

Planteamiento del uso de robots móviles para apoyo en tareas de
siembra de cebolla con acceso a estaciones meteorológicas.

Maria Camila Troncoso Campos

Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada

Opción de grado para optar al título de Ingeniero Mecatrónico

Ing. Alexandra Velasco Vivas, Ph.D.

22 de agosto de 2022

Tabla de contenido

Introducción.....	2
Revisión bibliográfica.....	4
Objetivos	6
Objetivo general.....	6
Objetivos Específicos	6
Propuesta de Diseño para Robot de Siembra	7
Construcción del perfil de la demanda de innovación.....	7
Definición de los retos de innovación	8
Solución de los retos de innovación	9
Diseño Mecánico	9
Diseño eléctrico	15
Conclusiones.....	25
Referencias	27

Introducción

Colombia presenta una gran variedad de zonas topográficas y de zonas climáticas, lo cual le permite tener diversidad de cosechas a lo largo de todo el año, produciendo hortalizas en un promedio de 32 departamentos y más de 1000 municipios, siendo un sector liderado por pequeños productores hortícolas con áreas entre 1 a 3 hectáreas (Minagricultura, 2021). El principal problema que enfrentan los campesinos es el abandono estatal. Este fenómeno se manifiesta en las zonas o regiones más remotas del país (Sánchez, 2017) y es una de las principales causas por las que el proceso de tecnificación en el campo colombiano se ha visto retrasado, manteniendo manuales la mayoría de las tareas. La falta de automatización de estas labores genera cansancio físico en los agricultores debido a la mala posición que deben manejar y sus labores repetitivas (Gómez, 2006). Sumado a esto se encuentran los cambios climáticos, los cuales hoy en día están generando pérdidas en cosechas o dificultad en estas mismas. Debido a lo mencionado anteriormente y con la ayuda de los conocimientos adquiridos en el curso Misión Académica Internacional Virtual en Gestión de la Innovación, se plantea un análisis de los avances realizados en la agroindustria para determinar qué necesidades siguen teniendo los campesinos. Esto permitirá construir un perfil de las demandas del grupo objetivo, así logrando genera el planteamiento del diseño de un robot móvil para realizar los surcos y plantar la semilla de cebolla.

Debido a las malas condiciones que tienen que enfrentar los agricultores y el riesgo que corren de presentar lesiones o fatiga muscular, se plantea utilizar herramientas y conocimientos de la robótica para mejorar y automatizar las labores de los campesinos, ya que ésta puede ofrecer una solución para facilitar o eliminar esas tareas repetitivas, evitando que los trabajadores tengan que pasar largas horas de su jornada en posiciones no ergonómicas. Las condiciones del problema descrito son adecuadas para implementar un robot móvil con capacidad de siembra, con el objetivo de liberar a los trabajadores de la labor de arado de la tierra y la distribución de las semillas de cebolla; además, para evitar pérdidas o problemas como consecuencia de las condiciones climáticas actuales se plantea

que el robot móvil sembrador tenga acceso y conexión a una base de datos la cual obtendrá el registro de diferentes medición de variables generadas por una estación meteorológica, mejorando el proceso de siembra de cebolla.

En la actualidad existen diferentes empresas dedicadas a los temas relacionados con la agricultura, entre ellas se encuentra Fendt, una empresa alemana dedicada principalmente a la fabricación de tractores. Actualmente cuenta con diferentes robots especializados en siembra (Fendt, 2022); la empresa EarthSense dedicada a la creación de robots ultra compactos especialmente para cultivadores y científicos (EarthSense, 2022). También se encuentra la empresa Case IH líderes en el área de la agricultura y equipos para esta (Case IH, 2022). Todas estas empresas han presentado grandes innovaciones con maquinaria que facilita la vida del campesino. Adicionalmente, grupos de investigación universitarios han propuesto diferentes diseños de dispositivos que buscan apoyar el campo desde distintas frentes. A lo largo del documento se presentará un análisis de las tecnologías anteriormente mencionadas y con ayuda de las metodologías aprendidas en el curso internacional, se formularán los retos de innovación permitiendo convertir las demandas en valor añadido para la propuesta de diseño de una nueva solución.

Revisión bibliográfica

Análisis de robots móviles sembradores

Con el incremento de la población crecen las demandas de los productos básicos, lo cual genera un crecimiento en la industria agrícola en todo el mundo. Con los métodos tradicionales usados en las zonas rurales se dificulta mucho que el agricultor pueda satisfacer la demanda. Por lo anterior, surgió la necesidad de tener maquinaria especializada en este tipo de terrenos como lo son las pulverizadoras, cosechadoras, abonadoras, tractores, entre otros; pero debido al gran tamaño y peso que presentan pueden producir cierto impacto negativo en los suelos (Rodríguez, 2007). Por lo tanto, los robots agrícolas han generado un efecto positivo en la industria, aunque hoy en día encontramos grandes avances en el campo, sigue siendo un área en constante crecimiento. En Colombia no se encuentran empresas que se dediquen a la fabricación de este tipo de maquinaria, por lo que se debe recurrir al mercado internacional el cual hoy lideran empresas como Fendt y Case IH.

- Fendt: Esta empresa fue fundada 1937, dedicada a producción de maquinaria agrícola; para el año 2017 iniciaron un proyecto de investigación financiado por Estados Unidos para participar en AgriTechnica 2017; desarrollaron a MARS (Mobile Agricultural Robot Swarms) un robot el cual planifica supervisa y documenta la siembra de maíz con tecnologías como la navegación por satélite y gestión de datos. Luego del éxito de MARS iniciaron un nuevo proyecto de investigación en el campo de la robótica agrícola apodado como XAVER el cual se especializa en la siembra selectiva con tecnología de enjambre, donde el agricultor ayuda con a planificación de semillas a través de la aplicación del robot, además, se puede realizar el seguimiento de XAVER en tiempo real desde cualquier ubicación.
- Case IH: Una empresa dedicada a los equipos agrícolas con más de 175 años en el mercado, posicionada en más de 160 países, líderes en maquinaria que

aporten soluciones y servicios agrícolas para aumentar la productividad; en su catálogo cuentan con productos como tractores, cosechadoras, cargadoras, equipos para labranza, entre otros, además, cuentan con una línea de soluciones llamada Case IH AFS, la cual incluye tecnologías como piloto automático, monitoreo, sección y control de flujo, y un software que le permite al agricultor crear, manejar, importar y exportar pautas para el manejo de sus cultivos.

