

Diseño del concepto de un agrobot cosechador de café

Concept design of a coffee harvesting agrobot

Camila Acosta Zambrano *
Richard Marcelo Imbachi **

* Facultad de Ingenierías - Ingeniería Industrial - Fundación Universitaria de Popayán
Email: acosta.camila9511@gmail.com

** Facultad de Ingenierías – Ingeniería Industrial - Fundación Universitaria de Popayán
Email: richard.imbachi@docente.fup.edu.co



Resumen:

El objetivo de esta investigación fue diseñar el concepto de un agrobot cosechador de café, con el fin de mejorar la eficiencia en la selección del grano de café, procurando mantener la calidad del producto con el fin de contrarrestar la situación que se presenta en Colombia ante la escasez de recolectores de café; la propuesta se realizó en el departamento del Cauca, de manera particular en la zona de la Venta, Cajibío. En este lugar se encuentra ubicado el Parque Tecnológico del Café en el cual se toma la información necesaria para el diseño del agrobot. Por otra parte, la metodología del diseño es de enfoque mixto, la cual constó de una documentación detallada sobre los conceptos claves para el diseño y las propuestas que se han realizado entorno a la recolección de café, al igual que de los agrobots desarrollados para cosechar diferentes productos. Los resultados de esta investigación buscan beneficiar a los caficultores del Cauca, generando herramientas innovadoras, no solo pensando en los grandes productores sino en todos. Con el diseño se pretende aportar a la innovación tecnológica en el campo de la agricultura en la producción de café, específicamente en el proceso de recolección de la cereza del mismo; si bien, hay elementos creados para los procesos de recolección, ninguno gira entorno a la selección cuidadosa del grano de café, ya que de este depende la calidad del producto final. Este proyecto hace parte del macroproyecto Biohogar realizado por la Fundación Universitaria de Popayán el cual busca beneficiar a los caficultores de la región en la creación de diferentes herramientas tecnológicas.

Palabras clave:

café, cosecha asistida, dron, bioinspirados, innovación, agrobot.

Abstract:

The objective of this research was to design the concept of a coffee harvesting agrobot, in order to improve efficiency in the selection of the coffee bean, trying to maintain the quality of the product in order to counteract the situation that occurs in Colombia before the shortage of coffee pickers, the proposal was made in the Department of Cauca, particularly in the area of La Venta, Cajibío. The Coffee Technology Park is located in this place, where the necessary information for the design of the agrobot is taken. On the other hand, the design methodology is a mixed approach, which involved detailed documentation on the key concepts for the design and the proposals that have been made around coffee harvesting, as well as the agrobots developed to harvest different products. . The results of this research seek to benefit the coffee growers of the Department, generating innovative tools, not only thinking about large producers. The design aims to contribute to technological innovation in the field of agriculture in coffee production, specifically in the cherry harvesting process, although there are elements created for the harvesting processes, none of which revolve around the careful selection of the coffee bean, since the quality of the final product depends on it. This project is part of the Biohogar macroproject carried out by the Popayán University Foundation which seeks to benefit coffee growers in the region in the creation of different technological tools.

Keywords:

coffee, assisted harvest, drone, bioinspired, innovation, agrobot.

Introducción

El café es uno de los cultivos más importantes de Colombia, tanto en términos económicos como culturales. Según datos de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, el país produce cerca de 11.1 millones de sacos de 60k al año, considerándose el segundo mayor productor de café de calidad en el mundo (2023). Colombia tiene varias zonas cafeteras, extendidas a lo largo del país, este proyecto se centró en la zona suroeste, particularmente en el departamento del Cauca.

Según el Comité de Cafeteros del Cauca, (s.f.) El departamento tiene cuatro regiones cafeteras, cuenta con más de 93.000 familias cafeteras y 94.000 hectáreas aproximadamente de café arábico cultivado. Este departamento es uno de los productores más grandes de café a nivel nacional; además, de su producción se resalta su calidad, fragancia y aromas fuertes y acaramelados. En los últimos años, la producción de café en el departamento ha experimentado un importante crecimiento gracias a la implementación de nuevas tecnologías, prácticas sostenibles y al compromiso de los caficultores locales.

Por otro lado, la producción del grano requiere de una gran cantidad de mano de obra y esfuerzo, la cual se ha visto afectada por diferentes razones, lo que ha llevado a la búsqueda de nuevas alternativas tecnológicas para mejorar la eficiencia y reducir los costos. En este sentido, se plantea el diseño del concepto de un agrobot cosechador de café permitiendo mejoras, tanto para los caficultores como una alternativa para la industria cafetera colombiana.

El papel de la bioinspiración en el diseño del agrobot

La biomimética o bioinspiración es un campo de la ingeniería que se enfoca en imitar los

sistemas, procesos y estructuras biológicos para resolver problemas técnicos y sociales. La naturaleza ha sido una fuente inagotable de inspiración para la innovación y el desarrollo de nuevas tecnologías; en este caso en particular se pretende adaptar las características de la hormiga arriera para el diseño del agrobot cosechador de café. Se partió de la experiencia de algunos agrobots diseñados para la recolección de cosechas de diferentes productos.

Como se mencionó anteriormente, en este proyecto se planteó como objetivo principal diseñar el concepto de un agrobot cosechador de café; para esto se tuvo presente analizar el concepto del modelo bioinspirado con el fin de aplicarlo en el agrobot cosechador, y así poder determinar los parámetros del diseño. La metodología utilizada responde a los objetivos específicos planteados, con esta propuesta se pretende aportar a reducir las problemáticas que presenta la recolección de café, como: la falta recolectores, el costo de mano de obra, automatización del proceso, así como mejorar la calidad de vida de los recolectores que trabajan de manera permanente y de los pequeños caficultores. Probablemente los agrobots cosechadores de café representarán una alternativa prometedora para mejorar la eficiencia y reducir los costos en la producción de café en Colombia. Si bien existen desafíos y preocupaciones asociados con el uso de estas tecnologías, se espera que en el futuro cercano se siga avanzando en su desarrollo y se implemente a gran escala en la industria cafetera colombiana.

