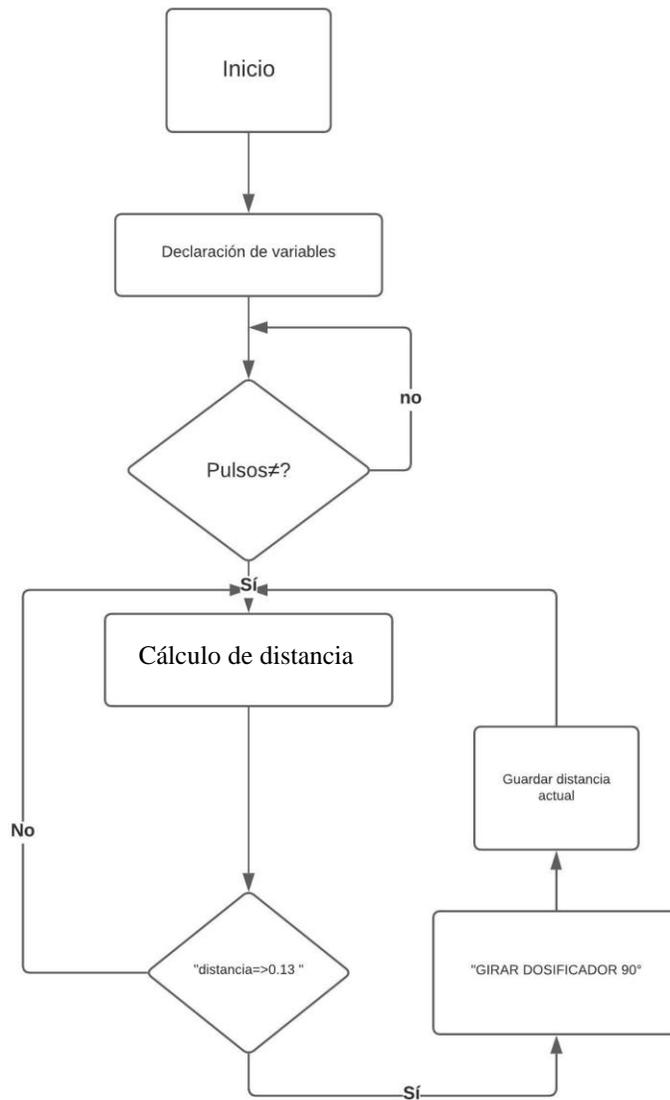


Figura 14. Diagrama de flujo del sistema de siembra.  
Fuente: elaboración propia.

### 3.4.13. Conexión del circuito eléctrico de la sembradora.

La conexión del circuito se realizó como se muestra en la Figura 13, en ésta se tiene la configuración del sistema de corte del suelo, sistema de siembra con la dosificación autónoma. Para el cual, se utilizaron dos tarjetas arduinos MEGA 2560 una que viene desde el robot y la siguiente que controla todo el sistema de siembra.

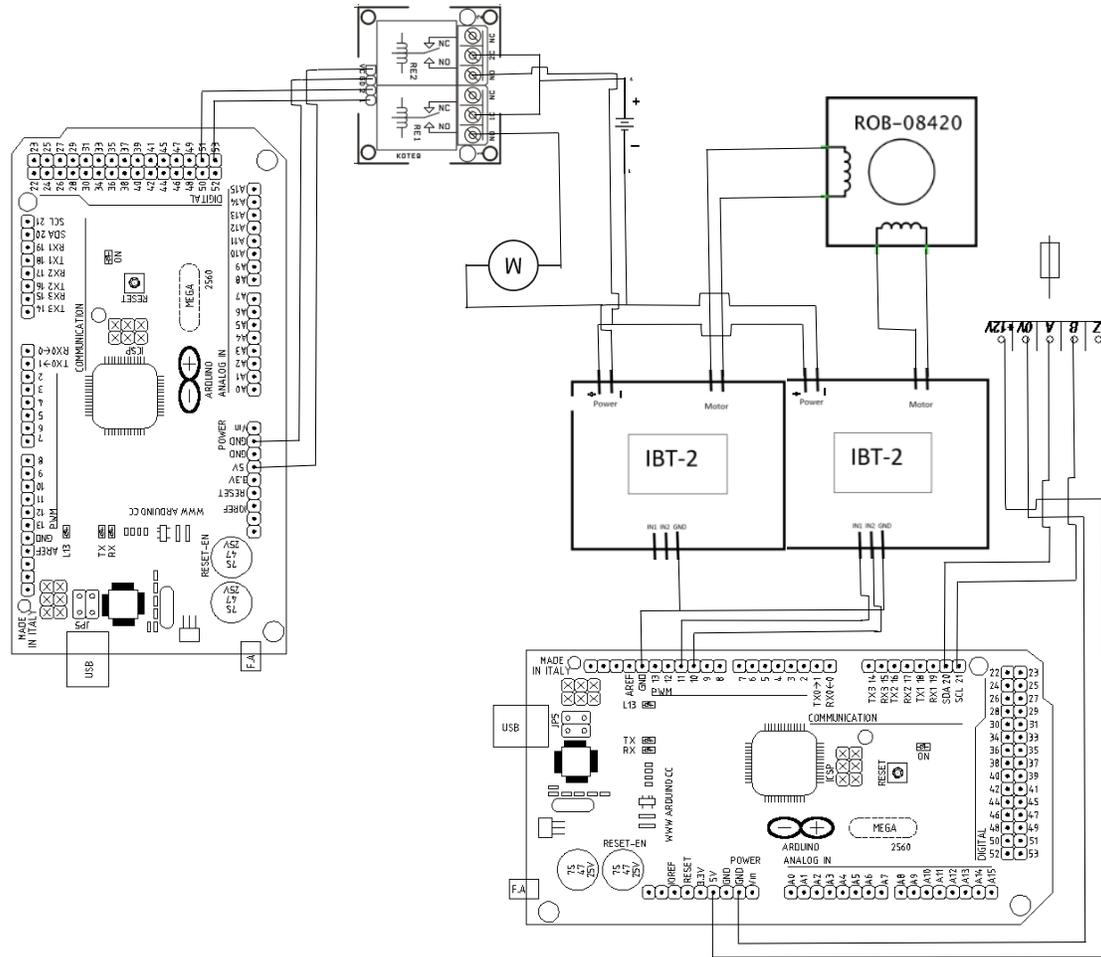


Figura 15. Diagrama de circuito de sistema de corte de suelo y dosificación de semillas.  
Fuente: elaboración propia.

### 3.4.14. Programación del algoritmo para detección y conteo de semilla.

Para complementar el sistema de siembra se instaló un circuito para detección y conteo de semilla ubicado en la descarga con un diodo láser **EE-SHT126** (a) como emisor y un receptor láser **EE-SHT126RM** (b), con esto se realizó el sensor láser infrarrojo Figura 14.

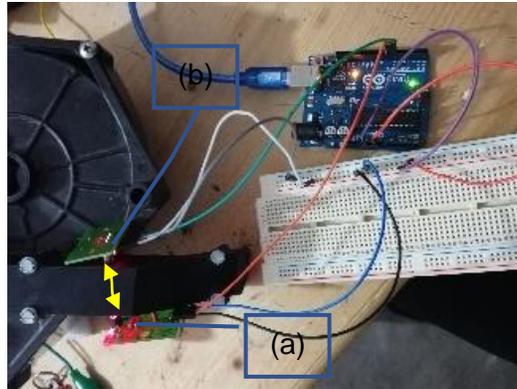


Figura 16. Sistema de alarma y conteo de semilla en sembradora.  
Fuente: elaboración propia.

El algoritmo programado activa en HIGH al diodo láser y el receptor láser al recibir la señal del paso de la semilla e interrumpe el haz del láser para ponerlo en LOW como se muestra en la Figura 17. Además, tiene la función de realizar la suma de las semillas detectadas.