En Colombia se pueden encontrar grupos autónomos y grupos universitarios que han realizado diferentes investigaciones, avances y proyecto enfocados en la agricultura, entre esos encontramos el desarrollo de un robot móvil tipo oruga con un sistema de navegación autónomo (Quiñonez, 2021) presentado por los estudiantes de ingeniería mecatrónica de la Universidad Autónoma de Bucaramanga. En este se estudian las condiciones para el cultivo de café en Colombia las cuales presentan diferentes problemáticas como la exposición del trabajador a aspectos climáticos y a jornadas demasiado extensas de trabajo; los estudiantes realizan el diseño de un sistema de navegación autónomo para un diseño mecatrónico ya desarrollado, implementándole sistemas de comunicación y diferentes sensores como GPS para lograr el correcto funcionamiento de este.

También un grupo de estudiantes de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas realizaron el diseño de un robot sembrador de semillas de fresa el cual llamaron FRESABOT III (Flórez, 2019). Este robot se diseña con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas que se dedican a esta labor teniendo en cuenta temas como lo son medio ambiente y costos bajos, tiempo de ejecución y calidad. Este robot cuenta con sistema oruga, una tolva, diferentes brocas y un servomotor para excavar. Además, un Arduino Mega 2560 y como sistema de alimentación usa baterías de litio; FRESABOT III recorre una distancia de 30cm donde realiza un giro de 180° para realizar el proceso de excavación. Con ayuda de la tolva depositar la semilla de la fruta y por último procede a tapar el hueco.

Objetivos

Objetivo general

- Analizar las tecnologías existentes relacionadas con la agricultura de precisión, para presentar una propuesta de diseño de un dispositivo robótico que facilite las labores de siembra de cebolla, utilizando los conocimientos adquiridos en el curso Misión Académica Internacional Virtual en Gestión de la Innovación.

Objetivos Específicos

- Analizar los diferentes mecanismos y sistemas que han sido implementados en las tecnologías existentes para determinar las que ofrecen mayor viabilidad en la labor de siembra de cebolla.
- Formular los retos de innovación para presentar un diseño innovador, y pensado para suplir las necesidades y requerimientos del campesino, teniendo en cuenta que es clave que el robot debe realizar autónomamente el proceso de siembra completo.
- Examinar la posibilidad de aplicar tecnologías que permitan la comunicación con las bases de datos de estaciones meteorológicas, permitiendo estimar los mejores momentos para la siembra, con el fin de lograr un valor agregado.

Propuesta de Diseño para Robot de Siembra

El trabajo se desarrollará en tres etapas fundamentales, las cuales son:

- Construir el perfil de la demanda de innovación el cual hace referencia a entender al cliente o población objetivo, esto implica comprender las necesidades, objetivos y expectativas que tiene respecto a un tema en específico, también involucra el entorno del cliente.
- Definir los retos de innovación es la etapa donde se identifican las posibles soluciones a las necesidades que tiene el cliente; el proceso de innovar hace referencia a crear, modificar, eliminar, combinar o mejorar algún proceso, producto, servicio o proyecto, para completar esta etapa con éxito es necesario conocer perfectamente el problema.
- Solucionar los retos hace referencia a la etapa donde dependiendo de los retos de innovación planteados previamente los expertos en el tema entrar a realizar las actividades necesarias para cumplir con el objetivo, como lo pueden ser realizar diseños, mejoras, planes de marketing, entre otros.

Construcción del perfil de la demanda de innovación

El presente documento tiene como cliente objetivos los pequeños campesinos colombianos, los cuales sufren de un abandono por parte del estado, a pesar de que el Ministerio de Hacienda y Crédito público presenta un informe donde para el 2019 se tuvo un presupuesto de \$332,760,286,874 para el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (Minagricultura, 2019), un estudio de la Universidad de Antioquia (Osorio-Quintero, 2019) del mismo año mostró que el sector rural tiene una gran parte de población que presenta bajos recursos. Este abandono también causa que los temas relacionados con robótica y

automatización no tengan gran impacto en estas zonas, evitando que los agricultores puedan adquirir y usar nuevas tecnologías en sus terrenos.

Otro de los grandes problemas que es necesario abordar son los efectos que tiene el cambio climático alrededor de todo el mundo, este tiene gran impacto tanto como para los ecosistemas como para la vida de los seres humanos. El sector agropecuario presenta grandes afectaciones (González, 2020) por los diferentes fenómenos que se están generando; el aumento de sequías o inundaciones relacionadas con los famosos fenómenos del niño y de la niña causan disminución de la productividad en el suelo de los campos (Busnelli, 2010), generan que los pocos cultivos que logran sostenerse en difíciles condiciones no presenten la misma calidad. Además, se ve un aumento de enfermedades y plagas en las cosechas (Brechelt, 2004). También los eventos de precipitación intensos causan erosión en los suelos lo que implica grandes afectaciones para estos (Arteaga, 2018).

Definición de los retos de innovación

Luego de entender las diferentes situaciones que se viven en el campo, es necesario aplicar los conocimientos adquiridos en el curso internacional con el objetivo de plantear los retos de innovación para lograr cumplir y satisfacer las necesidades de los pequeños agricultores en Colombia. Teniendo en cuenta que varias de las afectaciones que se dan en el sector rural se deben a las difíciles condiciones que tienen que enfrentar los agricultores a causa de la falta de atención y los efectos que tienen los cambios climáticos tan acentuados que se presentan hoy en día; se plantea el uso de herramientas y conocimientos en el área de la robótica para solucionar la problemática mencionada en la etapa de la Construcción del perfil de la demanda; Luego de realizar una revisión bibliográfica, se puede observar que hoy en día existen grandes avances que permiten mejorar la calidad de vida de las personas cuya actividad principal es la siembra. Con lo anteriormente mencionado se proponen las siguientes preguntas:

- ¿Cómo se puede relacionar la problemática del abandono estatal y la problemática del cambio climático en un sistema que apoye a los agricultores?
- ¿Cómo se pueden adaptar las tecnologías ya existentes al campo colombiano? Teniendo en cuenta que el sistema que se implemente tiene que ser de un costo bajo para que realmente sea accesible para estas comunidades.

Solución de los retos de innovación

En las secciones anteriores se desarrolló el ejercicio de aplicar los conocimientos adquiridos en el curso de innovación para encontrar y delimitar un problema que afecta un grupo de interés, en este caso los campesinos colombianos. Con los objetivos trazados se tiene claro el camino a seguir para desarrollar una solución innovadora para lo cual se deberán aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de ingeniería mecatrónica. Para llevar a cabo el planteamiento del diseño se opta por separar la problemática global en los distintos frentes que componen un dispositivo mecatrónico.

Diseño Mecánico

Según lo descrito en el planteamiento del problema, la solución propuesta debe contar con características particulares que le permitan adaptarse a las necesidades de los pequeños campesinos colombianos; las características más importantes a tener en cuenta son:

- Un tamaño compacto para maniobrar de manera fácil alrededor de los cultivos.
- Es necesario que cuente con la capacidad de moverse en terrenos difíciles.
- Su construcción debe ser de bajo costo para permitir su aplicabilidad en los pequeños cultivos.