Sobre el Café en Colombia

En Colombia se manejan dos tipos de recolección de café, una es cosecha tradicional y la otra la asistida. La cosecha tradicional es realizada por los recolectores de café, el método tradicional que se utiliza es el banderín, el cual se coloca

según el surco que le corresponde al recolector, la mayoría se hace por patrón de corte, cuando él finaliza su labor se coloca el banderín en el surco siguiente, para que el otro recolector comience el próximo surco. El tiempo de recolección depende de muchos factores: la altura del árbol, la topografía del terreno, la cantidad de plantas por cultivo, la condición climática, las habilidades del recolector y su condición física. Los elementos utilizados para la recolección de café son la lengüeta, el raselca, el canguro y la retención de pases.

La lengüeta es una rejilla en caída que se pone a un lado del recipiente de coger café, se creó con la intención de facilitar la cogida del café, permitiendo que caigan los frutos dentro del coco, buscando reducir el tiempo de desgranado (FNC-CENICAFE, 2004). El otro elemento utilizado para la recolección de café es el raselca, que fue creado por los investigadores de CENICAFE y consta de ocho dedos de poliamida, que van en el interior de un tubo de PVC-presión, cortado longitudinalmente, consta de una bisagra, puede ser metálica o plástica, que une ambas caras del tubo y dos cintas de Velcro® en su parte extrema, para que se acople a la mano del recolector, permitiendo abrir y cerrar la herramienta poniéndola o retirándola de la rama; este dispositivo puede ser muy útil cuando la mayoría de la cereza está madura. Por otro lado, el canguro consiste en dos cuerpos metálicos en forma de embudo, sujetos a las muñecas del recolector; “(...) la manga dispone de un aro plástico para facilitar su apertura y el ingreso de los frutos desprendidos, que descienden hasta un bolso sujeto a la cintura y los hombros del recolector. Está fabricado en tela impermeable y tiene una capacidad de 12 kg” (Ocampo et al., 2017).

Una alternativa en la cosecha manual para los caficultores es la retención de pases como una estrategia para disminuir la cantidad de recolectores “(...) la distribución de la cosecha y la oferta de café maduro en el árbol determinan la cantidad de mano de obra necesaria y el costo

de la recolección”; este proceso trata de tener en cuenta un muestra inicial para determinar el tiempo máximo que debe durar cada pase y así determinar qué periodo sería el más prudente para que la cereza no pierda su calidad y consistencia. Algo adicional a lo mencionado anteriormente, es que existen dos tipos de desgranado para cosechar café; se emplean técnicas como el picking, que es de forma individual en el cual se seleccionan los frutos maduros y se dejan los demás para otro pase, otro es el estripping o masivo en el que se recolectan todos los frutos sin importar su condición; al no hacerlo de manera selectiva, se obtiene un café con una calidad menor (Ocampo, et al., 2017).

En América Latina, el mayor productor de café en masa es Brasil, anualmente produce 55 millones de sacos por temporada; en este país se han desarrollado algunas tecnologías para mejorar la producción de café. Para la recolección de café robusta utilizan un máquina llamada cosechadora k3500, esta máquina se divide en dos partes, una que recolecta el fruto usando vibraciones y otra que utiliza una aspiradora para pasar el producto a un compartimiento de almacenamiento. Esto ha contribuido a la recolección de café, y a la cadena productiva, disminuyendo gran parte de los costos que lleva esta etapa. Es de resaltar que esta máquina fue diseñada, teniendo en cuenta los siguientes factores: el tipo de café, el terreno, la cantidad de café que se produce y la floración, entre otros.

Para el caso de Colombia se cuenta con CENICAFE que desde el año 1997 viene impulsando las investigaciones en este sector productivo, con el fin de aportar a cada uno de los procesos que hacen parte de la producción de café desde la investigación, la innovación y la tecnología. (Tascón y Sanz, 2011). En este sentido se han planteado diferentes propuesta en pro de mejorar la etapa de recolección de café, como se viene mencionando; es evidente que con el paso del tiempo el número de recolectores ha disminuido considerablemente, por diversas razones; en el

caso de Cajibío, las familias cafeteras se han visto afectadas por la falta de recolectores con experiencia, teniendo en cuenta que el departamento del Cauca ha sido gravemente afectado por los cultivos ilícitos, los cuales han generado mayor rentabilidad en el sector rural que los productos alimenticios. En lo que se refiere al departamento del Cauca, de las variedades caucanas pajarita, guayaba y chipará se logra un número de cosechas al año que oscila entre cuatro y cinco. El valor promedio pagado por arroba es de 60 mil pesos, y una hectárea sembrada produce de 500 a 800 arrobas. Se calcula que hay 20.000 hectáreas plantadas en nuestro departamento (Aldana, 2021). La mano de obra en el sector de recolección de café se disminuyó considerablemente; ahora bien, CENICAFÉ y algunas universidades de Colombia han planteado algunas propuestas para contrarrestar esta situación, algunas han sido la cosecha asistida, el canguro, la aspiradora y de manera manual. Cada una de ellas ha implicado el estudio y la investigación exhaustiva de todos los factores que hacen parte de este proceso, como el tipo de terreno, de cultivo, de desgranado que se utiliza, la cantidad de café que hay por hectárea y la cantidad de producción, entre otras.