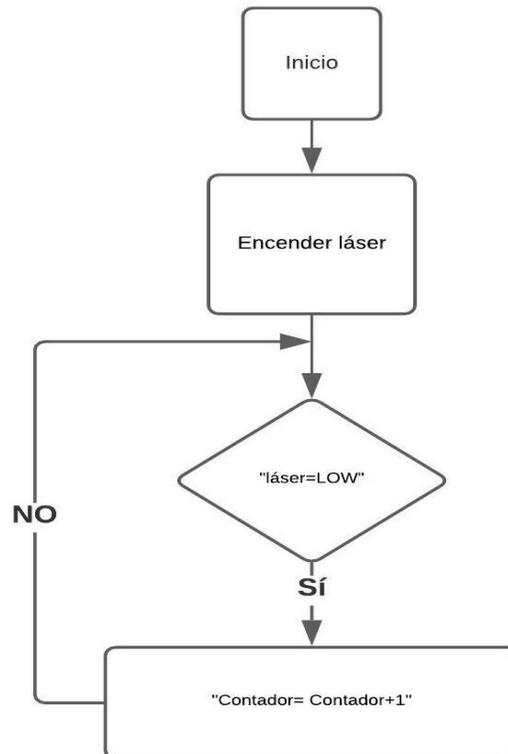


Figura 17. Diagrama de flujo para detección y conteo de semilla.  
Fuente: elaboración propia.

### 3.4.15. Pruebas de funcionamiento y evaluación de sembradora.

Las pruebas de funcionamiento de la sembradora se realizaron para cada sistema por separado, además se hicieron de manera simultánea para todos los sistemas en campo. También, se establecieron evaluaciones mediante la norma mexicana NMX-O-222-SCFI-2014 para caracterizar una sembradora de precisión.

### 3.4.16. Pruebas de disco de corte.

Para el sistema de corte del suelo se realizaron pruebas de funcionamiento en campo, donde se seleccionó un terreno con labranza mínima y otro con labranza tradicional. Para esto el disco de corte se dejó pivotante para romper un máximo de 10 cm. De acuerdo con la evaluación de velocidad del robot se tiene un promedio máximo de  $4.6 \text{ km h}^{-1}$ , el cual nos resulta útil para que el disco logre cortar la maleza y el suelo a 93 rpm que gira el motoreductor. Con base en lo anterior, se muestra la Figura 18, donde se realizaron modificaciones al disco de corte por uno de mayor diámetro como se mencionó anteriormente.

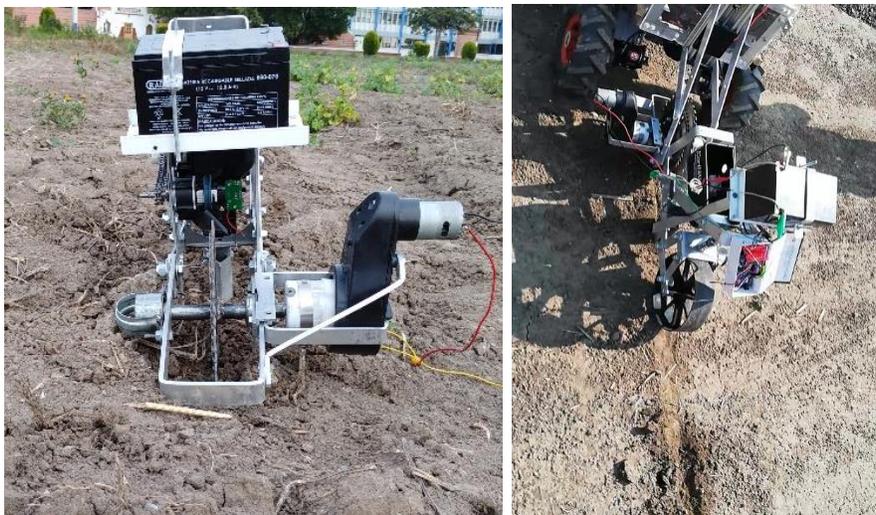


Figura 18. Prueba de funcionamiento de disco de corte de suelo.  
Fuente: elaboración propia.

### 3.4.17. Pruebas de funcionamiento y evaluación de sistema de siembra en campo.

Para las pruebas de funcionamiento se utilizó un plato dosificador de 5 canjilones, además se imprimió un dosificador de 4 canjilones de recolección de semillas de maíz. Primero se seleccionaron semillas con características uniformes, las cuales deben cumplir la esfericidad y oblongo para siembra. De acuerdo con Mohsenin (1986), éstas variables son importantes para realizar una dosificación precisa por los platos y así garantizar una siembra monograno.

Otra prueba de funcionamiento en campo, fue la velocidad máxima del robot a  $4.6 \text{ km h}^{-1}$  y además tener la referencia de la fuerza horizontal requerida por la sembradora y evaluar el robot en un terreno con labranza convencional (Figura 19).



Figura 19. Prueba de funcionamiento sistema de siembra y arrastre del Robot agricultor.

Fuente: elaboración propia.

Para la evaluación de la sembradora se preparó una parcela experimental de 25 por 25 metros (24 surcos de 24 m) con una densidad de población de 1,846 plantas en la superficie para la distancia entre plantas de 0.13 m, donde se determinó la productividad de la máquina y la calidad de siembra en campo para obtener la caracterización técnica. Primero se midieron las variables velocidad de trabajo (VT), distancia entre semilla (DS), profundidad de siembra (PS), y emergencia de semillas en dos metros lineales (ESL) a los 8 días de haber realizado la labor. Para la

evaluación en campo y la experimentación se adaptaron las especificaciones de la norma mexicana NMX-O-222-SCFI-2014. Para esto, el experimento consta de dos tratamientos, labranza tradicional (LT) con 12 surcos (923 Plantas) y labranza sin rastreo (LSR) con 12 surcos (923 plantas) en parcelas apareadas a velocidad máxima de avance del robot agricultor VM: PWM=100%=4.6 km h<sup>-1</sup> en vacío. Con esto se obtuvo el tiempo en 24 metros de avance lineal y medir de manera aleatoria las variables de DS, PS y ESL en el terreno, respectivamente.

### 3.5. Resultados y discusiones.

#### 3.5.1 Sistema de corte de suelo y sistema de control de profundidad.

Del diseño digital 3D Figura 9 (A) se modificó el sistema de corte del suelo como se muestra en la Figura 20, se cambió a un diámetro de 25.4 cm del disco, lo cual permitió romper el suelo y que el cincel lograra de 5 a 7 centímetros de profundidad en la siembra; en terrenos con LSR. Además, se mejoró el funcionamiento de control de profundidad agregándole un esparrago de 10 cm y una perilla para graduar la altura de la llanta compactadora, en este componente la rueda no tocaba el suelo y se le adaptó un resorte, y además la batería en la parte trasera como contrapeso. En la Figura 12 se observa cada uno de los componentes que la integran.



Figura 20. Disco para romper el suelo.



Figura 21. Sistema de control de profundidad.

Fuente: elaboración propia.

### 3.5.2. Sistema de siembra.

El sistema de siembra cuenta con dosificador para depositar semilla por golpe, por lo que, Soza *et al.* (2011) fundamenta que, la dosificación monograno en coincidencia con una conducción recta y de poca altura de caída presenta un mejor comportamiento, evaluado a través del índice de calidad, donde surge una sustancial diferencia en la disminución de las duplicaciones y en menor medida de fallos respecto al sistema de dosificación a chorrillo y tubo conductor cilíndrico de altura.



Figura 22. Siembra en suelo labrado.

Fuente: elaboración propia.

El conjunto robot-sembradora se comportó estable con el sistema de visión artificial, el cual identifica dos líneas presentadas (color verde) y encuentra el centro de gravedad para trasladarse hasta la cabecera y así girar mediante la función remota. Por lo que, para LT se obtuvo un promedio de distancia entre semillas de 16 cm y para LSR se obtuvo una distancia entre semillas de 12.5 cm, esto indica que la sembradora tiene mejor funcionamiento en LSR, así mismo como se muestra en el Cuadro 3, la desviación estándar es menor en LSR y con ello obteniendo una mayor precisión que en LT. Esto se puede apreciar en la Figura 20, además la profundidad

de siembra con un promedio de 5 a 7 cm sin detener el vehículo y al detenerlo se reinicia parando el sistema (Figura 23).