- El robot de siembra contará con un mecanismo el cual le permita abrir el surco y depositar la semilla de cebolla.
- Componentes que presenten protección contra el agua.
- Mecanismo dosificador de semillas de cebolla para alimentar el sistema de siembra.

Uno de los apartados más importantes del diseño es la selección de los materiales de construcción, dependiendo de estos las propiedades mecánicas y el precio del robot pueden variar de manera drástica. Teniendo en cuenta el contexto al que se desea aplicar es importante mantener el costo al mínimo, pero por las condiciones del terreno también es necesario una estructura resistente y duradera. Por las necesidades que busca suplir el diseño, lo más factible es el uso de distintos materiales con el objetivo de optimizar el costo, el peso y la funcionalidad del dispositivo.

Como primer paso se definió para la estructura la implementación de un chasis de tipo jaula tubular (figura 1) debido a la rigidez estructural que se puede lograr con elementos de geometría sencilla y fáciles de conseguir como lo son los tubos. Además de ser una estructura económica y de rápida manufactura lo que facilita su mantenimiento (Quiroga, s.f).

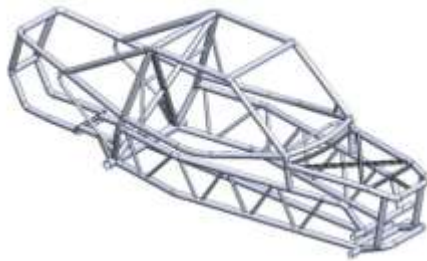


Figura 1. Conjunto estructural. Tomado del (Instituto Tecnológico Superior Tecnoecuatoriano, 2017)

Teniendo en cuenta el tipo de estructura, a continuación, se realiza una tabla comparativa para evaluar distintos materiales y mecanismos de movimiento, con el propósito de seleccionar las características adecuadas, que permitan suplir de la mejor manera los requerimientos de la aplicación. En este caso, como se ha mencionado en el documento, es necesario tener un vehículo capaz de avanzar por terrenos complicados, como la tierra de un cultivo, que a su vez mantenga un bajo costo. Teniendo esto en cuenta, se seleccionan 3 opciones para materiales del chasis y sistema de movimiento, que se comparan en la siguiente tabla 1 para apreciar de mejor manera sus ventajas.

	<i>Opción 1</i>	<i>Opción 2</i>	<i>Opción 3</i>
<i>Chasis</i>	<p><i>PVC:</i></p> <p>Precio: \$5.316 de 1” por metro (Homecenter, s.f.)</p> <p>Módulo de Young: aprox 3G Pa.</p> <p>Peso específico: 1400 Kg/m³</p>	<p><i>Aluminio:</i></p> <p>Precio: \$152.950 de 1” por metro (Homecenter, s.f.)</p> <p>Módulo de Young: 70G Pa.</p> <p>Peso específico: 2700 Kg/m³</p>	<p><i>Fibra de carbono:</i></p> <p>Precio: \$163.200 de 1” por metro (Amazon, s.f.)</p> <p>Módulo de Young: (228 a 448) G Pa.</p> <p>Peso específico: 1750 Kg/m³</p>
<i>Mecanismo de movimiento</i>	<p><i>Oruga:</i></p> <p>Gran capacidad, todo terreno por que el vehículo avanza sobre carriles constantes (Yepes, 2016).</p>	<p><i>(2ruedas) Diferencial:</i></p> <p>Sistema de dos ruedas poco complejo el cual cuenta con una rueda de apoyo central, usado en espacios convencionales (González, 2009).</p>	<p><i>(6 Ruedas) Rocker-Bogie:</i></p> <p>Sistema de 6 ruedas, diseñado para moverse y escalar en terrenos complejos (Chinchkar, 2017).</p>

Tabla 1. Características elementos mecánicos.

Como se observa en la tabla 1 se esbozaron 3 diferentes opciones para el mecanismo de movimiento, como primera opción se planteó usar el modelo cinemático de un robot diferencial para el diseño, debido a que su control para que se mueva de manera autónoma es fácil de implementar y es práctico porque los movimientos requeridos para que el robot cumpla su función de siembra son solo desplazamientos rectos y giros, lo que hace que un robot diferencial sea ideal. Sin embargo, el hecho de que necesite una rueda tipo castor hace que su desplazamiento por terrenos complicados sea una tarea difícil, además de ser susceptible a estancamientos haciéndolo poco viable. Por otro lado, el sistema Rocker-Bogie presenta excelentes capacidades todo terreno, pero es un mecanismo más complejo con algunas partes móviles que necesita tracción 6 X 6 para explotar al máximo el potencial de su estructura, por lo que su construcción es más costosa. Teniendo en cuenta las desventajas de los modelos anteriores se plantea el uso de orugas (figura 2) para el desplazamiento (Quiñonez, 2021), que son un punto medio entre los mecanismos de movimiento analizados en la tabla 1 ya que funcionan de manera similar a un robot diferencial, pero con la ventaja de que estas pueden moverse en terrenos irregulares gracias a que las ruedas motrices avanzan siempre sobre el camino plano formado por los eslabones de las orugas (Yepes, 2016).



Figura 2. Mecanismo oruga (Camso, 2022)

Siguiendo con el apartado de selección del material para el chasis, observando las características de la tabla 1 se podría concluir que la fibra de carbono presenta grandes características de ligereza y resistencia por lo que es un material ideal para muchas aplicaciones mecatrónicas. Sin embargo, es importante resaltar que el vehículo, si bien tiene un diseño todo terreno, recorrerá zonas previamente preparadas para siembra por lo que no necesita componentes muy resistentes debido a la rigidez estructural que presenta el chasis escogido, permitiendo que se puedan usar materiales como plásticos, en este sentido se prioriza el aspecto económico. La opción seleccionada para la construcción de la jaula son los tubos de PVC (opción 1), debido a que son elementos resistentes y muy fáciles de conseguir casi en cualquier lugar.

Manejando una jaula tubular (figura 1) como núcleo de la estructura, aún es necesario un sistema de soporte para la parte electrónica del robot. Generalmente se optaría por una caja de circuitos hecha en chapa, pero pensando en mantener el costo bajo y añadiendo resistencia al agua, es más práctico el uso de un recipiente plástico con cierre hermético, en donde se pueden almacenar circuitos y baterías, manteniéndolos secos incluso en condiciones de lluvia (las características de la protección contra el agua se detallaran en el apartado de diseño electrónico), teniendo solo algunos agujeros para transportar los cables necesarios para los motores y sensores del vehículo. Dicho contenedor plástico debe ir acoplado al interior de la jaula.