Del mismo modo, la cosecha asistida para la recolección de café gira en torno al uso de nuevas tecnologías, como la aspiradora cifarelli V7SS, creada para recoger los frutos que caen al suelo con el fin de garantizar que las cerezas y las plantas estén sanos ya que se ha identificado que el café que cae al suelo, tiende a generar plagas que se propagan rápidamente en los cultivos. Esta aspiradora cuenta con un ventilador centrífugo, con diferentes velocidades (Oliveros et al, 2010). Otra de las herramientas utilizadas para la cosecha de café según el Programa de Investigación Científica de CENICAFÉ (2018), es el uso de lonas que son utilizadas para recolección manual o la mecanizada; las lonas están hechas por una malla llamada Sarán, están diseñadas para soportar los diferentes climas, por ende no se degradan fácilmente, pueden durar

alrededor de diez años, tienen una dimensión de tres metros de ancho, con el fin de que cubra bastante terreno, su largo puede variar según las necesidades del cliente, hay lonas de 5 metros, de 12,5 metros y hasta de 25 metros. Estas lonas se pueden unir añadiendo un cierre Velcro de 5 centímetros y así tener mayor amplitud según el tamaño del lote.

Por otro lado, la derribadora selectiva de café DSC-18, también hace uso de lonas para la recolección de café, es así, como ambas herramientas trabajan conjuntamente. Según los investigadores científicos Juan Sanz y Hernando Duque (2020), la derribadora de café consta de tres partes que son: sistema motriz, transmisión remota de potencia y cabeza de cosecha. Esta herramienta es muy parecida a una guadaña, sin embargo, la cabeza de cosecha las diferencia; este mecanismo empleado busca generar vibraciones de manera oscilatoria, con el fin de derribar los frutos a partir de la llamada falla por fatiga, la cual consiste en movimientos repetidos que se realizan sobre una estructura; si los esfuerzos alcanzan un valor predeterminado por la fatiga se da la caída del fruto en las lonas empleadas para la recolección.

Aunque la derribadora selectiva de café ha contribuido a la recolección de este producto reduciendo el número de recolectores, su impacto es medido según los pases de café que se den, es decir que se considera importante dejar el siguiente pase de café, con un periodo de 36 días, para que alcance el estado de maduración necesario para usar la derribadora; esta decisión implica que el productor asuma esperar ese periodo de tiempo, aun con los riegos que este pueda acarrear, como las plagas y el daño de la cereza, entre otros. Además, tanto para el uso de lona como de la derribadora es necesario hacer un seguimiento constante de los cultivos, para determinar cuánto durará cada pase; por otro lado, la falla por fatiga que es en lo que consiste la derribadora, puede derribar el café que aún no está listo para recoger, lo que disminuye la



calidad del producto, puesto que la máquina derriba más no selecciona.

En el 2015 en CENICAFE se creó una herramienta que “posee un rodillo con dientes metálicos que permite desprender los frutos. Capaz de recolectar hasta un 32.7% más de frutos de café por hora que con la recolección manual” (Hernández, 2019). Teniendo en cuenta lo anterior, se planteó proponer un diseño de un agrobot cosechador que cumplan con las funciones de cosechar el café, seleccionando el que esté apto para cosechar en ese pase. El agrobot cosechador propuesto trabajará a partir de sensores que le permitirán reconocer cómo se encuentra la planta y las cerezas en todo el terreno; con los datos recolectados, el caficultor puede determinar cómo se encuentra el cultivo y cuando podría ser cada pase a partir del estado de las cerezas, de manera que la muestra se tome a través de esta herramienta tecnológica y no manualmente.

Problema de investigación

Producción de café en Colombia

En Colombia se venía presentando una situación positiva para los caficultores y es el alza en la producción y precio del café; pero en lo transcurrido del año la Federación Nacional de Cafeteros (2023) comenta que en marzo, la producción registrada de café de Colombia fue de 799.000 sacos de 60 kg, 13% menos frente a los 914.000 sacos registrados en el mismo mes de 2022. Hace cuatro años la carga de café estaba en \$1.014.000, hoy supera los \$2 millones; estas utilidades no se veían a esta escala desde finales del siglo XX (FNC 2021). Sin embargo, para los caficultores esta situación no ha tenido el impacto positivo que se esperaba porque los insumos agrícolas para el mantenimiento de la planta se han utilizados más de lo usual debido a los cambios climáticos que han generado plagas; segundo (Chacón, 2022), los costos de

producción en porcentajes para la recolección e insumos representan 53.7% y 23.9% respectivamente, de manera que el aumento del valor pagado por carga no ha generado los ingresos adicionales esperados. La mayoría de ese dinero se va en la primera etapa de producción. Por otro lado, desde hace tres años es notoria la disminución de recolectores de café, lo que ha generado más gastos para los caficultores en el proceso de recolección. La mano de obra se ha reducido al personal adulto, gran parte de los recolectores oscilan entre los 35 y 60 años de edad, las nuevas generaciones se están desvinculando cada vez más de esta labor, debido a que el trabajo se da por temporadas y es bastante tedioso, y para el alza que está viviendo el café consideran que la recolección no es bien remunerada. (DIE-FNC, 2016)

En lo que se refiere a la zona del Cauca particularmente al municipio Cajibío, la problemática de la falta de mano de obra gira en torno a productores pequeños; la mayoría de los recolectores son miembros de las familias cafeteras, el trabajo de recolección proviene de la mano de obra familiar, aunque, en algunos períodos del año la labor de estas familias no es suficiente y se necesita ayuda extra. Es notorio que algunas personas de estas regiones, especialmente jóvenes, ya no quieren ser parte de esta cadena productiva y se están dedicando a otro tipo de labores como la siembra de coca y cosecha de la misma, al ser mejor pagada y más rentable para ellos (Aldana 2021). Debido a que no se ha logrado el bienestar para los recolectores de café, por ser un empleo por temporadas y una tarea difícil de realizar, puesto que el recolector depende de la cantidad que recoge, del clima, el terreno y del precio, esta situaciones pesan más teniendo en cuenta que la mayoría de los recolectores son nómadas que se mueven entre las regiones cafeteras.