Cuadro 3. Plantas obtenidas en 2 metros lineales.

Tratamiento de LSR				
	Promedio (P2)	Densidad plantas (12 mL)	DE	CV (%)
P2mL	16	960	1.91	11.9
Tratamiento LT				
P2mL	12.5	750	6.4	51.2

P2mL: plantas en 2 metros Lineales; DE: Desviación Estándar; CV: Coeficiente de Variación; mL: Metros lineales. Fuente: elaboración propia.



Figura 23. Siembra de maíz en LSR.  
Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, Trupt-A. y Jayashree-S. (2017) presentaron un dispositivo el cual detecta obstáculos mediante sensores ultrasónicos, para la siembra tiene una rueda giratoria donde hay semillas que caen desde un tambor y en el proceso de plantación también lo realiza sin pérdidas significativas de semillas. Sin embargo, aún tiene problemas en la dosificación, debido a que al tener diferencia en el patinaje no logra la precisión o la distancia predispuesta entre semillas. Tal es el caso de Ayane *et al.* (2018) con un robot con motores de CD y al funcionar deposita las semillas cada 10 cm. por una compuerta y al apagar los motores el robot se

detiene, lo cual dificulta su facilidad en la operación y problemas al seguir funcionando porque sigue tirando semillas.

### 3.5.3. Ensamble general de sembradora.

De acuerdo con el diseño planteado y requerimientos técnicos para el funcionamiento de la sembradora, ésta cumplió las especificaciones técnicas solicitadas para trabajar en conjunto robot-sembradora, por lo que se puedan establecer cultivos básicos de México principalmente maíz y frijol. Con el prototipo se obtuvieron resultados con menor precisión en terrenos con cobertura mayor al 30% como se maneja en la agricultura de conservación; además se cumplió uno de los puntos importantes de que el robot cumpliera con la fuerza de tiro horizontal requerida para trabajo en terrenos con labranza mínima y labranza convencional. En la Figura 21 se muestra el acoplamiento robot-implemento. Cada sistema opera de manera independiente y autónoma para calibrar de acuerdo a los parámetros agrícolas de las semillas a sembrar.



Figura 24. Conjunto Robot-Sembradora agricultor Voltan.  
Fuente: elaboración propia.

Al respecto Bragachini *et al.* (2017) mencionan sistemas de siembra inteligentes con sensores, los cuales informan sobre contenido de materia orgánica, limpieza del surco, cámara de aire, temperatura y humedad del suelo; manejando densidad de siembra individual. Es decir, con conectividad Cam Bus y motores eléctricos la

variabilidad de un metro cuadrado de densidad variable dentro de un lote. Éstos tipos de tecnología solo se ha implementado en las empresas de gran prestigio y por lo que su costo rebasa la rentabilidad de los pequeños productores. Según, Reetesh-V. y Pranali-M. (2018) en un sistema electrónico las semillas son lanzadas en la secuencia apropiada, lo que resulta en una germinación adecuada de las semillas y usando este proceso el desperdicio de semillas se reduce en mayor medida. Además, se debe garantizar precisión y la menor afectación al ambiente.

### 3.5.4. Diagrama de flujo para el sistema autónomo de la sembradora.

La función de la sembradora tirada por un robot *skid steer* fue dosificar la semilla de manera autónoma a una profundidad de cinco a diez centímetros. Para esto, se desarrolló el diagrama de flujo para declarar variables de entrada y salida para que realizara acciones en los motores (giro de 70° en el eje) y el plato dosificador descargue una semilla cada 13 cm, como se muestra en la Figura 22.

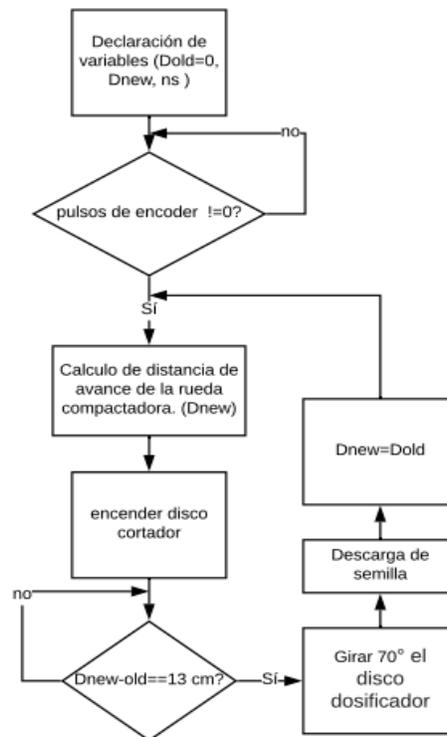


Figura 25. Diagrama de funcionamiento Robot-Sembradora Voltan.  
Fuente: elaboración propia.

### 3.5.5. Caracterización técnica de la sembradora.

Al obtener los valores de funcionamiento de la sembradora en campo se caracterizó cada uno de los datos técnicos de la máquina como se describen el Cuadro 4. De acuerdo con pruebas realizadas en el OCIMA-INIFAP-2019, el robot tiene una fuerza horizontal en la barra de tiro de hasta 147.15 Newtons, y con dimensiones óptimas sin afectar su estabilidad, por lo que el robot cuenta con la fuerza de tiro necesaria para arrastrar la sembradora hasta en terrenos sin labranza. Cabe mencionar, de que el equipo cumplió con los parámetros agronómicos requeridos por las especies de maíz y frijol. La innovación de este trabajo se encuentra en trámite de modelo de utilidad con solicitud MX/u/2019/000091 (Velázquez-López y García-Hernández, 2019) (Anexo 4.1). Además, se realizaron dos resúmenes para publicar en la memoria del congreso agronómico (CINCA) 2019 y 2020, los cuales se pueden observar en el apartado de anexos 4.2 y 4.3.

Cuadro 4. Características técnicas de sembradora autónoma para robot agricultor.

<b>Sistema</b>	<b>Características</b>	<b>Capacidad</b>
Sembradora autónoma	Masa	10 kg
Enganche y chasis	Suspensión	Cuatro barras
	Largo	69 cm
	Ancho	33 cm
	Alto	50 cm
Siembra	Distancia entre semilla con disco de 4 cangilones	Variable de 10-30 cm
	Profundidad de siembra	5 a 10 cm
Disco abridor de suelo	Profundidad de corte	12 cm
	Velocidad de giro	93 rpm

Fuente: elaboración propia.

Thorat *et al.* (2017), midieron en su prototipo de sembradora la cantidad de semillas que caen al suelo. Obtuvieron como resultados en el cultivo de maíz una distancia de 12 a 25 cm con una profundidad de 2-4 cm. De tal manera que, el conjunto robot-sembradora presentó mejores condiciones técnicas en cuanto a parámetros requeridos del cultivo para las regiones de México.

Por lo que respecta a la velocidad de trabajo, según Pittala-Rajaiah *et al.* (2016) en su prototipo electrónico para siembra directa muestra valores de hasta 3.0 km h<sup>-1</sup>, lo cual es inferior a los resultados encontrados en el prototipo y también nos dice que un dispositivo con esas características debe tener la capacidad de ser movido por una persona, así como el mostrado en el Figura 24. Además, con el uso de este tipo de tecnología, se ahorra cerca del 25-30% del agua. Así mismo, se ha demostrado que ahorra tiempo y aumenta la productividad de los cultivos en 5-10%. Por otro lado, Saravanan (2018) demostró con su máquina que, la economía es la característica más destacada, porque no requiere ninguna energía eléctrica es independiente del tractor o bueyes que no son alcanzables por los agricultores con menor posibilidad económica. Al ser operada manualmente, la pérdida de rendimiento puede disminuir sustancialmente.