En el proceso de cosecha de la cebolla se tienen dos etapas principales, primeramente, se siembran las semillas hasta que la planta empieza a germinar, posteriormente las plantas recién germinadas son extraídas de la tierra para ser preparadas antes de ser plantadas nuevamente. Al definir el tipo de mecanismo usado para la siembra, es importante tener en cuenta que se trabajará con la cebolla en su primera etapa del proceso de cosecha, cuando está en estado de semilla (Rullán, s.f.). Los mecanismos que permiten que este vehículo sea un robot de siembra son dos, el de dosificación y deposición de semillas (Bonaerense, s,f), y el mecanismo para realizar los surcos. Estos mecanismos

permiten que mientras el vehículo avanza, este sea capaz de abrir el agujero para las semillas, depositar la cantidad adecuada de semillas, y tapar el agujero para que las semillas germinen de manera correcta. Para esta función, el robot debe avanzar lentamente en línea recta a través del terreno de siembra, pasando su centro por las líneas dejadas por el proceso de arado, realizado generalmente por distintas herramientas como tractores, entre otros.

El mecanismo para abrir el surco es sencillo, existen diversas formas de implementarlo, algunas más complejas que otras, pero en su expresión más simple se usan algunos elementos al frente que separa la tierra a la profundidad deseada, de manera similar a un arado manual, mientras que en la parte posterior se ubica otro elemento para compactar suavemente sobre las semillas la tierra separada. Se debe considerar que, si el mecanismo usado para separar la tierra no está diseñado correctamente, este puede producir cúmulos de tierra en frente al robot, haciendo que este quede atrapado. Para abrir el surco de manera manual muchas veces se utiliza un dispositivo de punta triangular que se entierra a poca profundidad en el suelo y es arrastrado dejando un camino de la profundidad deseada (Lara, 2008) en donde son depositadas las semillas. Para hacer este proceso con el robot se opta por implementar el mecanismo utilizado por la empresa FENDT en su proyecto Xaver, este robot cuenta con dos discos enfrentados en la parte frontal del dispositivo los cuales presentan una pequeña angulación permitiendo abrir el surco desplazando la tierra hacia los laterales como se observa en la figura 3.



Figura 3. Robot Xaver. Imagen tomada de FENDT (Fendt, 2022)

Como último apartado del diseño mecánico, es necesario proponer un sistema para depositar de manera dosificada las semillas mientras el robot avanza, es importante aclarar que para la siembra de cebolla no es necesario contar con una cantidad específica de semillas ni con separaciones precisas, en las cosechas manuales estas son esparcidas al tanteo en línea recta. Un mecanismo simple y efectivo puede ser el uso de una tolva, en cuya salida se implementa un sistema de dosificación de semillas (Inatec, s,f) por expulsión forzada el cual presenta una apertura en la parte superior permitiendo el paso por gravedad de las semillas, este dispositivo en su interior cuenta con un rodillo acanalado de dientes rectos, como se observa en la figura 4, que al girar almacena pequeñas cantidades de semillas en sus canales para luego depositarlas.

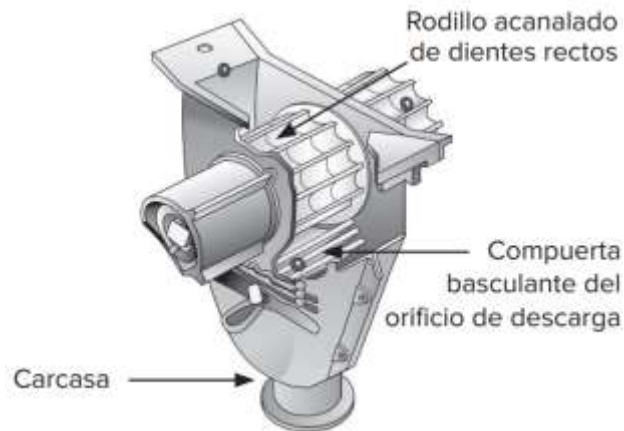


Figura 4. Sistema de dosificación de semillas. (Inatec, s,f)

Diseño eléctrico

Para adaptarse a los requerimientos del problema el robot debe contar con ciertas funcionalidades que se han esbozado a lo largo del documento, esto se logra en el apartado eléctrico cumpliendo con los siguientes requisitos (Quiñonez, 2021):

- Debe contar con una batería recargable para reducir costos a funcionamiento a largo plazo que implicaría cambiar la batería cada vez que se descargue.
- Es necesario que cuente con motores de alta potencia debido a las difíciles condiciones del terreno.
- Sistema de geoposicionamiento.
- Unidad de control.
- Mecanismos de comunicación.
- Sensores que permitan recopilar información del terreno, como sensores de humedad, temperatura, sensores NPK, entre otros (Urbano-molano, 2013).

En el apartado de diseño mecánico se mencionó la necesidad de que el vehículo contará con resistencia al agua, debido a que en las condiciones para las que es diseñado puede trabajar bajo lluvia o rocío. La impermeabilización de la caja de circuitos fue resuelta en ese apartado, pero es más complejo proteger los motores eléctricos debido a que cuentan con elementos móviles susceptibles a la oxidación. Además de resistencia al agua, el vehículo también debe ser capaz de funcionar por periodos extendidos de tiempo, y debe contar con un sistema de comunicación de largo alcance para poder transmitir datos y recibir comandos desde cualquier lugar dentro del área de sembrado. Para cumplir con estas características es necesario seleccionar cuidadosamente los componentes electrónicos, ya que, si bien en el mercado existen dispositivos diseñados especialmente para aplicaciones similares, es importante mantener el costo bajo para permitir que el dispositivo sea asequible para la población objetivo (pequeños y medianos campesinos colombianos).

A continuación, se muestra una tabla comparativa con los distintos componentes eléctricos y electrónicos tenidos en cuenta, con el objetivo de satisfacer las necesidades mencionadas en el párrafo anterior, se tienen en cuenta dispositivos y tecnologías acordes a las necesidades expuestas, con diversos precios, ventajas y desventajas. Para la selección de los componentes, las características de cada uno se consignan en la tabla 2 a continuación.

	<i>Opción 1</i>	<i>Opción 2</i>	<i>Opción 3</i>
<i>Motor</i>	<i>Con escobillas:</i> Menor costo, menor consumo y más simple de controlar (CLR, 2022).	<i>Sin escobillas:</i> Mecanismo más sencillo al no tener conmutación mecánica, con mayor rendimiento (Delgado, 2021).	
<i>Batería</i>	<i>Acido:</i> Fácil de conseguir, económica, recargables (de Alba Padilla, 2017).	<i>Li-Po:</i> Ligera, alta densidad energética, alta capacidad de corriente y alta eficiencia (Gregorio, 2020)	<i>LiFePO4:</i> Hecha con materiales más sostenibles, mayor seguridad, alta eficiencia y densidad energética (Yamada, 2001).
<i>Comunicación</i>	<i>WiFi:</i> Alta velocidad, cobertura a largas distancias, trabaja en la banda de frecuencia de 2.4 GHz y 5GHz, la velocidad máxima de transmisión 9,6Gbps (Basnet, 2021)	<i>ZigBee:</i> Económico, de bajo consumo y bajo mantenimiento, seguridad basada en los estándares AES 128 (Advanced Encryption Standard) (Ramya, 2011).	<i>Cellular:</i> Comunicación bajo el estándar GSM, envío de datos a través de internet (Webhooks), envío simple y flexible (Particle, 2022).
<i>Controlador</i>	<i>Arduino:</i> Serie de tarjetas de desarrollo micro controladas económicas, de código abierto, con una amplia comunidad de usuarios (Arduino, 2015).	<i>Raspberry pi:</i> Serie de microcomputadores con puertos GPIO y distintos módulos que les permite actuar como controladores y procesadores (Pi, 2015).	<i>Particle:</i> Serie de tarjetas de desarrollo basadas en microcontroladores STM y comunicación 2G y 3G integrada (Particle, 2022).

