



**UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO**

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÓNICA

PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA MECÁNICA AGRÍCOLA

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:**

“Diseño de estructura electrónica de un contador de plantas para inventario  
de campo de agave”

**PRESENTA:** LIÑAN FLORES ALVARO ALEJANDRO

**DIRECTOR:** DR. JONATHAN CEPEDA NEGRETE

**CODIRECTOR:** CÉSAR GUTIÉRREZ VACA

IRAPUATO GTO, A 27 DE JUNIO DEL 2023



«2024, Año de Felipe Carrillo Puerto, Benemérito del Proletariado, Revolucionario y Defensor del Mayab.»  
«2024, 200 años de Grandeza: Guanajuato como Entidad Federativa, Libre y Soberana.»  
«2024, a 200 años de la instalación del Primer Congreso Constituyente de Guanajuato.»

**DIVISION DE CIENCIAS DE LA VIDA.**

**DIRECCION.**

**Oficio: DICIVA/0040/2024.**

**Asunto: Autorización de Titulación.**

C.

**ÁLVARO ALEJANDRO LIÑAN FLORES,**  
**LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA AGRÍCOLA,**  
**P R E S E N T E.**

Por medio de la presente y una vez revisado que ha cumplido íntegramente el plan de estudios del Programa Académico y, con base en el Artículo 4 del *Reglamento de las Modalidades para la Obtención del Grado de Licenciatura y Procedimiento para la Obtención del mismo* y Artículo 72 del Reglamento Académico de la Normatividad de la Universidad de Guanajuato, me permito indicarle que doy mi autorización para que inicie el proceso de titulación por la *modalidad de Trabajo de Investigación*.

Sin otro asunto y enviándole un cordial saludo, se despide.

**A T E N T A M E N T E**  
**“LA VERDAD OS HARA LIBRES”**  
Irapuato, Gto., 25 de Enero de 2024.  
**EL DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA**  
**CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA**

  
**DR. ROGELIO COSTILLA SALAZAR.**



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO  
CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA  
División de Ciencias de la Vida  
Ex-Hacienda el Copal Irapuato, Gto.

**- DIRECCIÓN -**

C.c.p. Archivo.  
RCS/mcla.

**CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA**

Ex Hacienda El Copal, Km 9 Carretera Irapuato-Silao:  
C.P.36824 A.P. 311, Irapuato, Gto., México.  
Tel. y Fax: 462 624 18 89.



«2024, 200 años de Grandeza: Guanajuato como Entidad Federativa, Libre y Soberana.»  
«2024, a 200 años de la instalación del Primer Congreso Constituyente de Guanajuato»

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA.

C.  
DR. ROGELIO COSTILLA SALAZAR,  
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA  
CAMPUS IRAPUATO – SALAMANCA,  
P R E S E N T E.

En relación al trabajo de titulación del C. **ÁLVARO ALEJANDRO LIÑAN FLORES**, nos permitimos comunicar a Usted que el trabajo de Investigación: "**DISEÑO DE ESTRUCTURA ELECTRÓNICA DE UN CONTADOR DE PLANTAS PARA INVENTARIO DE CAMPO DE AGAVE**", que fue desarrollado bajo la Dirección del Dr. Jonathan Cepeda Negrete y la Co-Dirección del Dr. César Gutiérrez Vaca, Profesores de la División de Ciencias de la Vida ha sido terminado. El escrito fue revisado por el Dr. Israel Enrique Herrera Díaz y la Dra. Adriana Saldaña Robles, Profesores de la División de Ciencias de la Vida, se ha autorizado la impresión y empastado del mismo.

Así mismo nos permitimos proponer la integración del Jurado a los señores:

DR. ISRAEL ENRIQUE HERRERA DIAZ  
DRA. ADRIANA SALDAÑA ROBLES  
DR. JONATHAN CEPEDA NEGRETE

PRESIDENTE  
SECRETARIO  
VOCAL

ATENTAMENTE  
Irapuato, Gto., 11 de Enero de 2024.

  
DR. JONATHAN CEPEDA NEGRETE  
**DIRECTOR**

  
**REVISOR**

**REVISOR**

DR. ISRAEL ENRIQUE HERRERA DIAZ

  
DRA. ADRIANA SALDAÑA ROBLES.

**CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA**

Ex Hacienda El Copal, Km 9 Carretera Irapuato-Sllaos:  
C.P.36824 A.P. 311, Irapuato, Gto., México.  
Tel, y Fax: 462 624 18 89.

Í  
N  
D  
I  
C  
E

## Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Agave weber.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2. La administración en la agricultura.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3. Aplicación de sensores en la agricultura.....</b>	<b>9</b>
<b>2. Antecedentes.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1. Sensores.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2. Conteo de plantas por dron.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3. Conteo de plantas a mano.....</b>	<b>17</b>
<b>3. Objetivos.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1. Planteamiento del problema.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2. Objetivos específicos.....</b>	<b>20</b>
<b>4. Metodología y materiales.....</b>	<b>21</b>
<b>4.1. Materiales.....</b>	<b>23</b>
<b>4.2. Etapa de investigación.....</b>	<b>23</b>
<b>4.3. Etapa de proposición.....</b>	<b>24</b>
<b>4.4. Etapa de diseño.....</b>	<b>28</b>
<b>4.5. Etapa de instrumentación.....</b>	<b>35</b>
<b>4.6. Etapa de resultados y discusiones.....</b>	<b>37</b>
<b>5. Resultados y conclusión.....</b>	<b>41</b>
<b>6. Bibliografía.....</b>	<b>46</b>

# I N T R O D U C C I Ó N

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Agave Weber

El agave Weber es una planta perenne que se encuentra en zonas áridas y se caracteriza por sus largas, angostas y rígidas pencas de color azul, las cuales constituyen los tallos de las hojas. Sin embargo, su importancia no se limita solo a su apariencia distintiva, ya que esta planta alberga en su centro la piña, donde se acumula un jugo natural de gran valor.

Este jugo natural se destaca por sus altos contenidos de fructuosa, lo que lo convierte en una fuente de energía natural. Además, contiene diversas propiedades vitamínicas que contribuyen al bienestar humano. Asimismo, se han identificado partículas grasas en el jugo del agave Weber, las cuales le confieren su distinguido sabor y aroma característicos.

Existen aproximadamente 200 especies de agave distribuidas en todo el país, y de cada especie se produce un destilado distinto. En México hay dos principales bebidas alcohólicas destiladas del agave con denominación de origen: tequila y mezcal. Estos dos destilados cuentan con denominación de origen y norma oficial mexicana para la vigilancia de su producción y su comercialización a nivel nacional e internacional. (Bautista et al., 2001). El agave es la materia prima para la elaboración de tequila y mezcal; México posee la denominación de origen de ambas bebidas que son altamente apreciadas en el mercado internacional.

La producción del agave Weber se concentra en gran medida en México, especialmente en los estados de Jalisco, Guanajuato y Michoacán. Estas regiones cuentan

con condiciones climáticas y edáficas ideales para el cultivo de esta planta, lo que ha llevado a establecer un amplio catálogo de productos derivados del agave Weber (Ilustración 1).

Uno de los productos más reconocidos y apreciados a nivel mundial es el tequila. La producción de tequila se basa en el proceso de fermentación y destilación del jugo extraído de las piñas de agave Weber. Esta bebida alcohólica mexicana es un símbolo de la cultura y tradición del país, y su demanda en el mercado global es significativa.

Dada la importancia y el renombre del tequila mexicano, la planta de agave Weber (Ilustración1) adquiere una relevancia crucial para la industria tequilera. Su larga vida útil y la capacidad de adaptarse a condiciones áridas hacen que sea una opción ideal para el cultivo en México. El país se ha convertido en el principal abastecedor de tequila a nivel mundial, lo que destaca la importancia de esta planta longeva para la industria y economía del país. La abundancia de agave Weber en regiones específicas de México, como Jalisco, Guanajuato y Michoacán, ha impulsado la industria tequilera, convirtiendo a México en el líder mundial en la producción de esta icónica bebida alcohólica (Hernández *et al*, 2016).