### **3.6. Conclusiones.**

Se desarrolló un sistema de siembra con dosificación variable y autónomo de fácil operación. El chasis se fabricó con aluminio para hacerlo ligero (10kg), se utilizó un depósito de plástico para la semilla y se imprimió en 3D un plato dosificador. Se instaló un motor a pasos para accionar el plato dosificador y se instrumentó con un *encoder* y un láser. El control se realizó con una tarjeta Arduino MEGA. la implementación del *encoder* y una rueda secundaria permitió medir la distancia y con ello activar el plato dosificador con precisión. Además, se calibró para sembrar diferentes especies de grano medio (maíz y frijol principalmente) y garantizar una buena calidad de siembra. Se logró uniformidad en la profundidad siembra (5 a 10 cm) gracias al disco de corte que rompió el suelo y el cincel abridor tuvo menor resistencia. Además, Se logró una dosificación variable de semillas de manera controlada y predefinida. El conjunto robot-sembradora se condujo por el campo agrícola sin problemas de patinaje debido a que no rebasa la fuerza de tracción requerida. En general se puede concluir que una siembra de calidad puede marcar la diferencia en los rendimientos de los cultivos.

### 3.7. Agradecimientos.

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico para realizar este trabajo; también el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por la cooperación en realizar pruebas para la evaluación. A la universidad Autónoma Chapingo por la estancia y el conocimiento brindado por los catedráticos.

### 3.8. Literatura citada.

Ayane, S.; Bhor-Rajashri, A. and Madane-Kajal A. (2018). Agricultural Robot for Automatic Seeding. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. Vol. 7, Issue 3. pp. 2531-2535.

Abdulrahman; Mangesh K.; Umesh, K.; Ahmadakbar. (2017). Seed sowing robot. *International Journal of Computer Science Trends and Technology*. Vol. 5 Issue 2. pp. 131-143.

ARG-AGRO. (s.f). Sembradora de precision Earthway. Folleto técnico de sembradora, EUA, 1 p. Consultado 01-09-2020 en [http://www.arg-agro.com.ar/product\\_info.php/sembradora-precision-earthway-para-hortalizas-discos-p-229](http://www.arg-agro.com.ar/product_info.php/sembradora-precision-earthway-para-hortalizas-discos-p-229).

Budynas G. R. y K. Nisbett, J. (2011). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. Editorial Mc Graw Hill. Novena edición. México. 1059 p.

Bragachini M.; Sánchez, F.; Urrets Z., G.; Scarmuzza, F.; Villarroel, D. y Vélez, J. P. (2017). Dossier de sembradoras. INTA Manfredi, Cordoba, Argentina. 12 p.

Campos M., S. G., Z. Cadena, M. C. Reynolds, A., M. Jácome, S., Ballado C., J. A., B. Bonilla, J. J., E. Esqueda, V. A. (2007). Desarrollo de un sistema de siembra neumático de alta precisión para labranza de conservación para tractores de potencia media Terra Latinoamericana, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. vol. 25, núm. 1, pp. 85-91

Cerutti K., A., Calvo y S., Bruun. (2014). Comparison of the environmental performance of light mechanization and animal traction using a modular LCA approach. *Journal of Cleaner Production*. 64. pp. 396-403.

Espinoza V., D. (2017). Semblanza del Dr. Reggie J. Laird Broom: pionero de la ciencia del suelo en México. *Terra Latinoamericana* 35: 1-6 pp.

- FAO-SAGARPA. (2000): Informe Nacional Programa Mecanización, México D.F.
- Fernández N., M. A. I. Arias, R. y Nissen J. M. (2002). La mecanización agrícola en la pequeña agricultura, un estudio de caso; Cunco IX región chile. Valdivia, Chile; *Agro surv.*30 n.2. 17 p.
- Fountas, S.; Søren, M. P. and Simon, B. (2003). ICT in precision agriculture - diffusion of technology. Institute of Agricultural Sciences. The Royal Veterinary and Agricultural University, Denmark.
- INEGI. (2017). Consultado 01-05-2020 en <http://www.inegi.org.mx/programas/ena/2017/>.
- Jayakrishna, P. V. S.; Reddy, M. S.; Sai, N. J.; Susheel, N. and Peeyush, K. P. (2018). Autonomous seed sowing agricultural robot. *International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, Bangalore, India. pp. 2332-2336.
- Jiménez, S. L., J. I. Cortes F. y A. Turrent F. (2014). Reggie J. Laird 1920-2013. *In Memoriam*. 8. Fundación COLPOS.
- Kepner, R. A., R. Bainer y E. Barger C. (1982). Principles of farm machinery. 3rd edition. AVI Publishing Company. Westport, CT, USA. 527 p.
- Mohsenin, N. N. (1986). Physical properties of plant and animal materials, (structure, physical characteristics and mechanical properties). Second edition y upgrade edition. Gordon and Inc., Breach, Science Publishers. New york. 882 p.
- NMX-O-222-SCFI-2014. (2014). Tractores, implementos agrícolas-sembradoras neumáticas de precisión-especificaciones y métodos de prueba. México, D.F. 36 p.
- Pittala, R.; Indra, M.; Adarsh, K.; Satish-D., L.; Ashok-Kumar, S. and Cini, V. (2016). Development and evaluation of electronically controlled precision seed-metering device for direct-seeded paddy planter. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, vol. 86, num 5. pp. 598–604,
- Reetesh-V. G. and Pranali-M. B. (2018). Automatic Seed Plantation Robot with e-yantra and IOT. *Revista IJSRSET*, vol. 4, issue 7. pp. 29-31.
- Saravanan, K.; Singh-Sivam, S.; Rajendra-Kumar, S. and Sathiya-Moorthy, K. (2018). Design and fabrication of automatic seed sowing robot for agricultural field. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. Vol. 120, No. 6. pp. 11749-11766.
- Soza, E. L., P. Quiros J., D. Agnes W. y N. Montenegro. (2011). Variabilidad de una sembradora experimental alistada con dos sistemas de dosificación en la

- implantación de soja. Rev. Facultad de Agronomía, UBA 31(3). Buenos Aires, Argentina. pp. 193-201.
- Torres S., J.; Romantchik K., E.; López C., I. I.; López C. G. de J. (2018). Sistema mecatrónico para el control de los dosificadores de fertilizante y pesticida granulados de una sembradora-fertilizadora. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas volumen especial número 21. México. 15 p.
- Turan, J.; Višacki, V.; Sedlar, A.; Pantelic, S.; Findura, P.; Máchal, P.; Marecek, J. (2015). Seeder with different seeding apparatus in maize sowing. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, Vol. 63 núm. 18. pp. 137-141.
- Thorat-Swapnil, V.; Madhu-L., K.; Patil-Girish, V. and Patil-Rajkumar, N. (2017). International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). Volumen 4, num. 9. pp 704-707.
- Trupt-A., S. and Jayashree-S, A. (2017). Design and Development of Automatic Seed. International Journal of Electronics and Communication Engineering. India. pp. 2348 – 8549.
- Väätäinen, K.; Asikainen, A.; Sikanen, L.; A. Ala-Fossi. (2006). The cost effect of forest machine relocations on logging costs in Finland For. Stud., 45 (450) pp. 135-141.
- Velázquez-López, N. y García-Hernández, R. V. (2019). Sembradora eléctrica multifuncional. Solicitud de registro de modelo de utilidad, expediente MX/u/2019/000091. Texcoco, Edo. de México. 6 p.
- Zepeda J. M. y P. Lacki. (2003). Educación agrícola superior: la urgencia del cambio. Segunda Edición. Dirección de Centros Regionales. Universidad Autónoma Chapingo. ISBN-968-884-923-5.