Es evidente que los recolectores de café son parte fundamental en la cadena de producción, su oficio requiere de experiencia, la cual es necesaria para la calidad del producto final, y su ausencia

desequilibraría la industria. Por ese motivo es necesario identificar las problemáticas sociales que tienen los recolectores de café, y más cuando la situación social y económica no es la mejor para los miembros de este proceso. Es importante pensar en estrategias que garanticen la producción para los caficultores y el bienestar para los recolectores que han trabajado constantemente en este oficio, que su trabajo sea bien remunerado y se tengan cuenta temas de bienestar social (salud, economía, alimentación, prestaciones sociales, educación, etc.). Anteriormente no se pensaba en apoyar a los recolectores porque su tarea era por cosechas y se contaba con una gran cantidad de personas que realizaban esta labor; sin embargo, los tiempos han cambiado y son pocas las personas que hacen parte de este oficio, por ese motivo la propuesta del agrobot cosechador busca llenar los vacíos de la mano de obra, garantizando la calidad de vida de los recolectores estables y la economía del caficultor. Para el caso de las pequeñas fincas cafeteras de las zonas de Cajibío a las cuales pretende dar respuesta esta propuesta, se busca aportar ante la escasez de recolectores en los países donde se requiere mano de obra extra y reintegrar a los jóvenes a esta labor, capacitándolos para el manejo y mantenimiento del agrobot cosechador. Por otro lado, este agrobot, busca que las pequeños caficultores y las familias cafeteras puedan tener una herramienta de calidad, económica e innovadora, con el fin de que este sector productivo haga parte de estas innovaciones en el sector cafetero, las cuales no deben ser asequibles solo para los grandes productores.

Objetivos:

General

Diseñar el concepto de un agrobot cosechador de café en la meseta de Cajibío, Cauca (Colombia).

Específicos

- Analizar el concepto del modelo bio-inspirado a aplicar en el agrobot cosechador.
- Determinar los parámetros del diseño del agrobot cosechador.

Métodos

La metodología de este proyecto se desarrolló a partir del enfoque de investigación mixta. Este tipo de enfoque sistemático incluye diferentes procesos tanto del enfoque cuantitativo como del cualitativo con el fin de responder a lo que se desea realizar a través de la investigación (Hernández, 2014). En este caso el enfoque de investigación mixta permitió la recolección de los datos necesarios que aportaron al proceso. Los conceptos que aportaron al diseño fueron claves y marcaron la ruta del proyecto; además, en este caso en particular, la investigación fue de carácter exploratorio ya que se desea tener un acercamiento al tema en cuestión, el cual no se ha planteado dentro de la sección de tecnología e innovación que se maneja en la producción de café. De esta manera lo que se busca es proponer una posible solución a la situación que se está presentando en el proceso de recolección de café; el concepto que se esbozó partió de una solución que fuera innovadora, versátil, propia, amigable con la producción, con los recolectores y caficultores, y con el medio ambiente.

La metodología que se utilizó se basó en el uso del siguiente diagrama de bloques para tener una visión macroscópica del proceso en general.

La primera fase de la metodología giró en torno a la documentación de conceptos; para esta parte de la investigación se utilizó la técnica de investigación denominada revisión bibliográfica, la cual tuvo que ver con la recopilación de documentos que sustentaron los conceptos utilizados para la creación del diseño y la recopilación de investigaciones realizadas en el campo de la agricultura.

Figura 1: Diagrama de bloques metodológico.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan los referentes conceptuales que aportaron al proyecto del agrobot cosechador los cuales fueron parte fundamental para su diseño. Si bien no hay un instrumento patentando con las características que se plantean, si se han creado otro tipo de herramientas, que han utilizado conceptos muy significativos para el presente proyecto.

El término *bioinspirados* es uno de ellos; los avances tecnológicos en el campo de la ciencia sugieren realizar innovaciones amigables con el planeta, que sean multifuncionales, eficientes, óptimos, versátiles y que utilicen energías renovables; cada vez son más los campos de la ciencia que apuestan a esta ola de innovación y la ingeniería es uno de los que más incentiva estos avances tecnológicos, dentro de ellos podemos encontrar modelos bioinspirados. “El objetivo de la bioinspiración no es solo limitar un sistema biológico tal como es, sino comprender, extraer, implementar sus principios de diseño en varios aspectos materiales, procesos, mecanismos y métodos en diferentes resoluciones” (Sánchez, 2015). Según Juha Song (2011), la bioinspiración incluye diferentes conceptos de la biología y la informática y la biomimética, esta última hace

referencia a las nuevas tecnologías que surgen del estudio de la naturaleza. En el proceso de la bioinspiración, la inteligencia artificial y la ingeniería juegan un papel importante, puesto que se busca a través de ellos dar solución a problemas reales y complejos de la vida diaria, teniendo en cuenta a los organismos naturales como sistemas organizados, estructurados que pueden ser replicables.

En este caso en particular los sistemas bioinspirados fueron la base principal para replicar las características de la hormiga cosechadora en el diseño del agrobot, con el fin de dar solución a la situación que se presenta en la recolección de café. Los sistemas bioinspirados son tecnologías innovadoras que buscan dar salida a problemas que surgen en las sociedades a partir de las características que tiene la naturaleza, dando importancia a la función que cumplen a los seres vivos en ella.

Otro concepto clave fue el de *dron*. Para el ingeniero Jorge Martínez (2020) la palabra dron, que significa zumbido en inglés, se ha designado para referirse a todo vehículo aéreo no tripulado, que se controla de forma remota, y retoma que sus primeros funcionamientos fueron en los

ámbitos civil y militar. Hay diferentes tipos de drones que son utilizados en diferentes situaciones, sin embargo, ya se han planteado estas tecnologías en espacios terrestres y acuáticos, siendo las partes fundamentales de estos mecanismos las mismas para dichos casos.

Como lo menciona el ingeniero en su tesis de grado, es indispensable tener en cuenta qué características de los drones contribuyen al diseño si bien este aportará a la movilidad del agrobot mediante un monitoreo aéreo enviando señales de orientación y posición, en relación con las partes fundamentales del dron: la estructura, el motor y los sensores que se plasman en el diseño del agrobot cosechador.