Ilustración 1 Agave Weber.



## 1.2 La administración en la agricultura

La administración desempeña un papel fundamental en cualquier tipo de negocio, y la agricultura no es una excepción. La eficiente gestión de los recursos, la planificación estratégica y el control adecuado son elementos esenciales para lograr el éxito en las actividades agrícolas. Uno de los aspectos clave en la administración agrícola es el control de inventario, el cual tiene particularidades propias en comparación con otros sectores empresariales. En este contexto, es crucial implementar un sistema de conteo de plantas en el momento de su plantación, que permita llevar un inventario preciso y digital para su uso en las empresas agrícolas (García *et al*, 2008).

La administración en la agricultura es esencial para garantizar la eficiencia en los procesos agrícolas, el uso adecuado de los recursos y la toma de decisiones informadas. La gestión adecuada permite optimizar los costos de producción, maximizar los rendimientos y minimizar los riesgos asociados a la actividad agrícola.

En la agricultura, el control de inventario adquiere una dimensión distinta a otros sectores empresariales, ya que no se trata solo de gestionar productos terminados o materias primas, sino también de tener un registro preciso de las plantas cultivadas en un determinado espacio. Es crucial llevar un conteo exacto y digital de las plantas plantadas, lo cual permite a las empresas agrícolas tener una visión clara y precisa de las unidades plantadas dentro de un área específica.

El control de inventario de plantas en la agricultura proporciona numerosas ventajas para las empresas agrícolas. Algunas de estas ventajas incluyen:

- Planificación y gestión eficiente: El inventario de plantas permite a las empresas agrícolas planificar de manera más precisa y gestionar de manera eficiente los recursos, como el riego, los fertilizantes y los pesticidas, de acuerdo con las necesidades de las plantas y los ciclos de crecimiento.

- Toma de decisiones informadas: Contar con un inventario digital y exacto de las plantas cultivadas brinda a los agricultores información precisa y actualizada sobre el estado de su producción, lo que les permite tomar decisiones informadas en cuanto a la planificación de cosechas, ventas y distribución.

- Control de costos y rentabilidad: El control de inventario de plantas en la agricultura permite monitorear y controlar los costos de producción de manera más precisa, lo que contribuye a la maximización de la rentabilidad y la reducción de pérdidas económicas.

En conclusión, la administración en la agricultura desempeña un papel crucial para el éxito de las empresas agrícolas. El control de inventario de plantas se presenta como una herramienta indispensable en la gestión agrícola, permitiendo un conteo exacto y digital de las plantas cultivadas, lo que facilita la toma de decisiones informadas, la planificación estratégica y el control de costos. Implementar un sistema eficiente de control de inventario en la agricultura brinda a las empresas agrícolas mayor certidumbre sobre las unidades plantadas en un espacio determinado y contribuye a una gestión más eficiente de los recursos disponibles. Es importante destacar que el control de inventario de plantas en la agricultura es un proceso dinámico que requiere actualizaciones periódicas para reflejar los cambios en la producción y asegurar la precisión de los registros.

### **1.3 Aplicación de sensores en la agricultura**

Los avances tecnológicos en el campo de la agricultura han llevado a la aparición de sensores que desempeñan un papel crucial en la digitalización de las explotaciones agrícolas. Estos sensores son capaces de recolectar datos fundamentales que permiten evaluar el estado de salud de los cultivos, lo que a su vez proporciona información relevante para la toma de decisiones en la agricultura. Mediante análisis y comparaciones, los sensores ofrecen la posibilidad de planificar intervenciones específicas, reduciendo la necesidad de trabajo humano en los campos y optimizando las operaciones agrícolas.

La digitalización de las explotaciones agrícolas se ha convertido en una tendencia importante en el campo de la agricultura moderna. Permite una mayor eficiencia, precisión y control en las operaciones agrícolas al utilizar tecnologías como sensores, análisis de datos y sistemas de información geográfica (SIG). La digitalización facilita la recolección y el análisis de datos en tiempo real, lo que proporciona información valiosa para la toma de decisiones agrícolas.

Los sensores desempeñan un papel clave en la digitalización de las explotaciones agrícolas al recolectar datos relevantes sobre los cultivos y el entorno agrícola. Estos sensores pueden medir variables como la humedad del suelo, la temperatura, la radiación solar, la conductividad eléctrica, entre otros. Al recopilar estos datos de manera continua, los sensores permiten evaluar el estado de salud de los cultivos y realizar análisis comparativos para identificar patrones y tendencias (Torres *et al*, 2011).

Los datos recopilados por los sensores en la agricultura son utilizados para diversas aplicaciones. Permiten el monitoreo y la detección temprana de enfermedades, plagas y estrés hídrico en los cultivos, lo que facilita la implementación de medidas preventivas y correctivas de manera oportuna. Además, estos datos proporcionan información valiosa para optimizar el riego, la fertilización y otros aspectos de la gestión agrícola, lo que ayuda a reducir el uso de recursos y mejorar la eficiencia de las operaciones.

La utilización de sensores en la agricultura ofrece numerosos beneficios. Al reducir la dependencia del trabajo humano en los campos, se minimizan los errores humanos y se asegura una mayor calidad en las operaciones agrícolas. La digitalización y el uso de sensores también permiten una gestión más precisa y eficiente de los recursos, como el agua y los fertilizantes, lo que conduce a una producción más sostenible y responsable desde el punto de vista ambiental.

En conclusión, los sensores desempeñan un papel crucial en la digitalización de las explotaciones agrícolas al recolectar datos fundamentales sobre los cultivos y el entorno agrícola. Estos datos son utilizados para evaluar el estado de salud de los cultivos, planificar intervenciones específicas y optimizar las operaciones agrícolas. La utilización de sensores en la agricultura permite reducir el uso de trabajo humano en los campos, asegurando una mayor calidad en las operaciones y limitando el uso de recursos. Además, la digitalización y el uso de sensores promueven una gestión más eficiente de los recursos, contribuyendo a una producción agrícola más sostenible (Torres *et al*, 2011).



Ilustración 2 Cultivo de agave Weber.

Los motivos que nos llevaron a investigar acerca del cultivo del agave (Ilustración 2) y su importancia, necesidades administrativas, principalmente como la certidumbre; dentro de cualquier empresa es importante tener datos acerca de todo relacionado con inventarios, tiempos de producción, eficiencia y eficacia; cosa que en el campo no es algo que se tome con esa seriedad, mientras mas datos tenemos en el cultivo; más certidumbre, más variabilidad podemos controlar y administrativamente hablando será mucho más fácil y práctico el manejo de información convirtiendo en un horizonte más clarificado para tomar mejores decisiones.

A  
N  
T  
E  
C  
E  
D  
E  
N  
T  
E  
S

## **2 ANTECEDENTES**

Dentro de la industria agrícola hay muchos métodos de detección mecánica como son los contadores que tienen las empacadoras, funciona como los odómetros de un carro, cuenta hasta que tu reinicias el contador, puesto que hay más contadores mecánicos, este es el ejemplo más claro para describir la simpleza de un sistema mecánico. (López *et al*, 2009).

En la industria agrícola también cuenta con métodos de detección electrónicos, utilizando sensores para hacer procesos más fáciles, como los sensores de proximidad, de oxígeno, los tractores agrícolas con mayor tecnología están llenos de ellos, y tienen un sinnúmero de aplicaciones.

En este proyecto de investigación se pretende instrumentar una plantadora de agave con un contador de plantas plantadas exitosas parte de que sea electrónico y la información recabada se encuentre electrónicamente para un uso más competitivo y eficaz de la información.

### **2.1 Sensores**

El uso de sensores permite registrar y obtener numerosos datos relacionados con los cultivos (por ejemplo, la humedad de las hojas) y el entorno circundante (valores de humedad



Ilustración 3 Sensor de proximidad por infrarrojo.

del aire, temperatura y velocidad del viento). La disponibilidad de estos datos desarrolló énfasis en el terreno para la difusión de modelos de predicción para evaluar y estimar el crecimiento de los cultivos y la presencia de enfermedades de las plantas. (Castaño, 2016).