## 4. Anexos.

### 4.1. Trámite de patente.

<b>gob mx</b>																	
Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial																	
Solicitud de Patente de Invención o de Registro de Modelo de Utilidad o de Registro de Diseño Industrial																	
<table border="1"> <tr><td style="text-align: center;">Homoclave del formato</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">IMPI-00-009</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Fecha de publicación del formato en el DOF</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">24 / 05 / 2018</td></tr> </table>	Homoclave del formato	IMPI-00-009	Fecha de publicación del formato en el DOF	24 / 05 / 2018	<table border="1"> <tr><td style="text-align: center;">Folio y Fecha de Recepción</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><b>INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL</b> Dirección Divisiva de Patentes</td></tr> <tr><td>Solicitud: <b>MX/u/2019/000091</b></td></tr> <tr><td>Expediente: <b>MX/u/2019/000091</b></td></tr> <tr><td>Fecha: <b>21/FEB/2019</b> Hora: <b>11:42:54</b></td></tr> <tr><td>Folio: <b>MX/E/2019/011640</b> 318120</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><small>MX/E/2019-011640</small></td></tr> </table>	Folio y Fecha de Recepción	<b>INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL</b> Dirección Divisiva de Patentes	Solicitud: <b>MX/u/2019/000091</b>	Expediente: <b>MX/u/2019/000091</b>	Fecha: <b>21/FEB/2019</b> Hora: <b>11:42:54</b>	Folio: <b>MX/E/2019/011640</b> 318120		<small>MX/E/2019-011640</small>				
Homoclave del formato																	
IMPI-00-009																	
Fecha de publicación del formato en el DOF																	
24 / 05 / 2018																	
Folio y Fecha de Recepción																	
<b>INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL</b> Dirección Divisiva de Patentes																	
Solicitud: <b>MX/u/2019/000091</b>																	
Expediente: <b>MX/u/2019/000091</b>																	
Fecha: <b>21/FEB/2019</b> Hora: <b>11:42:54</b>																	
Folio: <b>MX/E/2019/011640</b> 318120																	
																	
<small>MX/E/2019-011640</small>																	
<table border="1"> <tr><td style="text-align: center;">Datos generales de la solicitud</td></tr> <tr><td><small>Marcar con una X solo una opción</small></td></tr> <tr><td><input type="radio"/> Solicitud de Patente de Invención</td></tr> <tr><td><input checked="" type="radio"/> Solicitud de Registro de Modelo de Utilidad</td></tr> <tr><td><input type="radio"/> Solicitud de Registro de Diseño Industrial, especifique:</td></tr> <tr><td><input type="radio"/> Modelo Industrial    <input type="radio"/> Dibujo Industrial</td></tr> </table>		Datos generales de la solicitud	<small>Marcar con una X solo una opción</small>	<input type="radio"/> Solicitud de Patente de Invención	<input checked="" type="radio"/> Solicitud de Registro de Modelo de Utilidad	<input type="radio"/> Solicitud de Registro de Diseño Industrial, especifique:	<input type="radio"/> Modelo Industrial <input type="radio"/> Dibujo Industrial										
Datos generales de la solicitud																	
<small>Marcar con una X solo una opción</small>																	
<input type="radio"/> Solicitud de Patente de Invención																	
<input checked="" type="radio"/> Solicitud de Registro de Modelo de Utilidad																	
<input type="radio"/> Solicitud de Registro de Diseño Industrial, especifique:																	
<input type="radio"/> Modelo Industrial <input type="radio"/> Dibujo Industrial																	
Datos generales del o de los solicitante(s)																	
<table border="1"> <tr><td style="text-align: center;">Personas físicas</td></tr> <tr><td>CURP (opcional):</td></tr> <tr><td>Nombre(s):</td></tr> <tr><td>Primer apellido:</td></tr> <tr><td>Segundo apellido:</td></tr> <tr><td>Nacionalidad:</td></tr> <tr><td>Teléfono (lada, número, extensión):</td></tr> <tr><td>Correo electrónico (opcional):</td></tr> <tr><td style="text-align: right;"><input type="radio"/> Continúa en anexo</td></tr> </table>	Personas físicas	CURP (opcional):	Nombre(s):	Primer apellido:	Segundo apellido:	Nacionalidad:	Teléfono (lada, número, extensión):	Correo electrónico (opcional):	<input type="radio"/> Continúa en anexo	<table border="1"> <tr><td style="text-align: center;">Personas morales</td></tr> <tr><td>RFC (opcional): <b>UAC771230988</b></td></tr> <tr><td>Denominación o razón social: <b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO</b></td></tr> <tr><td>Nacionalidad: <b>MEXICANA</b></td></tr> <tr><td>Teléfono (lada, número, extensión): <b>595 95 215 00 ext. 1787</b></td></tr> <tr><td>Correo electrónico (opcional): <b>dgip.direccion@chapingo.mx</b></td></tr> <tr><td style="text-align: right;"><input type="radio"/> Continúa en anexo</td></tr> </table>	Personas morales	RFC (opcional): <b>UAC771230988</b>	Denominación o razón social: <b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO</b>	Nacionalidad: <b>MEXICANA</b>	Teléfono (lada, número, extensión): <b>595 95 215 00 ext. 1787</b>	Correo electrónico (opcional): <b>dgip.direccion@chapingo.mx</b>	<input type="radio"/> Continúa en anexo
Personas físicas																	
CURP (opcional):																	
Nombre(s):																	
Primer apellido:																	
Segundo apellido:																	
Nacionalidad:																	
Teléfono (lada, número, extensión):																	
Correo electrónico (opcional):																	
<input type="radio"/> Continúa en anexo																	
Personas morales																	
RFC (opcional): <b>UAC771230988</b>																	
Denominación o razón social: <b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO</b>																	
Nacionalidad: <b>MEXICANA</b>																	
Teléfono (lada, número, extensión): <b>595 95 215 00 ext. 1787</b>																	
Correo electrónico (opcional): <b>dgip.direccion@chapingo.mx</b>																	
<input type="radio"/> Continúa en anexo																	
Domicilio del o de los solicitante(s)																	
Código postal: <b>56230</b>																	
Calle: <b>Parasitología</b>																	
<small>(No escribir Acreditaciones por las Unidades Académicas, Calles y Correo)</small>																	
Número exterior: <b>No 1</b>	Número interior:																
Colonia: <b>Col. de Profesores</b>																	
<small>(No escribir Ampliación, Loteo, Residencial, Hotel, Fraccionamiento, Sincronía)</small>																	
Municipio o demarcación territorial: <b>Texcoco</b>	Localidad: <b>Chapingo</b>																
Entidad Federativa: <b>Estado de México</b>	Entre calles (opcional):																
País: <b>México</b>	Calle posterior (opcional):																
Datos generales del o de los inventor(es) o diseñador(es)																	
CURP (opcional):																	
Nombre(s): <b>Noé</b>																	
Primer apellido: <b>Vélazquez</b>																	
Segundo apellido: <b>López</b>																	
Nacionalidad: <b>Mexicana</b>																	
Teléfono (lada, número, extensión): <b>5951143092</b>																	
Correo electrónico (opcional): <b>nvelazquez@taurus.chapingo.mx</b>																	
<input checked="" type="checkbox"/> Continúa en anexo																	

**Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial**

**Domicilio del o de los inventor(es) o diseñador(es)**

Código postal: <b>56230</b>	
Calle: <b>Parasitología No. 1</b>	
Número exterior: <b>28</b>	Número interior:
Colonia: <b>Col. de Profesores</b>	
Municipio o demarcación territorial: <b>Texcoco</b>	Localidad: <b>Chapingo</b>
Entidad Federativa: <b>Estado de México</b>	Entre calles (opcional):
País: <b>Mexico</b>	Calle posterior (opcional):

**Datos generales del o de los apoderado(s)**

CURP (opcional):	Registro General de Poderes (opcional):
Nombre(s): <b>Juan Luis</b>	RFC (opcional):
Primer apellido: <b>Moreno</b>	Teléfono (lada, número, extensión): <b>5570465872</b>
Segundo apellido: <b>Arellano</b>	Correo electrónico (opcional): <b>dgjp.dirección@chapingo.mx</b>

Continúa en anexo

**Domicilio para oír y recibir notificaciones**

Código postal: <b>56230</b>	
Calle: <b>Irrigación</b>	
Número exterior: <b>28</b>	Número interior:
Colonia: <b>Col. de Profesores</b>	
Municipio o demarcación territorial: <b>Texcoco</b>	Localidad: <b>Chapingo</b>
Entidad Federativa: <b>Estado de México</b>	Entre calles (opcional):
País: <b>Mexico</b>	Calle posterior (opcional):

**Datos generales de los autorizados para oír y recibir notificaciones**

Nombre(s):	Primer apellido:	Segundo apellido:	CURP (opcional):
<b>Paola Carolina</b>	<b>Fernández</b>	<b>Reyes</b>	

Continúa en anexo

**Datos de la solicitud**

Denominación o título de la invención, modelo de utilidad o diseño industrial: <b>SEMBRADORA ELÉCTRICA MULTIFUNCIONAL</b>
Fecha de divulgación previa (DD / MM / AAAA):

**Divisional de la solicitud**

No. Expediente en trámite:	Figura jurídica:
Fecha de presentación (DD / MM / AAAA):	

**PCT**

No. de solicitud internacional:
Fecha de presentación internacional (DD / MM / AAAA):

**Prioridad o prioridades reclamadas(s)**

País (oficina) de origen:	Fecha de presentación (DD/MM/AAA):	Número de serie:
	/ /	

Continúa en anexo

Bajo protesta de decir verdad, manifiesto que los datos asentados en esta solicitud son ciertos.