Los avances tecnológicos en el sector agrícola están pensados para mejorar la economía, la rentabilidad y en general la eficiencia de este sector; en ese sentido algunas innovaciones en el campo industrial están dirigidas a facilitar las actividades que realizan los seres humanos, cada vez se van especializando y mejorando estas nuevas tecnologías. Uno de los conceptos que surgió con el movimiento tecnológico innovador en el sector agroindustrial fue el de *agrobótica* la cual “es una interdisciplina que involucra a la robótica, la mecatrónica, que conjuga las ingenierías en electrónica, mecánica y de control, y la informática, con foco en la inteligencia artificial” (INTA, 2016). Esta interdisciplina toma ramas de la ingeniería, las TIC’S y la inteligencia artificial para crear máquinas que aporten a la mejora de los procesos en la agricultura; para la realización del diseño del agrobot, se planteó utilizar todas las herramientas de la agrobótica, como sensores, software de inteligencia, dron, conectividad, electrónica y las comunicaciones, los cuales serán determinantes para que el agrobot cosechador sea eficiente.

Para el proyecto fue de gran importancia conocer las tecnologías de ingeniería que se han desarrollado en la agricultura en términos de recolección, ya que estas permiten identificar los

avances que aportaron a la creación del agrobot y las ventajas y desventajas que se pueden tener en cuenta de estas tecnologías para la recolección de café. La ingeniería en el campo industrial ha causado gran impacto, cada vez más son los avances tecnológicos en la industria; uno de los sectores económicos en los que se han desarrollado innovaciones, es la agricultura, estas han sido pensados en optimizar la producción y mejorar su calidad y rentabilidad, enfatizando en el uso consciente de la naturaleza, a partir de innovaciones tecnológicas.

En la industria de la agricultura se han diseñado robots que se utilizan para automatizar tareas en entornos agrícolas, los que también son conocidos como agrobots. Por lo general, están diseñados para realizar tareas repetitivas que son peligrosas o tediosas para los humanos. Estos agrobots se pueden encontrar en una variedad de aplicaciones como en la plantación, deshierbe, cosecha, empaque y control de plagas.

Los agrobots en la agricultura tienen una serie de ventajas sobre los trabajadores humanos. No son susceptibles a la fatiga ni a las lesiones y pueden trabajar en entornos que serían demasiado peligrosos o difíciles para las personas. Además, se pueden programar para realizar tareas con un alto grado de precisión y consistencia. Entre algunos agrobots utilizados en este sector económico encontramos el Robotic Plus una industria que está desarrollando diferentes tecnologías para el campo de la producción en Nueva Zelanda. Según Marta Lima (2020), el Robotic Plus está generando nuevas tecnologías para la etapa de cosechas de diferentes productos como el kiwi, con el fin de ir reemplazando los tractores por máquina más pequeñas para ser operadas por humanos, siendo más eficientes durante el proceso; estos agrobots son vehículos terrestres no tripulados, que tienen una caja negra con sensores para mapear el entorno sin dañar las plantas, conducida por un motor eléctrico.

Otro agrobot es el mencionado por la bloguera Ana Martinelli (2021), la cual comenta que a raíz del coronavirus en Australia por la falta de personal desarrollaron un agrobot para la recolección de manzanas; es un brazo mecánico conectado a una base que va tomando las manzanas y tirándolas a un recipiente, ese brazo tiene dedos de neumáticos y un sistema de succión; atrás de esta acción se encuentra el uso de tecnologías como software de información, que recogen datos de forma, ubicación y orientación, los cuales permiten que se ejecute como es debido.

Para el equipo DCVC (2017), los co-fundadores de Blue River Technology Jorge Heraud y Lee Redden, crearon un agrobot que sirve para ver y rociar los cultivos con una gran precisión; su función es rociar herbicidas y fertilizantes lo que es posible por el software que utiliza a través de algoritmos, la inteligencia artificial y la visión computacional, los cuales permiten recopilar los datos que presentan los cultivos y así realizar un seguimiento respectivo a cada ciclo del cultivo.

En España, en la Universidad de la Rioja y la Politécnica de Valencia (2016), crearon un agrobot, el cual es un vehículo terrestre no tripulado equipado con tecnología de sensores e inteligencia artificial que fue creado para ser utilizado en distintos tipos de terreno; esta innovación tecnológica permite supervisar el crecimiento vegetativo del viñedo, su estado nutricional y la composición de la uva. Al primer agrobot se le realizaron mejoras como el uso de paneles solares para solucionar la falta de energía en los campos de uva, siendo esta la reserva de energía para su funcionamiento, también se le acondicionaron unas llantas más grandes y útiles para todo tipo de terreno y los sensores fueron optimizados.

Los ejemplos mencionados anteriormente de agrobots permiten identificar las características que puede tener el agrobot cosechador; por un lado, el brazo robótico que selecciona las manzanas y el recolector de kiwis, tienen que ver con el proceso de recolección de café. Para

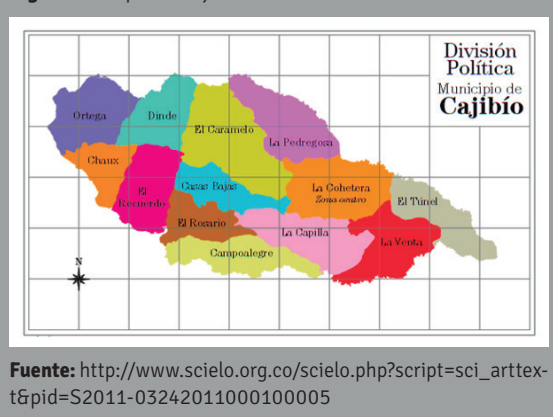
la recolección de manzanas los dedos robóticos están hechos de caucho con el fin de no dañar el producto, información que se tuvo en cuenta para el diseño de la hormiga, en lo cual se basará el agrobot; por otro lado los sensores utilizados tanto en el robot de herbicidas como del viñedo, son necesarios en el caso de los cultivos de café, ya que los sensores que se pretenden utilizar en este proyecto buscan que se pueda conocer el estado de la planta y de la cereza y así el agrobot no recoja los frutos que aún no están maduros con el fin de que producto mantenga su calidad. Al igual que con el vinerobot se pretende que el agrobot cosechador sea útil en cualquier terreno y esté construido con materiales amigables con el medio ambiente.