Los sensores de proximidad inductivos (Ilustración 3) integran un circuito oscilante que genera un campo electromagnético. Cualquier pieza metálica que se aproxime a ellos será detectada al fluir una corriente de inducción en el objeto. La oscilación se atenuará y el sensor detectará esta variación en el estado de oscilación (Torres *et al*, 2011).

El principio de funcionamiento de los sensores de proximidad capacitivos es similar al de los sensores inductivos. Un condensador situado en la cara principal del sensor genera un campo electromagnético. Cuando una pieza se acerca, cambia la intensidad y la frecuencia de las oscilaciones. A diferencia de los sensores inductivos, los sensores capacitivos no se limitan a las piezas metálicas, sino que también detectan elementos de cualesquiera propiedades y materiales sólidos, líquidos, viscosos, polvorientos, etc.



Sensores de proximidad magnéticos, igualmente conocidos como sensores de efecto Hall, funcionan siguiendo un principio similar al de los sensores inductivos. Los sensores de proximidad magnéticos también incorporan una hoja de metal y vidrio que se imanta muy rápidamente ante la presencia de un imán y se desimanta con la misma rapidez cuando este se aleja. Los sensores magnéticos ofrecen un gran alcance, dadas sus dimensiones relativamente reducidas (Torres *et al*, 2011). Por tanto, las piezas que haya que detectar deberán estar dotadas de un imán o haber sido magnetizadas.



Ilustración 4 Sensor de proximidad por ultrasonido

El principio de funcionamiento de los sensores de proximidad por ultrasonidos (Ilustración 4) se basa en la emisión y recepción de ondas ultrasónicas de alta frecuencia — de unos 200 kHz—. El retorno de la onda permite detectar la presencia de una pieza y medir la distancia a la que se encuentra —a través del tiempo que tarda la onda en su recorrido de ida y vuelta—. Estos sensores por ultrasonidos se pueden utilizar tanto en la detección directa como en cortinas fotoeléctricas (Torres *et al*, 2011).

Los sensores fotoeléctricos se basan en un principio óptico. Detectan el objeto cuando el haz de luz se atenúa o interrumpe por el objeto que lo atraviesa. Existen diferentes modelos dependiendo del objeto que cruce el haz de luz y de la distancia de detección:

1. Tipo barrera: con transmisor y receptor separados.
2. Tipo retro reflectivo: la luz emitida incide en el reflector y regresa al punto de origen.
3. Tipo reflectivo directo: el objeto simplemente refleja la luz (Torres *et al*, 2011).

Dentro de la maquinaria destinada a un fin común semejante al del proyecto se encontraron propuestas que conllevan a una agricultura de precisión más precisa:

## **2.2 Conteo de plantas por dron.**

Permite mediante un dron (Ilustración 5), contar las plantas, dentro de este método e utilizada una imagen en tiempo real tomada por el dron, y en la misma imagen se pueden contabilizar las plantas en campo, todavía no hay software que permitan este conteo automático a la venta, pero si empiezan a crear prototipos, es una tarea difícil pues dentro de la imagen aérea, es un poco difícil de distinguir dependiendo de la luz solar, las sombras, el estado de la planta y el estado del suelo, también influyen las condiciones climáticas, y hace que desarrollar un



Ilustración 5 Dron agrícola.

software sea realmente un desafío bastante difícil, pero actualmente el conteo es a mano dentro de una fotografía aérea captada por un dron agrícola.

### **2.3 Conteo de plantas a mano.**

Tradicionalmente el conteo de plantas de agave ha sido un proceso largo, costoso y que pone en riesgo la salud de los trabajadores. Este conteo manual es llevado a cabo por grupos de personas que recorren los campos contando plantas una a una, tarea que frecuentemente requiere hasta seis meses, dando como resultado de uno a dos conteos como máximo por año, añadiendo que es propenso a errores humanos. Por lo cual es de importancia el implementar nuevas tecnologías y metodologías automáticas para agilizar el conteo de plantas de agave presentes en las parcelas apoyando en la elaboración de inventarios, dando paso a una agricultura inteligente.

Las labores agrícolas del campo tradicionalmente se han realizado basándose en la experiencia de los agricultores adquirida a través de los años. En la actualidad, con la innovación y el empleo de tecnologías emergentes que se adaptan a la agricultura, se puede mejorar la toma de decisiones basándose en el censado de variables, su almacenamiento y análisis de grandes cantidades de datos. Esta nueva revolución en la agricultura conlleva a la llamada agricultura inteligente (Shafi et al., 2019). Agricultura inteligente es el término que se utiliza para referirse a una tecnología de producción cuya esencia es el aumento de la eficiencia en la administración de los distintos procesos y operaciones de producción en la

agricultura, mediante la aplicación de insumos en cantidades variables, de acuerdo con la variabilidad de las características en un sitio específico.

En base a lo anterior, dentro de la agricultura inteligente es necesario manejar conceptos como la variabilidad espacial y temporal. Ya que, a través de este conocimiento el productor puede dividir la parcela en áreas de manejo, aplicando cantidades variables de insumos, optimizando recursos y aumentando la producción, cumpliendo así con ciertos objetivos (Radoglou-Grammatikis et al., 2020).

Un cultivo, a través de esta tecnología de producción, puede ser mejorado desde diferentes perspectivas como lo son: agronómica, técnica, ambiental, económica, entre otras. En este sentido, (Radoglou-Grammatikis et al., 2020) mencionan que algunos de los principales objetivos que persigue la agricultura inteligente son los siguientes:

- Aumentar el rendimiento de los cultivos.
- Mejorar la calidad de los productos agrícolas.
- Hacer un uso más eficiente de agroquímicos.
- Ahorrar energía.
- Proteger el medio ambiente de la contaminación.
- Maximizar los beneficios económicos.

Las plantas de agave son un elemento estratégico en la cadena de producción del tequila. Los inventarios de agave ayudan a monitorear, estimar y planificar la producción. Este trabajo tiene como objetivo detectar y contar plantas de agave en condiciones de campo mediante un contador electrónico instrumentado a una plantadora de agave.

O  
B  
J  
E  
T  
I  
V  
O  
S

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Planteamiento del problema**

A partir de una sembradora de plántula de agave, tener un control e inventario de las plantas plantadas exitosamente por la misma plantadora, para fines estadísticos y administrativos.

#### **3.2 Objetivos específicos**

1. Seleccionar el sistema a utilizar para el dispositivo contador de plantas
  1. Comparar diferentes sensores y sus ventajas
  2. Seleccionar sensor que más se adapte a las necesidades
  3. Crear prototipo del dispositivo en funcionamiento
2. Realizar pruebas de funcionamiento al prototipo
  1. Crear banco de pruebas
  2. Realizar pruebas del prototipo en diferentes condiciones dentro del banco
3. Analizar e interpretar resultados
  1. Obtener un veredicto de funcionamiento el dispositivo en base a su análisis de resultados obtenidos.

M  
E  
T  
O  
D  
O  
L  
O  
G  
Í  
A

Y

M  
A  
T  
E  
R  
I  
A  
L  
E  
S

## **4 METODOLOGIA Y MATERIALES**

El proyecto constó de varias etapas: tales como investigación, proposición, diseño, instrumentación, pruebas y análisis; y resultados.

En la etapa de investigación el equipo de trabajo recabó información colindante al tema y proyectos propuestos similares, e inclusive productos relacionados con el tema. Esta etapa es de suma importancia para verificar la información y no empezar desde cero, tener un punto de partida del proyecto.

La etapa de proposición es fundamental, ya que toda la información recabada de la etapa anterior se citó en el proyecto, y se juntó información importante como materiales, y formas de empleo de productos, para tener seleccionado todo lo que incumbe dentro del proyecto como los entregables y el prototipo dentro del están sus materiales utilizados y la programación empleada.