Lic. **Juan Luis Moreno Arellano**

Nombre y firma del solicitante o su apoderado.

Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial

Hoja adicional complementaria "Datos generales del o de los solicitantes"/  
 "Datos generales del o de los inventores o diseñadores"  
 (Use esta hoja en caso de que la solicitud sea presentada por dos o más personas físicas o morales)

Datos generales del solicitante o inventor o diseñador

Datos generales del solicitante

Datos generales del inventor o diseñador

Personas físicas	Personas morales
CURP (opcional):	RFC (opcional):
Nombre(s): <b>Raúl Vidal</b>	Denominación o razón social:
Primer apellido: <b>García</b>	
Segundo apellido: <b>Hernández</b>	
Nacionalidad: <b>Mexicana</b>	Nacionalidad:
Teléfono (lada, número, extensión): <b>01 595 9521787</b>	Teléfono (lada, número, extensión):
Correo electrónico (opcional):	Correo electrónico (opcional):

Domicilio del solicitante o inventor o diseñador

Código postal: <b>56230</b>	
Calle: <b>Parasitología</b> <small>(Por ejemplo: Avenida Insurgentes Sur, Boulevard Avila Camacho, Carretera, Carretera, etc.)</small>	
Número exterior: <b>No 1</b>	Número interior:
Colonia: <b>Chapingo</b> <small>(Por ejemplo: Amaliationes, Residencial, Jardines, etc.)</small>	
Municipio o demarcación territorial: <b>Texcoco</b>	Localidad: <b>Chapingo</b>
Entidad Federativa: <b>Estado de México</b>	Entre calles (opcional):
País: <b>México</b>	Calle posterior (opcional):

Datos generales del solicitante o inventor o diseñador

Datos generales del solicitante

Datos generales del inventor o diseñador

Personas físicas	Personas morales
CURP (opcional):	RFC (opcional):
Nombre(s):	Denominación o razón social:
Primer apellido:	
Segundo apellido:	
Nacionalidad:	Nacionalidad:
Teléfono (lada, número, extensión):	Teléfono (lada, número, extensión):
Correo electrónico (opcional):	Correo electrónico (opcional):

Domicilio del solicitante o inventor o diseñador

Código postal:	
Calle: <small>(Por ejemplo: Avenida Insurgentes Sur, Boulevard Avila Camacho, Carretera, Carretera, etc.)</small>	
Número exterior:	Número interior:
Colonia: <small>(Por ejemplo: Amaliationes, Residencial, Jardines, etc.)</small>	
Municipio o demarcación territorial:	Localidad:
Entidad Federativa:	Entre calles (opcional):
País:	Calle posterior (opcional):

## 4.2. Resumen en congreso agronómico 2019.



### VII Congreso Internacional y XXI Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas

23 al 26 de abril de 2019



#### DESARROLLO DE UNA SEMBRADORA PARA UN VEHÍCULO AUTÓNOMO

García H., R. V.<sup>1</sup>; Velázquez. L., N.<sup>2</sup>; Chávez A., N.<sup>3</sup>; Cruz M., P.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo. <sup>2</sup>Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo. <sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Carr. México - Texcoco, Km 38.5. Chapingo, Estado de México. C.P. 56230. México. Correo autor de correspondencia:

[nvelazquez@iaumis.chapingo.mx](mailto:nvelazquez@iaumis.chapingo.mx)

#### Introducción

En México, se tienen pequeñas superficies y condiciones orográficas difíciles donde la tracción animal es el medio para mecanizar un cultivo, por lo cual, los tractores agrícolas solo se han extendido en áreas favorables y con uso excesivo en su aplicación. En el mismo sentido, la intensa mecanización, la emigración rural y el abandono de las tierras de cultivo plantean problemas cada vez más apremiantes de empleo y mantenimiento del suelo (FAO, 2000). Se ha pensado que el aumento de la producción solo se logra a través del uso de máquinas agrícolas, principalmente tractores (Goe y McDowell, 1960). Cabe mencionar que, la innovación en la mecanización para pequeños productores es una alternativa para hacer competitivo y productivos sus campos agrícolas.

El proceso de mecanización en un cultivo, empieza con la labranza de suelo y siembra de semillas. Para ello, las sembradoras de precisión juegan un papel importante y tienen la función de abrir el surco a profundidad deseada, distribución monograno, controlar la distancia entre granos, cubrir y compactar con suelo la semilla (Kepner et al., 1992). Además, deben tener la capacidad de ajuste a los términos de espaciamiento y velocidad de avance determinados (García y Palau, 1983).

Con respecto a lo anterior, el objetivo general fue desarrollar un sistema de siembra para un vehículo autónomo con sistemas independientes, con la finalidad de controlar la profundidad de siembra, la profundidad de corte del suelo y la distancia entre semillas. Esto nos dará pauta para tener una mayor eficiencia y evaluar la calidad de siembra.

#### Materiales y Métodos.

El proyecto se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Chapingo, en el departamento de Posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua. Para la parte de diseño se siguió la teoría de (Budynas y Nisbett, 2011). Para esto, se inició con la identificación de las necesidades reconociendo el problema y encontrar alternativas de solución. Así mismo, se desarrolló un diseño conceptual con subfunciones que debe realizar; donde se organizó una lluvia de ideas planteando soluciones para un problema específico, primero debe romper el suelo y abrir el surco, segundo dosificar la semilla a una distancia de 20 a 30 cm y como último regular la profundidad de siembra de cinco a 10 cm.

Con respecto a las alternativas de solución y la lluvia de ideas se planteó la siguiente solución:

1) Esguante de suspensión a un vehículo autónomo, 2) Dosificador mecánico de plato vertical con cangilones, 3) Tren de siembra con sistema flotante (Sistema de cuatro barras), 4) Material aluminio, 5) Abre surcos por disco de corte, 6) Transmisión por cadenas con motores eléctricos, y 7) Control de profundidad con rueda de polímero.



## VII Congreso Internacional y XXI Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas

23 al 26 de abril de 2019



### Resultados y Discusión.

La sembradora obtuvo las características técnicas de funcionamiento para parámetros agronómicos del cultivo de maíz frijol, éstas se muestran en la Figura 1 y Cuadro 1. Cada sistema opera de manera independiente y se podrán calibrar de acuerdo con las especies a establecer.

Las características técnicas de la sembradora se describen en el Cuadro 1, para lo cual sus dimensiones resultaron favorables para un vehículo autónomo.

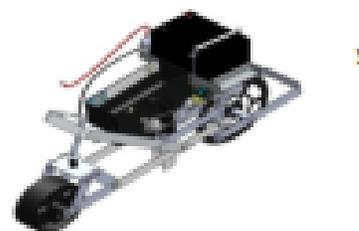


Figura 1. Sistema de siembra.

Cuadro 1. Características técnicas de sistema de siembra.