Tabla 2. Características elementos electrónicos.

Una buena opción para extender la vida útil del dispositivo es el uso de motores sin escobillas, debido a que son más sencillos mecánicamente al no contar con escobillas, además, en proyectos en los que se necesitan motores de alta potencia es común encontrar el uso de motores sin escobillas (Gallini, 2018) y controladores de velocidad con protecciones contra el agua, por lo que, aunque son más costosos que otros motores DC, evitan el tener que diseñar y construir protecciones adicionales. Teniendo lo anterior en cuenta, y considerando que los motores sin escobillas son más eficientes y entregan mejor potencia y torque siendo más livianos y pequeños respecto a los motores DC con escobillas (Becerra, 2011); se decide entonces que el vehículo debería usar motores DC sin escobillas. Con esta selección de motores, y teniendo en cuenta que se propuso el uso de una caja plástica hermética para proteger los demás dispositivos electrónicos se espera alcanzar una protección IP54 suficiente para resistir lluvias según la norma IEC 605229, sistemas de riego y posibles salpicaduras por charcos.

Para el cálculo de la potencia de los motores se empieza haciendo una estimación de la masa del vehículo sumando las masas individuales de sus componentes que se definieron buscando referencias con las características mencionadas anteriormente como se muestra a continuación en la tabla 3. También se deben asumir otras características del vehículo que permitirán acotar de mejor manera la potencia necesaria, este deberá ser capaz de subir pendientes de hasta 30° de inclinación y tendrá una velocidad de operación cercana a los 5km/h que alcanzará en aproximadamente 5 segundos con una velocidad máxima de 10km/h. Con este planteamiento inicial la estimación de la potencia de los motores empieza con la ecuación número 1 en donde se aplica la segunda ley de Newton sobre un cuerpo en un plano inclinado a un ángulo θ (Vargas, 2016) para calcular el torque máximo requerido en los motores a través de la fuerza (F_t) necesaria para hacer que el objeto suba la pendiente (Porselvi, 2017).

Componente	Masa (Kg)	Referencia
Ruedas tipo oruga	1.25	Ruedas tipo oruga SZDoit TS300
Baterías	1.5	Traxxas Vehículo de batería LiPo de 2890X 6700 mAh 14.8V 4 celdas
Chasis (tubo y tornillería)	1	Tubo pc y tornillería
Electrónica	0.5	Raspberry Pi 4 Modelo B 4 GB
Discos	1	Totelement - Discos De Acero Placas De Metal
Motores	0.5	GARTT ML5010 300 kV motor sin escobillas
Otros elementos	3	
Total	8.75	

Tabla 3. Masa de los componentes consultados en Amazon.

$$F_t - w \cdot \sin \theta = M \cdot a \quad (1)$$

$$\tau = F_t \cdot r \quad (2)$$

Donde:

- w (peso) = $8.75 \text{ kg} \cdot 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 85.75\text{N}$
- r (radio del rodillo de la oruga) = 2.5 cm
- θ (Ángulo de inclinación) = 30°
- a (aceleración) = $\frac{1.39 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5 \text{ s}} = 0.278 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- M (Masa) = 8.75 kg
- F_t = Fuerza producida sobre el vehículo por el torque
- τ = Torque requerido

De esta forma, se desea despejar F_t para obtener así el torque necesario de los motores.

$$F_t - 42.87N = 2.43N \quad (3)$$

$$F_t = 2.43N + 42.87N = 45.3N \quad (4)$$

$$\tau = 45.3N \cdot 0.025 m = 1.13 N \cdot m \quad (5)$$

Como último dato para el cálculo de la potencia de los motores, se toma la velocidad máxima de 10 km/h y el diámetro de los rodillos de las orugas de 5 cm para calcular la velocidad angular de los motores.

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{2.77 \frac{m}{s}}{(0.05/2) m} = 110.8 \text{ rad/s} \quad (6)$$

Finalmente, para obtener el valor de la potencia del motor, se usan los valores de velocidad angular y torque, y se asume una eficiencia del 85% (Emrik, 2022) para el motor (valor típico para motores sin escobillas).

$$P = \frac{\omega \cdot \tau}{85\%} = \frac{1.13 N \cdot m \cdot 110.8 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{0.85} = \frac{W}{0.85} = 147.6 W \quad (7)$$

Debido a que el vehículo contará con dos ruedas tipo orugas, cada una con un motor, es posible usar dos motores con una potencia de 73.8 W cada uno (Chauhan, 2015).

Habiendo seleccionado los motores, se debe seleccionar una fuente de alimentación recargable y segura. Existen gran cantidad de opciones de baterías como se muestra en la tabla 2, entre las que se destacan las baterías de ácido-plomo y las baterías de litio. Las baterías de ácido son ampliamente usadas en los vehículos de combustión interna y tienen otras aplicaciones en subestaciones eléctricas e instalaciones que necesitan almacenar

energía. Por otro lado, las baterías de litio son usadas en vehículos eléctricos de todos los tamaños y en dispositivos móviles como celulares, entre otros. La ventaja de las baterías de litio sobre las de ácido-plomo es que las primeras son significativamente más ligeras, por lo que para hacer baterías de alto voltaje y alta capacidad son la mejor opción (Fonseca, 2011). Dentro de las baterías de litio también existen varios tipos, siendo comunes las baterías de ion de litio, polímero de litio y litio hierro fosfato, siendo las dos últimas las más usadas actualmente. Si bien las baterías de litio hierro fosfato son las más usadas en vehículos eléctricos debido a que son más seguras, su costo es más elevado que las baterías de polímero de litio. Por lo mencionado se determina que la opción que ofrecería mayores beneficios sería la batería de polímero de litio, por su bajo peso y alta densidad energética.

El tener una comunicación constante con un equipo de cómputo externo permite que dentro del robot solo sea necesario ubicar sensores, un módulo de comunicación y un microcontrolador para gestionar la información recibida y ejecutar las acciones necesarias en las ruedas y el mecanismo de dosificación para sembrar. De esta forma todo el procesamiento de la información recolectada de las variables meteorológicas y la planeación de las trayectorias pueden ser ejecutadas desde un computador, enviando al robot instrucciones claras de operación. Dicha comunicación puede funcionar de distintas formas dependiendo de la cantidad de información a transmitir y de la distancia entre los dispositivos a comunicar.