La segunda fase de la metodología tuvo que ver con las características que presenta el contexto en el cual se basó el diseño y las particularidades que presenta la hormiga arriera; cabe resaltar que el agrobot cosechador de café se planteó a partir del macroproyecto “Biohogar: Edificación amigable con el medio ambiente” el cual tiene como objetivo dar respuesta a diferentes problemáticas que viven los caficultores de la zona de Cajibío por medio del uso de energías renovables, innovación tecnológica, optimización de procesos para mejorar la calidad de la producción y por ende la calidad de vida de los participantes como caficultores, recolectores, cocineras, proveedores, etc. De este macroproyecto han surgido diferentes propuestas innovadoras pensadas en beneficio de este sistema económico de producción colombiano. Este proyecto se realizó con el aporte del Semillero de Investigación (SIE2) de La Fundación Universitaria de Popayán (FUP) y el apoyo del Parque Tecnológico de Innovación del Café (TECNICAFE); su apoyo fue clave en la creación de los proyectos planteados por los diferentes programas que acompañan el semillero.

El proyecto del agrobots cosechador de café tomó como referencia el contexto de la zona de Cajibío, que hace parte de la región centro cafe-

tera del departamento; este municipio tiene una extensión de 747 kilómetros cuadrados y está dividido en trece corregimientos, de los cuales se destacan: la zona Centro, La Pedregosa, El Carmelo, El Rosario y La Capilla. El municipio cuenta con 126 veredas en total. El sitio específico que se tuvo en cuenta para este proyecto fue el parque TECNICAFAE, ubicado en el corregimiento La Venta; esta vereda hace parte de la microrregión zona Centro del municipio que cuenta con una población de 361 habitantes. La mayoría de la población de Cajibío se dedica a la agricultura, su principal sustento económico es el café y la caña de azúcar para producir panela, gran parte de la personas de este municipio se identifican como campesinos por su labor (Alcaldía de Cajibío, 2020).

Figura 2. Mapa de Cajibío



Fuente: http://www.scielo.org.co/sciELO.php?script=sci_arttext&pid=S2011-03242011000100005

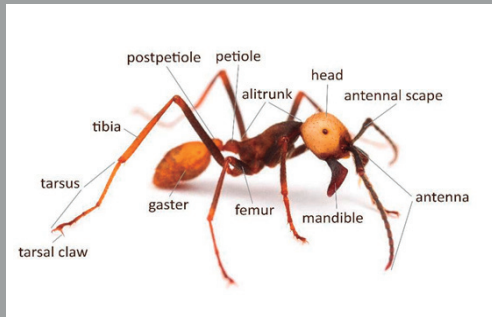
Actualmente Cajibío tiene 7050 hectáreas sembradas de café, para el año 2020 produjo 660.000 arrobos de y con número de caficultores que rebasa a los 7000. (FNC, 2021). TECNICAFAE cuenta aproximadamente con 226 variedades de café de alta calidad, divididas en 124 hectáreas; el café que se seleccionó para realizar el diseño es arábico, la topografía que presentan los cultivos es en su mayoría tipo pendiente con diferentes grados de inclinación, esta es una característica de todo el municipio.

El diseño del agrobot se realizó tomando como referencia la hormiga arriera. Según Contreras (2013) en el mundo hay aproximadamente 10 mil millones de hormigas y más de 14 especies de este animal, su estructura física es un exoesqueleto quitinoso que se compone de cabeza, tórax y abdomen. Las hormigas tienen distintos sistemas sensoriales en su cabeza los cuales les permiten realizar diferentes funciones, algunas hormigas tienen ojos grandes, sin embargo, la mayoría se guían por los movimientos, tienen antenas sensoriales en forma de codo que les permiten reconocer diferentes feromonas químicas con las que se identifican entre ellas; las corrientes de aire que perciben las antenas les ayudan a comunicarse entre ellas; en el caso de la hormiga arriera las tenazas les permiten cortar su alimento. Las hormigas han logrado adaptar sus estructuras físicas a diferentes tipos de ambiente, lo que les ha permitido estar presentes en todo espacio terrestre.

Resultados

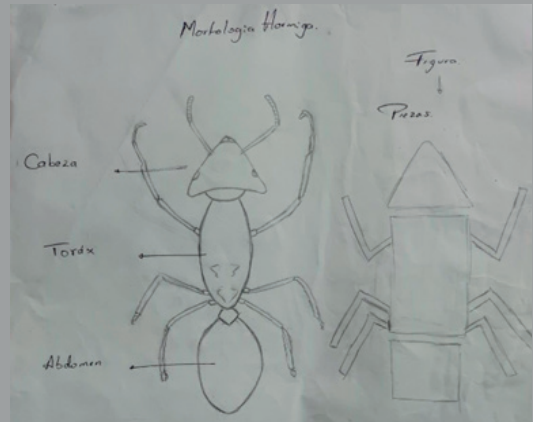
El animal en el cual se inspiró el proyecto fue la hormiga arriera; la estructura física de esta especie, en especial sus características pueden aportar a la problemática que se presenta en la recolección de los frutos de café, teniendo en cuenta que estas hormigas son recolectoras de hojas. En este caso la función de la hormiga agrobot es recolectar cerezas de café; la hormiga arriera “Se encuentra distribuida desde la Argentina hasta el sur de Estados Unidos (Texas). Estas hormigas han sido catalogadas dentro los insectos más perjudiciales en América del Sur” (Lezaun, 2020). Debido a su organización pueden arrasar con cultivos de hortalizas, jardines e incluso árboles, cada hormiga cuenta con una tarea que perjudica los cultivos. Si bien se han convertido en una amenaza, lo que se busca con el agrobot bioinspirado en la hormiga es darle