La etapa de diseño constó de plasmar gráficamente lo propuesto en la etapa anterior con especificaciones importantes para las siguientes etapas. Aquí se desarrollaron planos prototipos para una lectura gráfica del proyecto rápida.

En la etapa de instrumentación se conjuntaron todas las etapas mencionadas anteriormente, se construyó un prototipo listo para iniciar pruebas y se instaló en la maquina plantadora de agave a la que está destinada el proyecto.



Posteriormente se hicieron pruebas y análisis haciendo una calibración correcta del equipo para que funcione óptimamente y de esta manera poder tener resultados que interpretar.

Finalmente, correspondió visualizar los resultados arrojados por las pruebas, se hicieron correcciones y conclusiones acerca de la manera de trabajo tanto como mejoras, avances, si realmente funciona o no, y cerrar una primera etapa del proyecto.

## **4.1 Materiales**

A continuación, se muestran los materiales a considerar:

1. Cable calibre 18
2. Arduino UNO
3. Sensores de Proximidad
4. Batería de 5V
5. Modulo bluetooth
6. Modulo almacén

## **4.2 Etapa de investigación**

Dentro de la etapa de investigación se tomaron en cuenta diferentes aspectos del proyecto, puesto como proyectos o productos similares, técnicas que buscan resolver la misma problemática, sensores del mercado, así como toda la parte electrónica, tipo de lenguaje de programación compatible con componentes y sus diferentes variantes para una

posible complementación del proyecto. Y tener pruebas de todos los diferentes técnicas y sensores en el mercado.

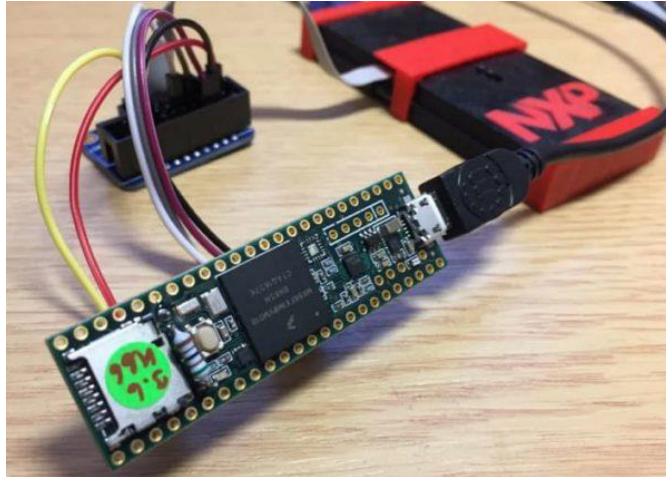
### 4.3 Etapa de proposición

Después de tener toda la información conjunta se decidió después de pruebas con los sensores, los materiales a utilizar, dentro de lo contemplado, tales como el Arduino uno (Ilustración 6), el sensor ultrasónico en base a la distancia para la detección de objeto en cuestión (planta de agave).



*Ilustración 6 Tarjeta madre Arduino UNO*

La forma en la que se presenta el problema tiene muchas iniciativas, de acuerdo con los objetivos, se busca atender desde un ámbito tecnológico, se analizaron diferentes plataformas de programación, así como diferentes ecosistemas ya preestablecidos con su tarjeta madre o controlador, tal como lo es al Arduino, los sensores y su compatibilidad con los diferentes ecosistemas que se analizaron.



*Ilustración 7 Tarjeta madre Teensy 3.6*

La intuición de la plataforma Arduino y su manera tan fácil de maniobrar, su accesibilidad económica, en sí todo el conjunto resulta muy práctico y objetivo. La mayor ventaja es su estructura lista para usar. No es necesario pensar en las conexiones del programador para la programación o cualquier otra interfaz.

Sólo se necesita conectar a un puerto USB de la computadora y está listo para operar. Una de las desventajas más importante es su límite, pues para hacer proyectos más complejos, definitivamente se requiere pensar en otro ecosistema, o inclusive crear uno propio por cuestiones económicas.



*Ilustración 8 Sensor de movimiento compatible con Arduino.*

En el problema a resolver es muy importante tener claro cómo se va a abordar, de qué manera y con qué posibilidades se tienen para resolverlo.



*Ilustración 9 Sensor infrarrojo compatible con Arduino.*

Dentro de los sensores se tomaron en cuenta 3 opciones: sensores de movimiento; la desventaja que marcó esta posibilidad como nula fue el rango, y la forma de discretizar la

variable, pues es un proceso mucho más complejo que con otros sensores; los sensores de infrarrojos (Ilustración 9), se consideró como la forma más viable, pero que tomaría mucho más tiempo discretizar las señales que llegarían al programa para determinar si cumple o no con el objetivo; finalmente se decidió probar con un sensor ultrasónico (Ilustración 10), por la forma de abordar el tema, que se hacía mucho más práctico que con otros sensores.

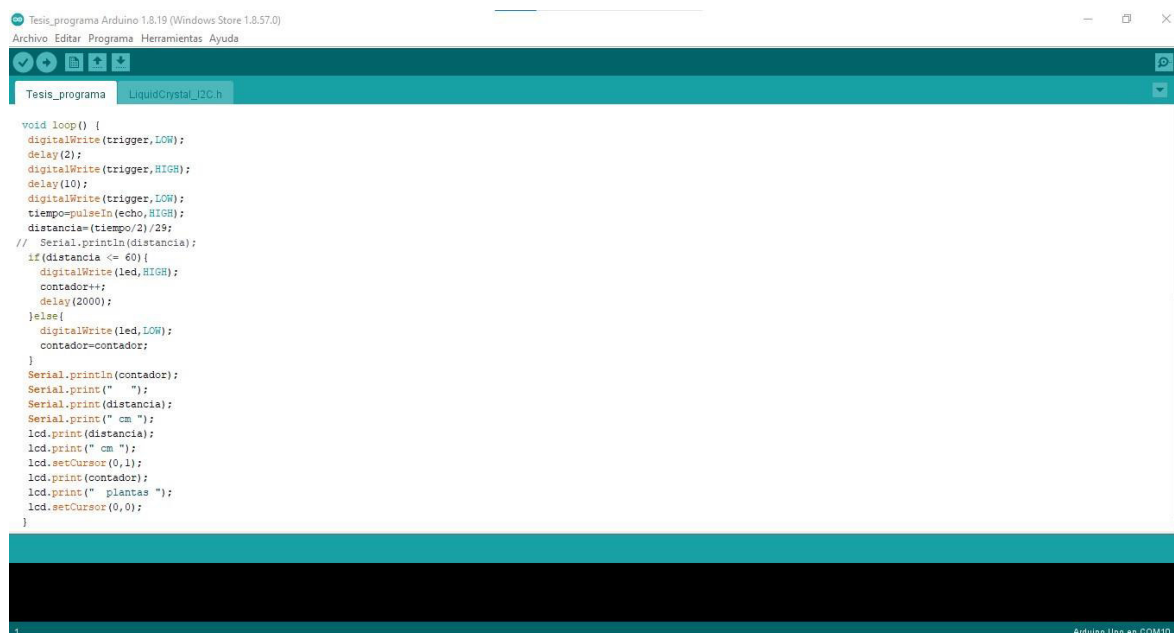


*Ilustración 10 Sensor ultrasónico compatible con Arduino.*

Se tomó en cuenta material fácil de obtener y que el proyecto se definiría por etapas, probando diferentes sensores; en esta etapa del proyecto se decidió por el sensor ultrasónico, no descartando que otros sensores pueden trabajar mejor y con una mayor exactitud. Estas se definen como etapas que requieren mucho más tiempo de lo previsto. Es importante recalcar que no es la única manera de abordar el problema.