Repasando las tecnologías de comunicación mencionadas anteriormente en la tabla 2, en primera instancia se descarta el uso de comunicación por Celular debido a su limitante, ya que para funcionar depende un acceso constante a la señal de antenas de telefonía por lo que en un sector como el campo colombiano sería un inconveniente. Por otro lado, las tecnologías ZigBee y WiFi funcionan de maneras muy similares a través de radiofrecuencia en la banda de 2.4GHz, el protocolo ZigBee presenta ventajas en la formación de redes de dispositivos (aplicable para el manejo de varios robots de siembra al

tiempo), pero la cualidad más significativa es el bajo consumo eléctrico de los dispositivos ZigBee por lo que es ideal para el dispositivo móvil planteado. Como el robot debe moverse por campos con una extensión considerable, usar comunicación por radiofrecuencia (ZigBee) puede permitir un rango amplio que le permita moverse por toda el área de sembrado sin perder la conexión. Una opción que ya se usa en la agricultura de precisión son los módulos de comunicación Xbee Pro (Vera, 2015), que permiten una velocidad de comunicación de 200 Kbps en campo abierto hasta una distancia de 6,5 km, o hasta 300 m en condiciones urbanas con obstáculos y fuentes de interferencia.

El método de comunicación mencionado permite no solo comunicación punto a punto, sino también punto a multipunto, por lo que podría ser incluso escalable para poder manejar el funcionamiento de distintos robots de siembra desde el mismo equipo de computación. Para aplicaciones más complejas sería necesario un equipo de cómputo con mayor capacidad de procesamiento. Sin embargo, para controlar un único robot de siembra no son necesarias características excepcionales, incluso sería posible la construcción y configuración de un equipo sobre la plataforma Raspberry, dedicado al control del robot de siembra reduciendo el costo. La selección del computador a usar al final depende de los requerimientos de la persona que desee usar el dispositivo de siembra.

Planteando la posibilidad del uso de un PC (comercial o construido sobre la plataforma Raspberry) que se encargue del procesamiento de la información y tomé decisiones en base a la información disponible (sensores del robot y fuentes externas), es factible el uso de un microcontrolador que se dedique a la lectura de sensores, control de los motores y a la comunicación con la estación de cómputo de donde recibirá las órdenes. Como el método de comunicación por antena celular fue descartado (por lo que usar una Particle Proton pierde sentido, ya que su fuerte es la integración de red celular), y el uso de un microcontrolador convencional como Arduino podría funcionar para el proyecto de manera muy básica, usar dentro del vehículo una plataforma como la Raspberry Pi

permitiría suplir las necesidades básicas de control del robot, pero también da la posibilidad de integrar herramientas más complejas como cámaras, para tomar decisiones más inteligentes debido a su capacidad de procesamiento.

Para el correcto funcionamiento del robot es necesaria también la inclusión de distintos sensores en el apartado electrónico para que este sea capaz de moverse e interactuar con su entorno. Es primordial el uso de un sistema de navegación para permitir al robot posicionarse y planear trayectorias sobre el terreno, para lo cual se podría usar un dispositivo GPS. Para medir variables del terreno, una herramienta importante a tener dentro del vehículo es un sensor de humedad, que permitiría determinar si la humedad del suelo es adecuada para depositar las semillas, al igual que un sensor NPK, que permite determinar las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio del suelo, lo cual permite estimar si la tierra será adecuada para la siembra.

Otras variables como la humedad ambiente, la temperatura, las probabilidades de lluvia, la radiación solar, la nubosidad, entre otras, son importantes para decidir si las condiciones climáticas son adecuadas para la siembra, por esta razón es que se propone el factor característico del dispositivo, que consiste en una comunicación constante con la red para consultar variables meteorológicas medidas por estaciones y reportes del clima actualizados, una posible fuente de consulta para este tipo de variables es la base de datos de variables hidrometeorológicas del IDEAM (IDEAM, 2022), en donde se puede encontrar información histórica y actualizada de los comportamientos meteorológicos en él, esta base cuenta con más de 30 variables que incluyen las 5 mencionadas al inicio del párrafo, por lo que es una fuente fiable e ideal para la aplicación. Para la extracción de datos de la fuente mencionada se propone el uso del dispositivo de cómputo destinado para el control del vehículo, en este caso el software de control puede realizar la extracción de datos a través de distintos mecanismos para analizarlos y tomar decisiones. De esta forma, y siguiendo con la idea de usar un PC basado en la plataforma Raspberry, es conveniente

usar Python para la programación del software de control para el robot, de esta manera el código es ejecutable fácilmente sobre las tarjetas Raspberry y se pueden usar distintas técnicas de extracción de datos de la web (Web Scrapping) que se encuentran disponibles en este lenguaje de programación, como algunos métodos disponibles dentro de las librerías Pandas y Selenium (Hodge, 2022).

Finalizando las etapas de diseño eléctrico y mecánico se deja planteada una composición detallada de lo que sería el vehículo, lo que permite la construcción de una propuesta de diseño del robot en donde se muestra cómo se ubicarían los componentes más relevantes mencionados anteriormente dentro de la estructura. De esta forma se puede ver en las figuras 5 y 6 el modelo 3D del dispositivo construido en SolidWorks.

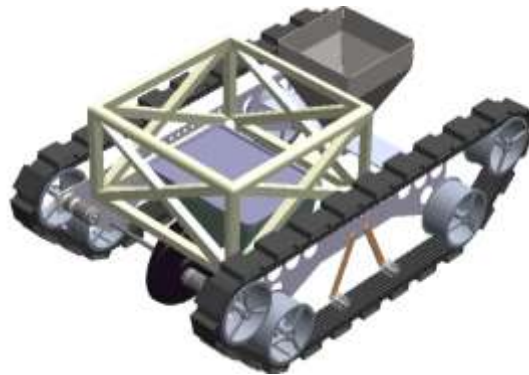


Figura 5. Render vista frontal.

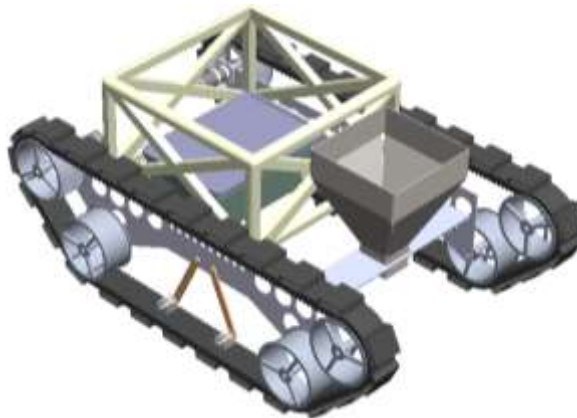


Figura 6. Render vista trasera.