Figura 2. Anatomía de la hormiga arriera



Fuente: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2021/12/22/revelan-secretos-del-genoma-de-la-hormiga-arriera-mas-importante-de-costa-rica.htm>

Figura 4. Boceto de la hormiga. Dibujo a mano alzada



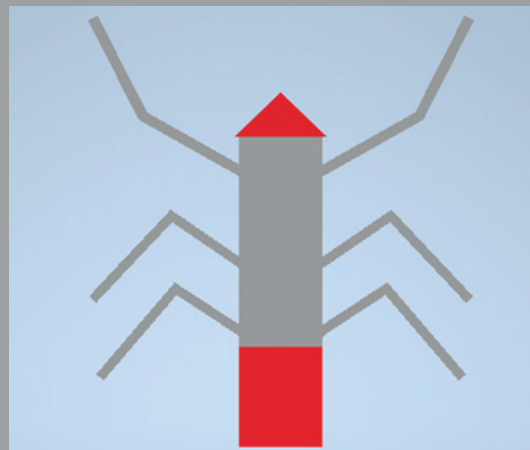
Fuente: Elaboración propia.

una perspectiva positiva a este animal, pues, la organización que presentan las colonias hormigueras en el sistema de cosecha es muy sofisticado y cuidadoso. Además, tienen la capacidad de adaptarse a cualquier hábitat y terreno, logran caminar grandes trayectos hasta sus colonias con pesos que superan su tamaño y además tienen una coraza especial que les permite protegerse de otras hormigas cuando pelean. (Main, 2020).

Las características que presenta este animal nutrieron el proyecto; con respecto a su estructura física se determinaron los parámetros para diseñar el agrobot cosechador. Con el primer boceto del diseño se fijaron las funcionalidades que tendría cada parte de la hormiga, teniendo en cuenta el proceso de recolección de café, ya que su exoesqueleto le permite la adaptabilidad en diferentes terrenos; su capacidad de cosechar y la organización para trabajar fueron importantes para la planeación del primero bosquejo. En esta parte se realizó el dibujo de la hormiga a mano alzada, para observar qué partes de la hormiga serán claves en el funcionamiento del agrobot, del dibujo realizado se pasó a crear el diseño en primer plano en el programa Inventor Autodesk.

Posteriormente se realizó el segundo prototipo que correspondió a la necesidad de los terrenos en los que se cultiva café de variedad arábico;

Figura 5. Primer Diseño de la hormiga en Autodesk



Fuente: Elaboración propia.

como se menciona en el documento, este diseño se realiza con respecto al terreno tipo pendiente que presenta la zona de la Venta, Cajibío. Para ello se tuvieron en cuenta las extremidades de la hormiga, siendo un animal hexápodo que tiene la capacidad de marcha y orientaron en grandes zonas, habilidades que se requieren para el agrobot cosechador.

Se tiene en cuenta que el sistema hidráulico da mayor seguridad en su comportamiento en los cafetales, dando movimientos más precisos

Figura 6. Cultivos de Café. TECNICAFE

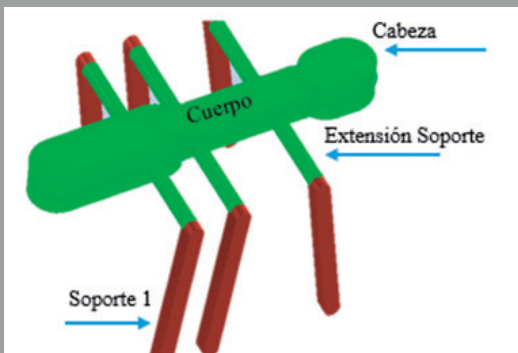


Fuente: Elaboración propia.

con respecto a los terrenos y su inclinación. Del mismo modo se puede referenciar el agrobot que se implementó para el cultivo de uvas, puesto que trabajaron en el proyecto teniendo en cuenta la inclinación; los cambios realizados en el agrobots de viñedos en España, por el tipo de terreno, dejan entrever la necesidad de que el diseño de la hormiga debe tener unas patas largas con buen agarre al suelo, en este caso se debe contemplar el material que se utilice en su creación.

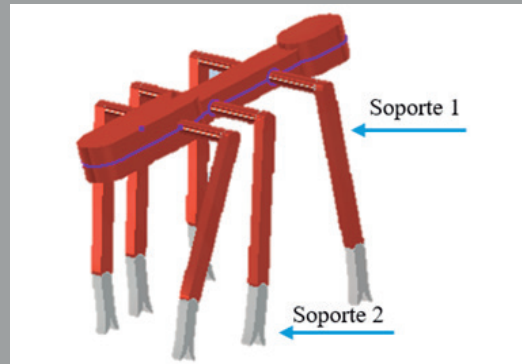
La hormiga cuenta con unas tenazas que sirven para cortar las hojas en partes más pequeñas, lo realizan con el fin de evitar el ingreso

Figura 7. Primer Diseño del Agrobot



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Segundo Diseño del Agrobot y soportes



Fuente: Elaboración propia.