Sistema	Características	Capacidad
Enganche y chasis	Suspensión	Cuatro barras
	Largo	69 cm
	Ancho	33 cm
Siembra	Alto	36 cm
	Distancia entre semilla con disco de 4 cangilones	Variable de 10-30 cm
	Profundidad de siembra	5 a 10 cm
	Distancia entre semillas	Variable
	Velocidad de giro dosificador máx.	40.5 rpm
Disco abridor de suelo	Profundidad de corte	10 cm
	Velocidad de giro	93 rpm

### Conclusiones.

Con el sistema de siembra desarrollado se facilita la operación para cada sistema. Además, se puede calibrar para sembrar diferentes especies de grano medio y garantizar una calidad de siembra. Con el disco de corte se romperá el suelo y el cincel abridor de surco se anda con menor resistencia, esto nos ayuda a tener uniformidad en profundidad de siembra de 0 a 10 cm. Además, con la variación de velocidades de giro del motor del sistema de siembra, se podrá tener una dosificación variable de 10 hasta 30 cm entre semillas.

### Literatura Citada.

- Budynas G. R. y K. Nisbett, J. (2011). Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. Editorial McGraw Hill. Novena edición. México. 1059 P.
- FAO-SAGARPA. (2000): Informe Nacional Programa Mecanización, México D.F.
- García, C. y Palau, E. (1983). Mecanización De Los Cultivos Hortícolas. 4ta edición, Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 243 p.
- Goe, M. R. and R. McDowell E. (1950). Animal traction: guidelines for utilization. Department of Animal Science Cornell University Ithaca, New York. Editorial Cornell International Agriculture Mimeo. 64 p.
- Kepner, R. A., R. Bainer y E. Barger C. (1982). Principles of farm machinery. 3rd edition. AVI Publishing Company. Westport, CT, USA. 527 p.

### 4.3. Resumen en congreso agronómico 2020.



## VIII Congreso Internacional y XXII Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas

6 al 9 de octubre de 2020



### MECANISMO DE SIEMBRA ELECTRÓNICO PARA DOSIFICACIÓN VARIABLE

Garcla H., R. V.<sup>1</sup>; Velázquez. L., N.<sup>2</sup>; Chávez A., N.<sup>3</sup>; Cruz M., P.<sup>3</sup>; Garcla S., G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo. <sup>2</sup>Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo. <sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Carr. México - Texcoco, Km 38.5, Chapingo, Estado de México. C.P. 56230, México. Correo autor de correspondencia\*: rvelazquez@taurus.chapingo.mx

#### Introducción

En la agricultura, la tecnología ha tenido su impacto a nivel mundial gracias a los avances en mecanización y automatización, con esto reducir el esfuerzo humano, mejorar la eficiencia, tener fácil uso y un menor costo de aplicación. Al tener acceso al uso de las máquinas, los humanos obtuvieron más fuerza de trabajo con costos de gestión similares a la tracción animal y pudieron aumentar significativamente la productividad y la eficiencia en el tiempo de las operaciones de campo (Cerutti et al., 2014). Recientemente, de acuerdo con Abdulrahman (2017), los sistemas robóticos han sido de importancia en todos los ámbitos, organizaciones y unidades industriales. Por lo que, la tecnología robótica puede utilizarse en diferentes trabajos agrícolas, principalmente la siembra de semillas, el arado y otras tareas, y reduce la necesidad de mano de obra (Jayakrishna et al., 2018). Además, Turan (2018) señala que utilizar una sembradora de precisión en semillas de maíz, reduce el daño mecánico, horas de trabajo, y se logra un espaciado y profundidad de siembra homogéneo. Por consecuencia, el cultivo será uniforme en emergencia y desarrollo, así mismo se elevará la productividad.

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un mecanismo de siembra con dosificación electrónica y control mecánico de la profundidad de siembra. Con esto mejorar la calidad de siembra y lograr homogeneidad en distribución de las semillas en el suelo.

#### Materiales y Métodos

Para el desarrollo del mecanismo de siembra electrónico se inició con el diseño mecánico y se utilizó la teoría de (Budynas y Nisbett, 2011). Se tomó como base la sembradora manual Earthway. Se comenzó con la identificación de las necesidades para reconocer el problema y encontrar alternativas de solución. Para esto, las funciones principales fueron: romper el suelo y abrir el surco, dosificar la semilla a una distancia de diez a 30 cm y regular la profundidad de siembra de cinco a diez cm. Los diseños se desarrollaron en el software Solid Works 2016<sup>®</sup> (Figura 1). La sembradora consta de un a) depósito de semilla, b) dosificador de cangilones vertical, c) cincel para abrir el surco, d) motor a pasos **42J1848-425-SX** de 12 Volts, e) Arduino Atmega 2560 f) módulo de controladores **IBT4**, g) un módulo con dos relevadores **HL-328**, h) Encoder Incremental **E3088-3000-3-T-3**, i) gabinete del circuito, j) chasis principal y k) batería de 12 Volts. Se utilizó una rueda secundaria (RS) en la parte trasera conectada un Encoder mediante una banda dentada, con relación de transmisión 1:1. Se desarrolló un algoritmo para el control variable de semilla (Figura 3). El Encoder detecta la distancia recorrida por la RS, y de acuerdo con

la programación, se activa el motor a pasos para girar 70° y dejar caer una semilla. Además, se instaló un l) diodo láser y un l) módulo de receptor láser a la salida del



Figura 1. Vista isométrica de sistema siembra electrónico.



dosificador como sensor laser (Figura 2). Esto para detectar si la semilla fue depositada en el suelo. Si no fue así, se envía una señal para que vuelva a girar el dosificador 70°. De esta manera se garantiza que se tenga una siembra uniforme.

### Resultados y Discusión

Se desarrolló un mecanismo para dosificar la semilla de manera variable y autónoma con control electrónico. Además, consta de un mecanismo de ajuste de la profundidad de siembra de cinco a diez centímetros. El sistema se usó como un conjunto robot- sembradora para trabajar simultáneamente cuando el vehículo agrícola se mueve en la línea de siembra (Figura 2). También se desarrolló el algoritmo de control con variables de entrada y salida que ejecutó sistema al momento de girar la rueda secundaria y el plato dosificador descargue una semilla cada 13 cm como se muestra en la Figura 3. Con la prueba en campo se obtuvo una distancia entre semillas de maíz de 14 cm en promedio y una profundidad de 5 a 7 cm. La variación en la distancia se debió a ajustes mecánicos. En modo estático el mecanismo, debido a que no presenta vibraciones se obtiene una semilla por giro de 70° del disco dosificador, que equivale a 13 cm en distancia lineal.



Figura 2. Sistema de siembra electrónico acoplado a un vehículo remoto.

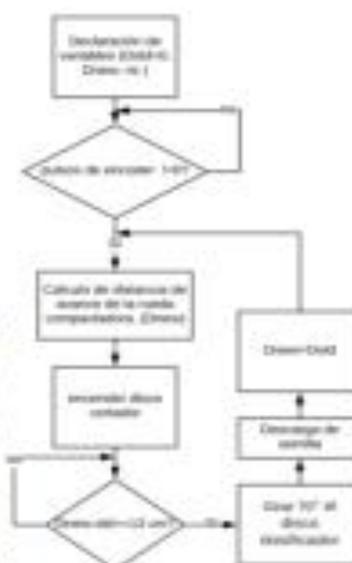


Figura 3. Diagrama de flujo de funcionamiento del sistema de siembra electrónico.

### Conclusiones

El mecanismo de siembra con control electrónico funcionó correctamente. La profundidad de siembra obtenida en la prueba de campo es la recomendada para maíz (5 a 7 cm). El algoritmo desarrollado es flexible y permite variar la dosis de siembra. Las pruebas se realizaron en terrenos con labranza tradicional, por lo que el reto está en suelos con labranza mínima. En general una siembra de calidad puede marcar la diferencia en los rendimientos obtenidos en los cultivos.

### Literatura Citada.

- Abdulrahman; Mangesh K.; Umesh, K.; Ahmadakbar. (2017). Seed sowing robot. *International Journal of Computer Science Trends and Technology*. Vol. 5 Issue 2. pp. 131-143.
- Budynas G. R. y K. Nisbett, J. (2011). *Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley*. Editorial Mc Graw Hill. Novena edición. México. 1059 p.
- Cerutti K., A., Calvo y S., Bruun. (2014). Comparison of the environmental performance of light mechanization and animal traction using a modular LCA approach. *Journal of Cleaner Production*. 64. pp. 396-403.
- Jayakrishna, P. V. S.; Reddy, M. S.; Sai, N. J.; Susheel, N. and Peeyush, K. P. (2018). Autonomous seed sowing agricultural robot. *International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, Bangalore, India. pp. 2332-2336.