Conclusiones

A lo largo del documento se describe el proceso realizado para proponer el diseño de un robot de siembra de cebolla orientado a los pequeños campesinos colombianos, con el objetivo de mejorar su labor y sus condiciones de vida y trabajo, permitiéndoles alcanzar niveles de producción mejores, limitando su desgaste físico y manteniendo al mínimo el costo de implementación del dispositivo. La tarea del planteamiento del diseño se cumple gracias a una revisión del estado del arte de la agricultura de precisión a pequeña escala que, junto con los conocimientos adquiridos en el curso internacional de innovación y aplicando los conocimientos adquiridos en distintos campos de la mecatrónica, permite la identificación de las necesidades del grupo objetivo para generar innovación, cumpliendo lo comprometido en el objetivo general y ayudando al cumplimiento de los objetivos específicos.

Como se evidenció en el planteamiento del diseño mecánico del dispositivo, se analizaron las distintas formas en las que se han implementado robots de siembra para el pequeño campesino colombiano, lo que permitió llegar a un diseño que busca mantener un funcionamiento práctico y costos de implementación bajos, orientado al alcance del objetivo específico número 1. Aunque los diseños mecánico y electrónico del dispositivo son cruciales para hacer que la propuesta supla las necesidades planteadas, la característica más importante y que más destaca del dispositivo es el funcionamiento autónomo y su capacidad de monitorear variables meteorológicas en tiempo real, estas funciones son posibles gracias a los mecanismos de comunicación inalámbricos planteados, que permiten no solo un funcionamiento más inteligente del dispositivo, sino que también hacen que la solución sea escalable, innovadora y que esté alineada con las tendencias actuales de la agricultura de precisión, como lo son la inteligencia artificial y Big Data.

Como se mencionó en el apartado de diseño electrónico, establecer una comunicación constante con un equipo de cómputo aumenta significativamente la capacidad de procesamiento de información del dispositivo, haciendo posible que desde el equipo se recaude información crucial de distintas fuentes, como estaciones meteorológicas y bases de datos de variables climáticas, la interprete y determine las acciones que necesita hacer el vehículo de manera autónoma para cumplir con su misión de plantar semillas de cebolla de manera eficiente en las mejores condiciones climáticas y del terreno posibles. Con esta característica se apunta al cumplimiento del objetivo específico número 3, e indirectamente también agrega valor a la innovación dentro del diseño debido a que es una característica que no es común encontrar en dispositivos de agricultura de precisión orientados a la pequeña industria. Es precisamente por esta característica que la solución se vuelve escalable de manera sencilla, por el simple hecho de que a través de mejoras de software y sin hacer modificaciones físicas en el robot, es posible mejorar la gestión de la información aplicando a futuro algoritmos de inteligencia artificial para manejar cantidades de datos de mayor tamaño, aumentando así la precisión en las decisiones tomadas.

Por lo anteriormente mencionado se puede concluir que el diseño planteado no solo es una solución que podría llegar a mejorar las condiciones de varios pequeños campesinos colombianos, por sus materiales comunes y económicos que reducen la inversión necesaria, sino que también deja abierta la puerta a mejoras que, con una inversión mayor a largo plazo, podrían traer funcionalidades de la agricultura de precisión al campo colombiano, aumentando la tecnificación y fomentando un agro más inteligente, preparado para los cambios y alineado con las tendencias mundiales.

Referencias

- *Amazon (s.f.) FANCYWING Tubos de fibra de carbono de 19.685 in (19.6 pulgadas) de 1.102 in x 1.181 in x 19.685 in, superficie mate, rollo 3K envuelto 100% puro para cuadricóptero multicoptero (2 piezas):*
https://www.amazon.com/FANCYWING-pulgadas-superficie-cuadric%C3%B3ptero-multicoptero/dp/B09X117DZG/ref=sr_1_1_sspa?keywords=1+inch+carbon+fiber+tube&qid=1666233923&qu=eyJxc2MiOiZLjc5IiwicXNhIjoieMi43NiIsInFzcCI6IjIuMjQifQ%3D%3D&srefix=1+inch+carbonfiber%2Caps%2C165&sr=8-1-spons&psc=1.
- *Arduino, S. A. (2015). Arduino. Arduino LLC, 372.*
- *Arteaga, L. E., & Burbano, J. E. (2018). Efectos del cambio climático: Una mirada al Campo. Revista de Ciencias Agrícolas, 35(2), 79-91.*
- *Balderrama Luiz, R. B. D. Vehículo autónomo para siembra de semillas de zanahoria.*
- *Basnet, P. B. S., Parikh, C., & Kandalaft, N. (2021, October). Application of Wi-Fi Communication Between FPGA and Microcontroller. In 2021 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET) (pp. 1-4). IEEE.*
- *Becerra Angarita, O. F. (2011). Control de Motor sin Escobillas.*
- *bonaerense del río Colorado, V. Siembra de cebolla en almácigos y trasplante.*
- *Brechelt, A. (2004). El manejo ecológico de plagas y enfermedades. Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (RAP-AL). Fundación Agricultura y Medio Ambiente (FAMA). RD.*
- *Busnelli, J., del Valle Neder, L., & Sampietro Vattuone, M. M. (2010). Incremento de erosión y suelos degradados por acciones antropogénicas y variaciones climáticas, Tucumán. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 66(4), 499-504.*

- *Camso. (2022). SISTEMAS DE CONVERSIÓN A ORUGA. <https://camso.co/es/agricultura/sistemas-de-conversion-a-oruga/?productType=12371>*
- *Case IH Agriculture and Farm Equipment. (2022). Recuperado 8 de agosto de 2022, de <https://www.caseih.com/northamerica/en-us/home>.*
- *Chauhan, S. (2015). Motor torque calculations for electric vehicle. International journal of scientific & technology research, 4(8), 126-127.*
- *Chinchkar, D., Gajghate, S. S., Panchal, R., Shetenawar, R., & Mulik, P. (2017). Design of rocker bogie mechanism. International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology, 4(1), 46-50.*
- *CLR. Compañía Levantina de Reductores S.L.(2022). Diferencias entre motores con escobillas y brushless. <https://clr.es/blog/es/diferencias-motores-con-escobillas-brushless/>*
- *Delgado Quintero, J. M. (2021). Modelado del Motor de CD sin Escobillas considerando conmutación electrónica (Master's thesis, Universidad Autónoma Metropolitana (México). Unidad Azcapotzalco. Coordinación de Servicios de Información.).*
- *de Alba Padilla, C. A. (2017). Estudio y fabricación de una batería ácido plomo. REPOSITORIO NACIONAL CONACYT.*
- *EarthSense. (2022). Recuperado 8 de agosto de 2022, de <https://www.earthsense.co/>*
- *Emrik Joner. (2022). Recuperado 26 de septiembre 2022, de <https://www.tytorobotics.com/blogs/articles/brushless-motor-power-and-efficiency-analysis>.*
- *Fendt España | El fabricante de maquinaria agrícola. (2022). Recuperado 8 de agosto de 2022, de <https://www.fendt.com/es/>.*
- *Fonseca, J. H. (2011). Celdas, pilas y baterías de Ion-Litio una alternativa para...?. Journal Boliviano de Ciencias, 8(22), 40-47.*