## 4.4 Etapa de diseño

Se realizó esta etapa con el objetivo de construir por medio de los materiales requeridos un posible prototipo empezando por programar y probar los sensores, así como su lugar designado en la sembradora y donde se colocarán todos los componentes.



```
void loop() {
  digitalWrite(trigger, LOW);
  delay(2);
  digitalWrite(trigger, HIGH);
  delay(10);
  digitalWrite(trigger, LOW);
  tiempo=pulseIn(echo, HIGH);
  distancia=(tiempo/2)/29;
  // Serial.println(distancia);
  if(distancia <= 60){
    digitalWrite(led, HIGH);
    contador++;
    delay(2000);
  }else{
    digitalWrite(led, LOW);
    contador=contador;
  }
  Serial.println(contador);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(distancia);
  Serial.print(" cm ");
  lcd.print(distancia);
  lcd.print(" cm ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(contador);
  lcd.print(" plantas ");
  lcd.setCursor(0,0);
}
```

*Ilustración 11 Interfaz de Arduino con el programa del contador.*

Dentro de los demás componentes propuestos, se consideró que fuera un proyecto con un gasto energético independiente, que tuviera una plataforma en algún dispositivo (Ilustración 14 y 15), y ahí recibir la información, además de tener una pantalla que también se arroje la misma información o conteo de plantas.

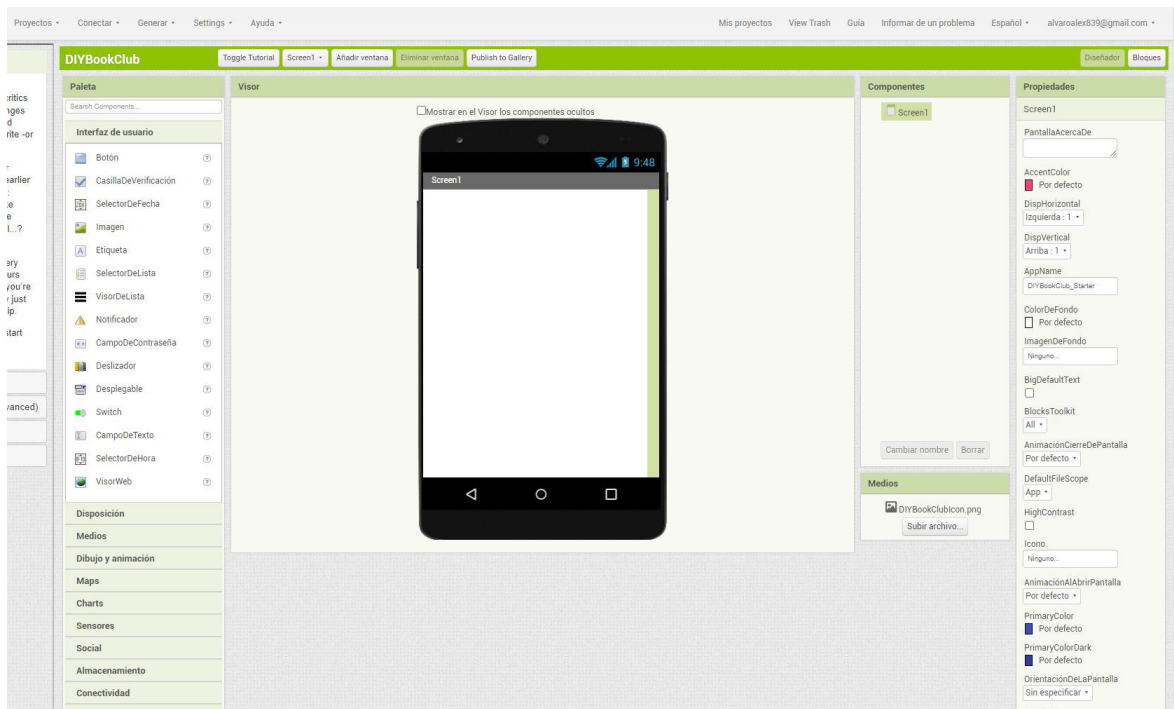


Ilustración 13 Interfaz de App Inventor para la correcta funcionalidad del módulo de bluetooth en la página de diseño de pantalla.

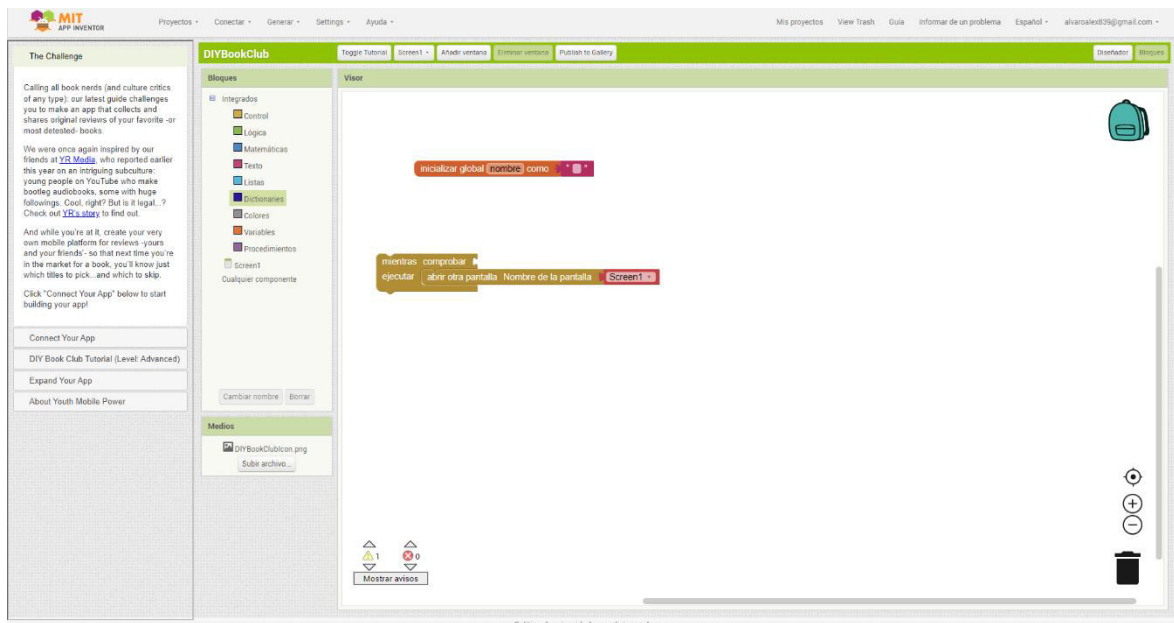
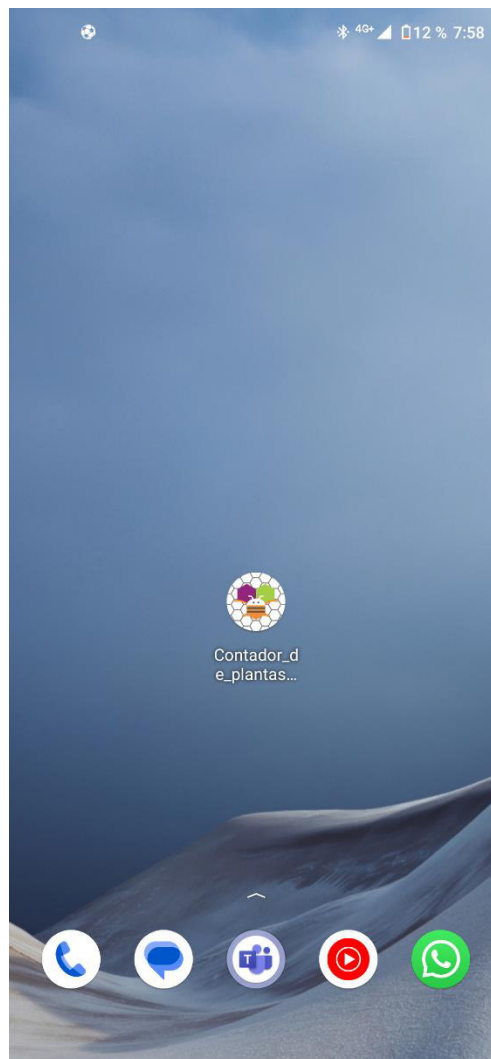


Ilustración 12 Interfaz de App Inventor para la correcta funcionalidad del módulo de bluetooth en la página de bloques de comandos.