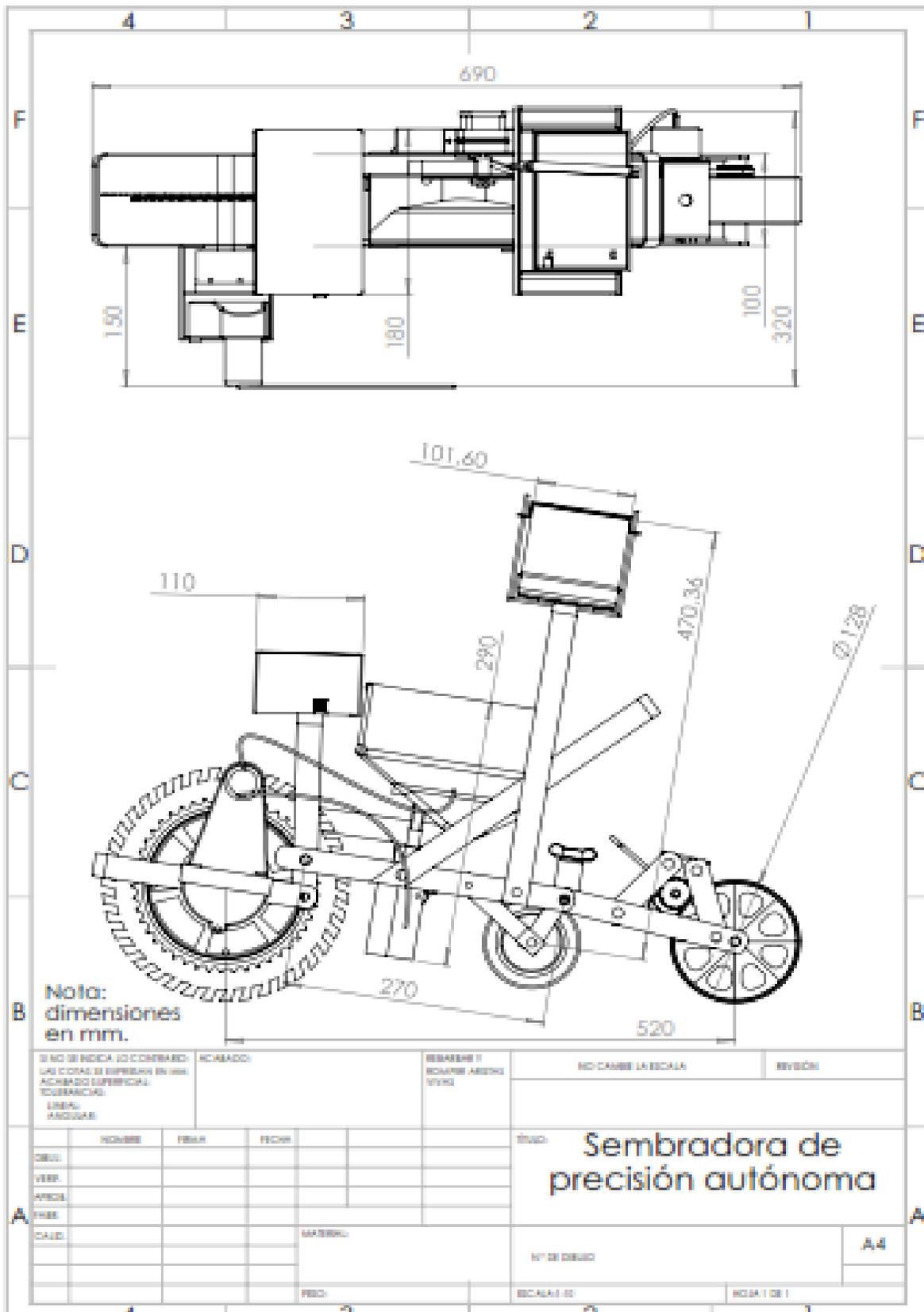


Figura 26. Sembradora con sistema de dosificación autónoma.

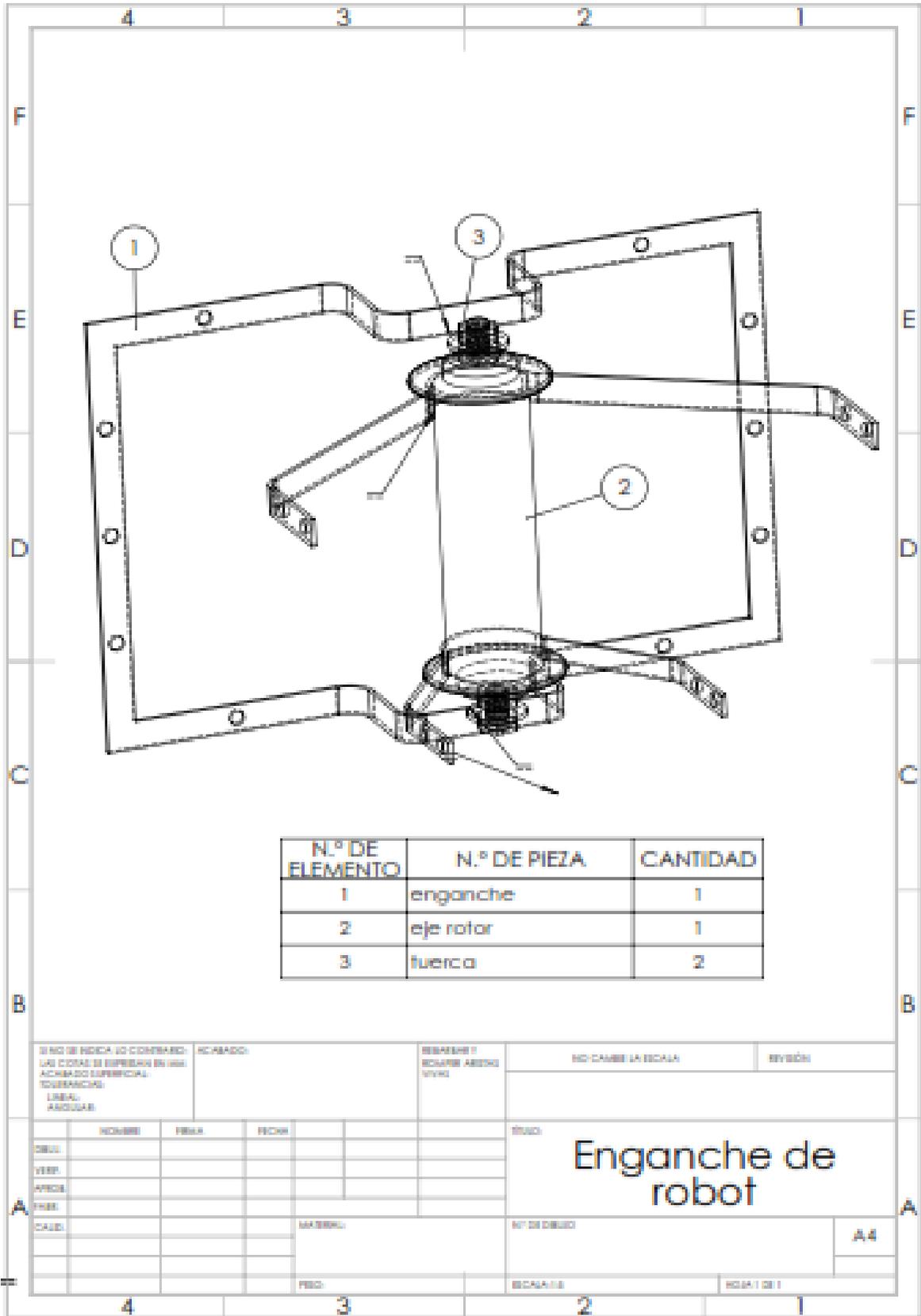


Figura 27. Enganche de robot-sembradora.