- *Florez Gonzalez, J. C., & Castellanos Pabon, V. M. (2019). Diseño en Autocad de robot sembrador de semillas de fresa: Fresabot III.*
- *Gallini, J. I. (2018). Mini prototipo sillas de ruedas con motores brushless de flujo axial-supervisión y control (Bachelor's thesis, Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.).*
- *Gómez, M. G. (2006). Enfermedades profesionales de los agricultores: del carbunco al cáncer; pasando por el dolor de espalda. La Mutua (Madrid), (16), 11-34.*
- *González Gaudiano, E. J., & Meira Cartea, P. Á. (2020). Educación para el cambio climático: ¿ Educar sobre el clima o para el cambio?. Perfiles educativos, 42(168), 157-174.*
- *González, L. H. R., Valencia, J. A., & Montoya, A. (2009). Modelo cinemático de un robot móvil tipo diferencial y navegación a partir de la estimación odométrica. Scientia et Technica, 1(41), 191-196.*
- *Gregorio, V., García, N., Tiemblo, P., & HEMPOL, G. (2020). Presente y Futuro de los Polímeros en el Diseño de Baterías de Litio. Rev. Plast. Mod, 756(119), 10-16.*
- *Hodge Michael. (2022). Using selenium and Pandas in Python to get table data from a JavaScript website. <https://medium.com/@michaelstvnhodge/using-selenium-in-python-to-get-table-data-from-a-javascript-website-13292863bfa4>*
- *Homecenter (s.f.) Tubo 1x6m Presión 21-200 psi: [vhttps://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/65894/tubo-1x6m-presion-21-200-psi/65894/](https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/65894/tubo-1x6m-presion-21-200-psi/65894/)*
- *Homecenter (s.f.) Tubo Redondo Aluminio 1 X 1/16 X 1.83 m: https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/581011/tubo-redondo-aluminio-1-x-1-16-x-183-m/581011/?kid=bnnnext1031756&shop=googleShopping&gclid=CjwKCAjwwL6aBhBlEiwADycBILzZ_evO3oIIPOLNdhzA0q5nDjHdsU9y7SswL8oVDWtM3E3nO7ObxoCqy8QAvD_BwE.*

- IDEAM (2022). *Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos*.
<http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>.
- Inatec (s.f). *MANUAL DEL PROTAGONISTA GRANOS BÁSICOS*.
- Interempresas. (s.f.).
<https://www.interempresas.net/Alimentaria/FeriaVirtual/Producto-Elevadores-sinfin-Envasef-ESF01-140561.html>.
- Lara Urdaneta, L. J. (2008). *Optimización de la siembra manual de verdolaga (Portulaca oleracea L.) en bandejas flotantes tipo styrofloat*.
- Minagricultura, M. (2021). *Cadena de las Hortalizas*.
<https://sioc.minagricultura.gov.co/Hortalizas/Documentos/2021-0330%20cifras%20sectoriales.pdf>
- Minagricultura. (2019). *Recuperado 10 de agosto de 2022, de*
<https://www.minagricultura.gov.co/planeacion-control-gestion/Gestin/Forms/AllItems.aspx?RootFolder=%2Fplaneacion%2Dcontrol%2Dgestion%2FGestin%2FPRESUPUESTO%2FPresupuesto%5FGeneral%5FAsignado%2F2019&FolderCTID=0x01200081515342FAE90E4AAD4549D3E2B8F290&View={2D85220A-BC39-4A6D-8A8C-E61ECED99CF8}>
- Osorio-Quintero, L., Lopera-García, L. D., López-Arango, Y. L., Rendón-Ospina, I. D., Tabares-López, J. C., Medina-Tamayo, M., & Nieto-López, E. (2019). *Condiciones de trabajo y de seguridad social en asociaciones de pequeños y medianos agricultores campesinos con prácticas de economía solidaria en tres municipios del oriente antioqueño, Colombia, 2015*. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 37(2), 36-48.
- Particle (2022). *Webhooks*. <https://docs.particle.io/getting-started/integrations/webhooks/>.
- Pi, R. (2015). *Raspberry pi 3 model b. online*].(<https://www.raspberrypi.org>).
- Porselvi, T., Srihariharan, M. K., Ashok, J., & Kumar, S. A. (2017). *Selection of power rating of an electric motor for electric vehicles*. *International Journal of Engineering Science and Computing IJESC*, 7(4), 6469-6472.

- Quiñonez, L. H. O., García, N. S., Sánchez, O. E. R., & Prada, S. R. (2021). *Desarrollo de un sistema de navegación autónoma en robot móvil tipo oruga para apoyo en tareas de siembra en campos caficultores. revista colombiana de tecnologías de avanzada (RCTA), 2(38), 38-45.*
- Quiroga Herrera, N. M. *Diseño de chasis para vehículo tipo buggy de carga para transporte de panela.*
- Ramya, C. M., Shanmugaraj, M., & Prabakaran, R. (2011, April). *Study on ZigBee technology. In 2011 3rd international conference on electronics computer technology (Vol. 6, pp. 297-301). IEEE.*
- Rodríguez, N. D., & Guerrero, J. N. P. (2007). *Metodología para evaluar el impacto de la maquinaria agrícola sobre los recursos naturales del medio ambiente. Ciencias Holguín, 13(2), 1-12.*
- Rullán, G. J. F. (S.F.) *COSECHA Y CURADO2.*
- Sánchez Amaya, D. E., & Caicedo Pinzón, M. (2017). *Pedagogía para la reterritorialización: una respuesta pedagógica ante el creciente abandono del campo colombiano.*
- Urbano-Molano, F. A. (2013). *Redes de sensores inalámbricos aplicadas a optimización en agricultura de precisión para cultivos de café en Colombia. Journal de Ciencia e Ingeniería, 5(1), 46-52.*
- Vera Romero, C. A., Barbosa Jaimes, J. E., & Pabón González, D. C. (2015). *Parámetros de configuración en módulos XBEE-PRO® S2B ZB para medición de variables ambientales. Tecnura, 19(45), 141-157.*
- Yamada, A., Chung, S. C., & Hinokuma, K. (2001). *Optimized LiFePO₄ for lithium battery cathodes. Journal of the electrochemical society, 148(3), A224.*
- Yepes Piqueras, V. (2016). *Trenes de rodaje de orugas.*
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/05/04/trenes-de-rodaje-de-orugas/>