Se desarrolló un programa en Arduino (Ilustración 11) con un módulo de bluetooth, un sensor ultrasónico, una pantalla, un led indicador, una batería de 9v, la misma placa de Arduino, y cable para formar todo el circuito; dentro del programa primero se calcula la distancia que hay entre el sensor ultrasónico y cualquier objeto que se le interponga, la distancia ideal se consideró en base a una plantadora de agave que se encuentra en el municipio de Tequila, Jalisco; dicha distancia es de 1.2 metros y la distancia que debe tener entre el sensor y la planta de agave colocada es la mitad de ese valor, es decir, 60cm.



*Ilustración 14 Aplicación del dispositivo instalada en teléfono Android.*





*Ilustración 15 Interfaz de la aplicación para el dispositivo contador de plantas.*

por la maquina plantadora, debe ser menor a 60 centímetros de acuerdo con las medidas dadas en la máquina, contando y guardando en una variable dentro del programa; además se consideró una velocidad teórica se determinó el tiempo que tarda entre una planta y otra, así el led indicando un retardo de tiempo dado por nosotros, para reiniciar el proceso de conteo (sin perder la variable contadora) y que el proceso pueda iniciar de nuevo, obteniendo un programa en base a movimiento dinámico.

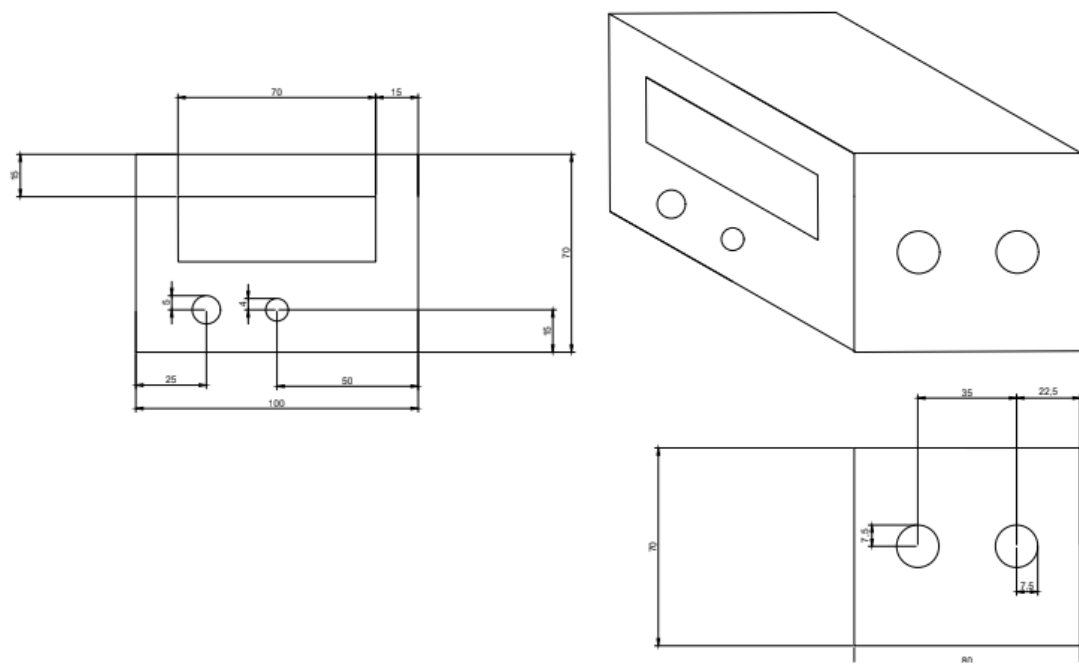
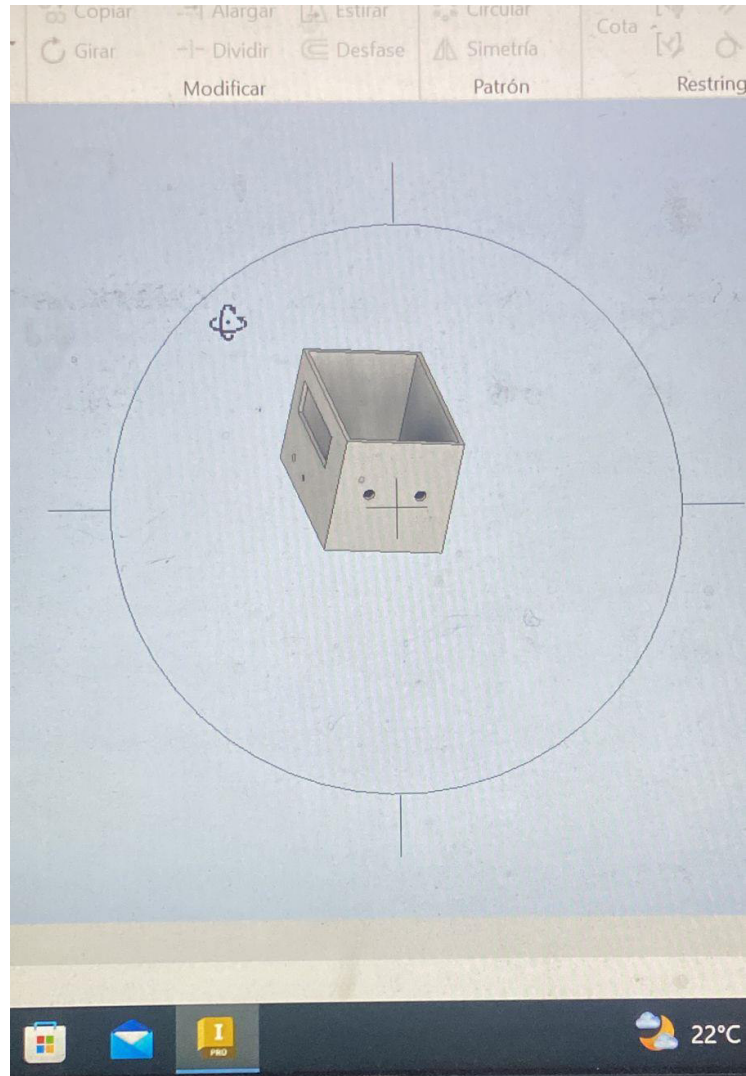


Ilustración 16 Diseño de la caja protectora para el dispositivo base AutoCAD en un archivo PDF.



*Ilustración 17* Diseño de la caja protectora en la aplicación Inventor para posteriormente imprimirla.

Para el uso del módulo de bluetooth se construyó una aplicación Android en base a bloques (Ilustración 12 y 13), y que el módulo de acuerdo al programa, este enviando la variable guardada donde tiene el número de plantas plantadas, y este programa diseñado para conectarse al módulo vía bluetooth en una plataforma Android, pueda recibir esa variable y mostrarla en la pantalla del teléfono inalámbricamente. Tomando en cuenta de las limitaciones del bluetooth y su corto alcance es más una función de comprobación para el usuario. Dentro de la aplicación terminada se puede ver un icono de bluetooth (Ilustración

15), donde al presionarlo se abrirá una pestaña para escoger el modulo del dispositivo controlador y cuando se conecte exitosamente empezará a arrojar los datos que tenga en ese momento la pantalla del dispositivo siendo actualizados cada 10 segundos.

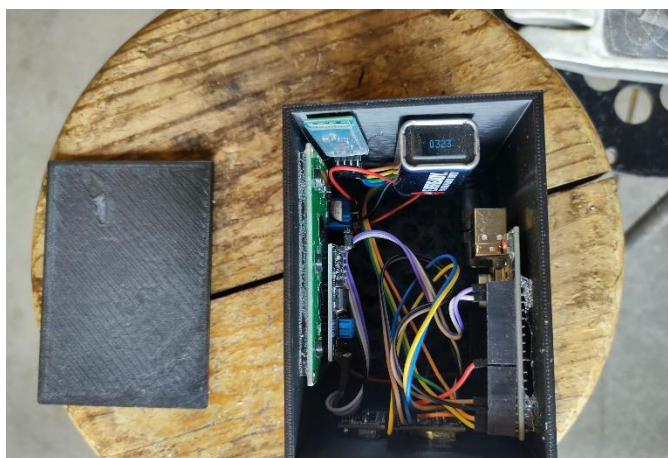


*Ilustración 18 Caja protectora del dispositivo impresa en color negro.*

Se conectaron todos los módulos con la tarjeta Arduino y se soldaron, posteriormente se diseñó una caja (Ilustración 16) en el programa de AutoCAD que después se llevó a inventor para imprimir en una impresora 3D (Ilustración 18) y tener un armazón para todo el dispositivo en contra del polvo al que se piensa estará expuesto y sobre todo resguardar con éxito el cableado, de esta caja solamente sobresalen: el sensor ultrasónico, la pantalla, el led indicador, y el switch de encendido/apagado.

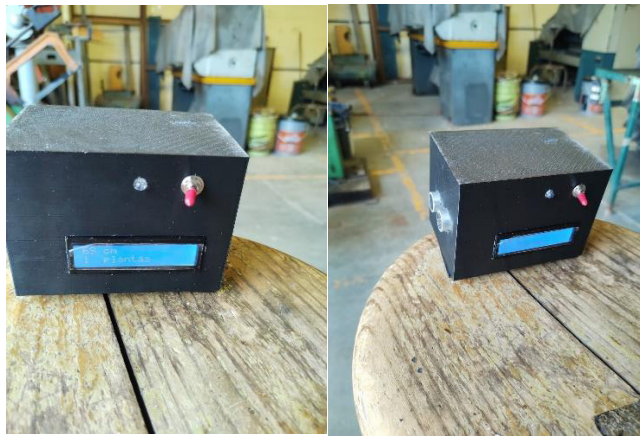
#### **4.5 Etapa de instrumentación**

El armado del circuito y su caja es el objetivo de esta etapa, teniendo como lugar un prototipo físico listo para las pruebas en el banco desarrollado a la mano de otro trabajo de investigación. Como se puede observar en la ilustración 19, dentro de la caja está el circuito armado y listo para sellar la tapa contra el polvo, el espacio que tiene la caja fue diseñado para que tuviera un orden y se utilizaron diferentes tipos de anclajes para la sujeción de todos los dispositivos electrónicos que componen al proyecto.



*Ilustración 19 Caja con la electrónica acomodada para su correcto funcionamiento.*

En la Ilustración 20 se puede observar como el dispositivo queda listo y funcionando para tomar las pruebas correspondientes del siguiente apartado.



*Ilustración 20 Caja con dispositivo electrónico listo para usar.*

## 4.6 Etapa de resultados y discusiones

Se realizaron pruebas del contador de plantas electrónico para lo cual se fabricó una banda especial que contiene cinco bandejas individuales equidistantes a 1 m por lo que la longitud de la banda es de 5 m. Dicha banda va montada sobre 4 ejes rotatorios y uno de ellos hace la función motriz ya que a él está sujeta una Catarina que conecta a una segunda Catarina, por medio de una cadena, que tienen la misma cantidad de dientes y paso (paso  $\frac{1}{2}$  in, # de dientes 14). La segunda Catarina va fija al eje de un motor hidráulico que es alimentado por una bomba hidráulica estacionaria. Dicha bomba se conecta a la energía eléctrica de 220V, se enciende y proporciona el caudal necesario para mover el motor hidráulico y consecuentemente a la banda a velocidad variable, pues la bomba permite el ajuste del caudal y presión del fluido que impulsa es el sistema (Véase Ilustración 21).

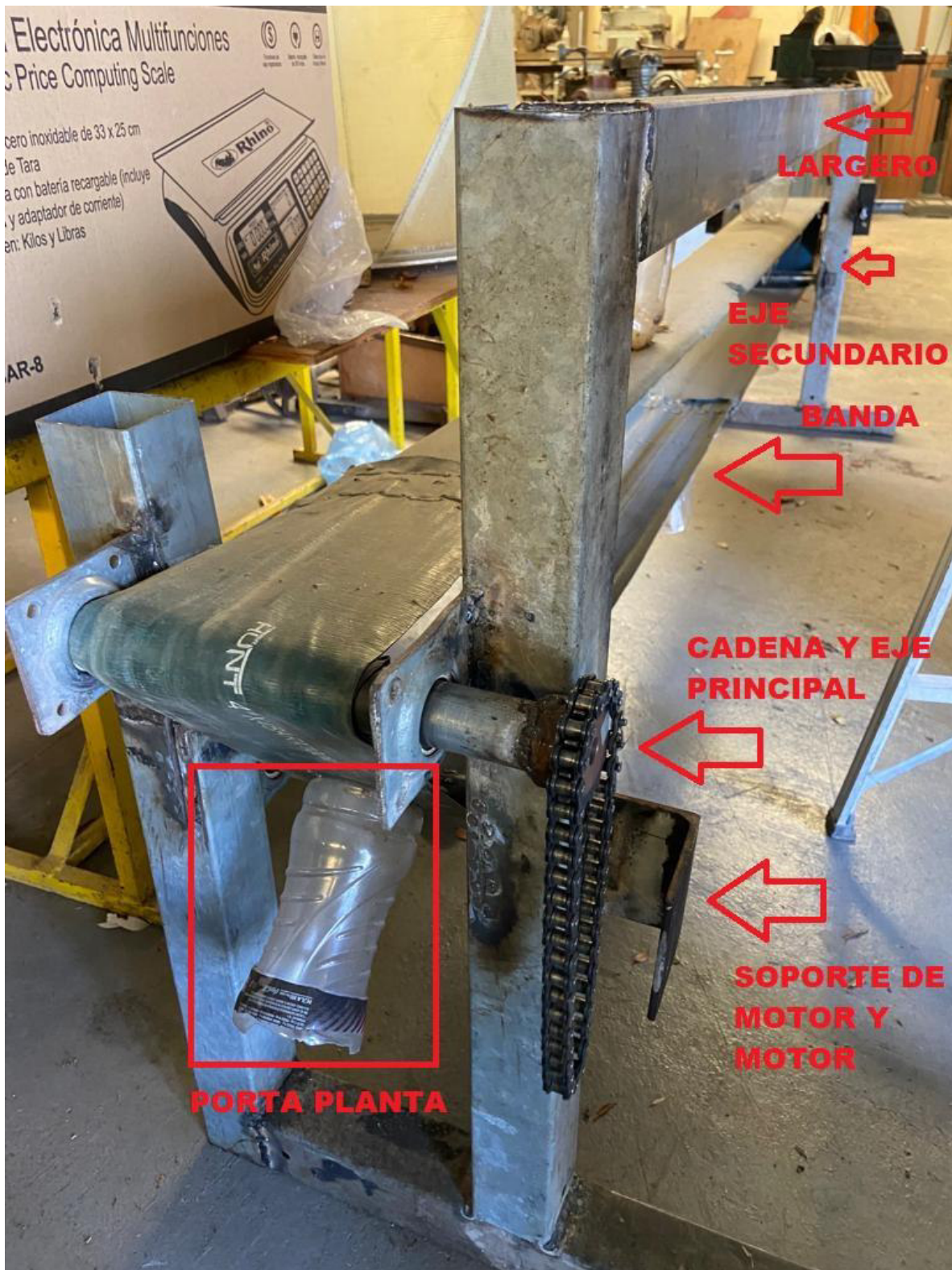


Ilustración 21. Banda para ensayos del contador de plantas.



Una vez construida la banda y verificado su correcto funcionamiento se instaló al lado de la banda el contador de plantas sobre un soporte fijo, a distancia aproximada de 60 cm, que es la distancia indicada de trabajo del sensor ultrasónico. Se hicieron pruebas de ajuste y se verificó que el sensor pudiera reconocer las plantas previo a los ensayos.

A continuación, se procedió a realizar los ensayos que consistieron en; al avance de la banda colocar de forma manual una planta de agave en la bandeja, al continuar el avance dicha planta pasa por el frente del contador y éste debe ser capaz de detectarla y contabilizarla. Lo anterior se realizó con 30 plantas de manera que el contador, al finalizar el ensayo, debe registrar en teoría ese mismo número de plantas. Por cada ensayo de 30 plantas se verificó el valor y se registró el número de plantas dado por el contador, el resultado puede diferir ya sea más o menos cantidad de plantas y dicha variación predice la confiabilidad del contador diseñado. Se realizaron 4 ensayos de 30 plantas a diferentes velocidades lineales de banda; 0.5 m/s, 0.75 m/s y 1 m/s, respectivamente.

Para cada ensayo se encendió el contador de plantas que cuenta con batería interna y se verificó que su cuenta estuviera en 0 plantas. A continuación, se encendió la banda que comienza a avanzar con las bandejas vacías, luego se colocan una a una las plantas en las bandejas hasta suministrar las 30 plantas, posteriormente se detiene la banda y se revisa el contador para verificar el valor de número de plantas contabilizadas el cual se registra. El ensayo se repite 4 veces para cada una de las 3 velocidades mencionadas.

Además para conocer de manera estadística la confiabilidad del desempeño del contador de plantas y si ésta varía a distintas velocidades de avance lineal de la banda se sometieron los resultados a un análisis de varianza ANOVA simple, en el software estadístico STATGRAPHICS Centurion XVI.I, determinándolo al 95% de certidumbre así como un análisis de rango múltiple para conocer la homogeneidad del comportamiento del contador a diferentes velocidades de prueba utilizando la variable respuesta del número de plantas registradas por el contador.

# R E S U L T A D O S

## 5. Resultados

En la siguiente tabla se muestran los registros de los diferentes ensayos realizados, en la tabla 1 se muestra una imagen de dichos ensayos.

Tabla 1. Ensayos del contador de plantas.

Velocidad (m/s)	Repetición	Número de plantas
0.33	1	30
	2	29
	3	29
	4	29
0.5	1	30
	2	27
	3	27
	4	29
0.65	1	30
	2	29
	3	29
	4	29

Como puede apreciarse en la tabla de los cuatro ensayos realizados en cada velocidad al menos en un ensayo se contabilizó al 100%, es decir, el contador de plantas detectó 30 de

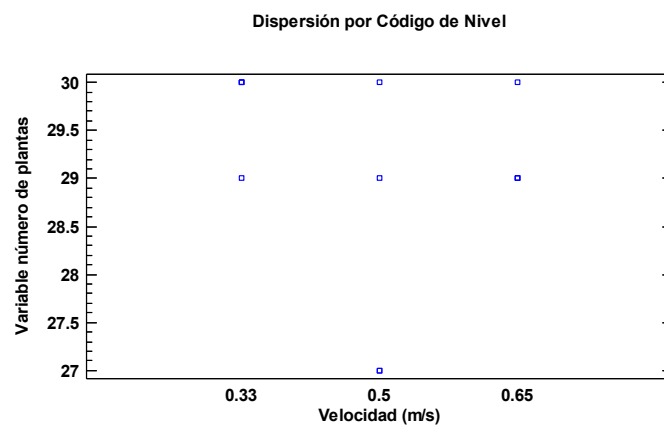
30 plantas. Los resultados se sometieron al software estadístico y se determinó al 95% de certidumbre ( $valor-P \geq 0.05$ ) que el contador funciona de manera correcta no encontrando diferencia significativa a las tres velocidades de avance ensayadas, como muestra la siguiente tabla.

**Tabla 2. ANOVA para Variable número de plantas por Velocidad (m/s)**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	4.66667	2	2.33333	2.55	0.1330
Intra grupos	8.25	9	0.916667		
Total (Corr.)	12.9167	11			

La gráfica 1 muestra la dispersión de los datos de las tres velocidades ensayadas donde 0.33 m/s y 0.65 m/s muestran una similar dispersión no así para 0.5 m/s.

Gráfica 1. Dispersión entre velocidad y numero de plantas.



Se realizó la prueba de múltiples rangos para la variable número de plantas por velocidad (m/s) y se encontró que las tres velocidades forman un grupo homogéneo por los que no existe diferencia significativa entre las tres velocidades al 95% de certidumbre como se muestra en la siguiente tabla.

**Pruebas de Múltiple Rangos para Variable número de plantas por Velocidad (m/s)**

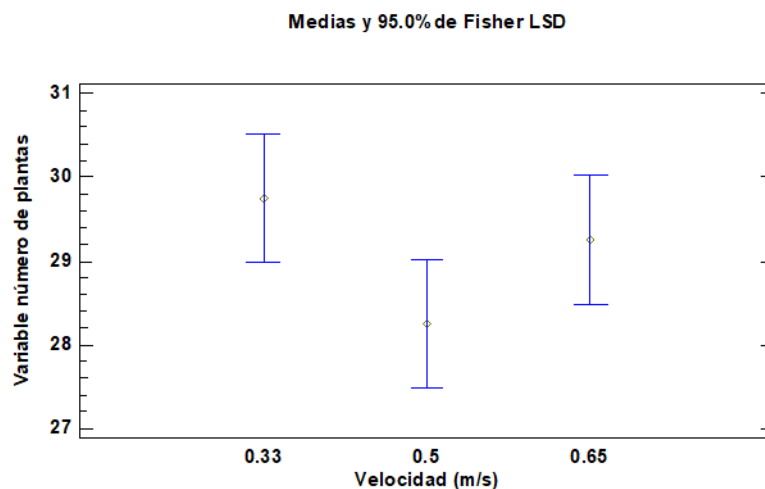
Tabla 3. Prueba por método LSD (Last Significance Difference)

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Velocidad (m/s)</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0.5	4	28.25	X
0.65	4	29.25	X
0.33	4	29.75	X

Como se puede apreciar en la siguiente gráfica al hacer la prueba LSD (Last significance difference) vemos que las variaciones de cada velocidad se traslapan en la horizontal formando un grupo homogéneo.

Gráfica 2. Dispersión por el método Fisher.



A manera de conclusión de los ensayos estadísticos se afirma con un 95% de certidumbre que el contador de plantas detecta y registra el número de plantas de agave de manera correcta y que además al 95% de certidumbre no existe diferencia significativa en el contador de plantas al utilizarlo a las velocidades aquí ensayadas que son 0.33, 0.5 y 0.65 m/s, respectivamente.

B  
I  
B  
L  
I  
O  
G  
R  
A  
F  
Í  
A



## 6. Bibliografía

- Bautista-Justo, M., García-Oropeza, L., Corona, J. B., & Parra-Negrete, L. A. (2001). El Agave tequilana Weber y la producción de tequila. *Acta Universitaria*, 11(2), 26-34.
- Hernández, E. P., Parga, M. D. C. C., & Hernández, J. C. G. (2016). Revisión del agave y el mezcal. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1), 148-164.
- Torres, F., & Jara, C. A. (2011). Sensores y detectores. *Automatización*.
- Castaño González, J. (2016). Diseño de una maleta didáctica de pruebas para sensores de proximidad en el área de mecatrónica.
- López Riquelme, J. A., Soto Vallés, F., Suardiaz Muro, J., & Iborra García, A. J. (2009). Red de sensores inalámbrica para agricultura de precisión.
- García, E., & Flego, F. (2008). Agricultura de precisión. *Revista Ciencia y Tecnología*, 8, 99-116.
- Burdziakowski, P. (2020). A Novel Method for the Deblurring of Photogrammetric Images Using Conditional Generative Adversarial Networks. *Remote Sensing*, 12(16), 2586. <https://doi.org/10.3390/rs12162586>
- Calvario, G., Alarcón, T. E., Dalmau, O., Sierra, B., & Hernández, C. (2020). An Agave Counting Methodology Based on Mathematical Morphology and Images Acquired through Unmanned Aerial Vehicles. *Sensors*, 20(21), 6247. <https://doi.org/10.3390/s20216247>
- Calvario, G., Sierra, B., Alarcón, T. E., Hernández, C., & Dalmau, O. (2017). A Multi-Disciplinary Approach to Remote Sensing through Low-Cost UAVs. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 17(6), E1411. <https://doi.org/10.3390/s17061411>