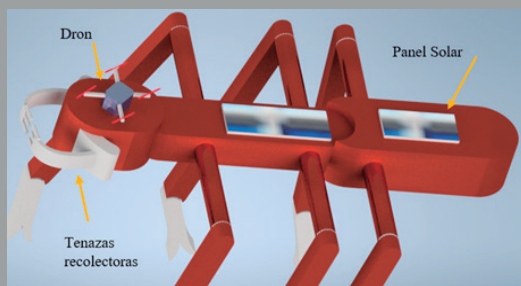
de animales invasores a sus hormigueros; esta característica fue esencial en el diseño porque se busca el cuidado de la cereza de café en el proceso de desprendimiento de la planta, cuidando de no desenganchar el café que aún no está maduro para el siguiente pase y la floración; la correcta recolección del fruto una vez llegue a su maduración aporta a la calidad del café y, por otra parte, contribuye al cuidado de la plata minimizando la propagación de ciertas plagas. Para el diseño de las tenazas también se tuvo en cuenta la labor que cumplen los recolectores en el proceso de la producción de café. Según el recolector Ricardo López en la entrevista realizada por Hernán Galindo del periódico *Diario de Huila* (2021), en tiempos de buena cosecha puede recoger 25 arrobas, en promedio entre 15 y 20 arrobas diarias aproximadamente, esto depende del terreno, el clima, las condiciones físicas del recolector y su agilidad para desempeñar esta labor. Esta información es importante ya que el diseño de la hormiga, en especial las tenazas deben responder a recoger esa cantidad de cerezas o superarla.

Por eso el tercer diseño se encaminó en la forma de recolección tanto del agrobot recolector de manzanas como de los métodos de recolección de café que se utilizan actualmente; para este prototipo se realizó la extensión de las tenazas, ahora llamadas brazos, provocando el movimiento

en la planta sin hacerle daño, claro está que este debe realizar un monitoreo para reconocer las diferentes etapas de maduración y definir cuales están aptas para recolectar; este proceso requiere de tres dedos robóticos para ejecutar el correcto desprendimiento con una fuerza aproximada de 5N; el material tomado en cuenta para los brazos o extensiones del agrobot es fibra de carbono o aluminio, al igual que en los dedos, con recubrimiento de material siliconado para el cuidado del fruto. En este proceso se pretende hacer uso de la metodología de recolección por lonas, para depositar el café que desprenda el agrobot.

El diseño del cuerpo o abdomen del agrobot requiere que, en su mayoría, tenga la estructura de la hormiga porque este, aparte de las patas, le

Figura 9. Segundo diseño del agrobot y sus componentes

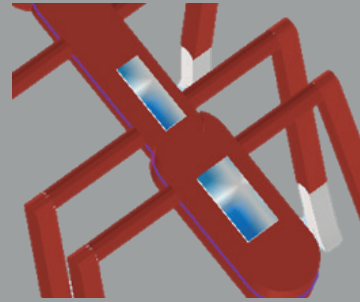


Fuente: Elaboración propia.

dará la estabilidad requerida para ciertos terrenos, al igual que permite el espacio necesario para la instalación de paneles solares implementado energías renovables, el almacenamiento de motores, servomotores, paneles de control y paneles sensoriales que requiere el agrobot para el monitoreo constante de los cultivos.

Se trabajó con la necesidad de incorporar el diseño de un dron en el prototipo para el monitoreo global de los terrenos suministrando los datos de floración, fertilización o control de plagas, así mismo el análisis de los cultivos cuando no sean temporadas de cosecha, proporcionado una cosecha asistida. Este proceso se realizará tomando los datos para incorporarlos a las

Figura 10. Segundo diseño del agrobot y paneles solares



Fuente: Elaboración propia.

fichas técnicas requeridas para el análisis de la producción de café, proceso que se realizará mediante la utilización de sensores de distancia, de frecuencia de luz, de proximidad, de presión y de humedad, entre otros.

Discusión y conclusión

El campo investigativo en la agricultura colombiana aún es muy pobre; no se ha contribuido a gran escala a la innovación tecnológica, aun sabiendo que de este sector depende la economía

Figura 10. Segundo diseño del agrobot y paneles solares



Fuente: Elaboración propia.

del país, las situaciones de violencia, la falta de oportunidades y de tecnologías sustentables que se presentan en las zonas rurales dejan entrever la necesidad de transformar este sector (Caez 2019), para que el campo sea un sector innovador,

seguro y rentable para los campesinos y en este caso para los caficultores.

El texto *Tecnología e innovación en el agro colombiano* sugiere que, la forma más viable para aumentar el rendimiento de los cultivos en Colombia es por medio del uso de tecnologías innovadoras, que les permita a los agricultores una mejor rentabilidad sobre sus productos y mayor control sobre todas las etapas de la producción (Caez et al, 2019). Es necesario que estas innovaciones se enmarquen en el uso de energías renovables, en la creación de tecnologías amigables con el medio ambiente, autosustentables y posibles para los caficultores, para esto se planteó el diseño con materiales resistentes y reutilizables.

En relación con lo anterior se puede concluir que, el concepto de agrobot cosechador de café responde a una herramienta tecnológica innovadora que esta bioinspirada en la hormiga arriera; este agrobot de gran tamaño se basa en las características físicas de la hormiga, como la adaptabilidad, su orientación y posición en terreno, capacidad de trabajo y de fuerza, lo que es vital para recolección de café. Su estructura física está contemplada para adaptarse a cualquier tipo de terreno alcanzando cafetos de diferentes tamaños con el fin de que no genere daño alguno a los cultivos de café, por lo que se propone utilizar materiales como fibra de carbono y aluminio, entre otros.

Sus extremidades le servirán para el agarre en el terreno y para soportar el peso de su estructura física; cabe aclarar que el agrobot solo desprenderá la cereza de café para lo que se utilizarán ciertas lonas en la recolección del fruto, así el agrobot no soportaría más peso, lo que genera estabilidad los diferentes campos cafeteros; las tenazas trabajarán en el desprendimiento de las cerezas de café, con brazos hidráulicos lo que permite extender la extremidad hasta las ramas más lejanas así como también el uso de dedos hidráulicos que tendrán en sus extremidades polímeros elásticos que no afectarán la calidad del fruto y las floraciones siguientes. Se

prevé el uso de sensores que seleccionarán el tipo de maduración del café, a partir del color que presenta el estado cereza. Además, un dron va adherido al cuerpo del agrobot, ubicado en la cabeza de este, el cual registrará y monitoreará a partir de sensores de proximidad, sensores fotovoltaicos, de humedad, de posición, ópticos y otros que permitirán determinar el estado de la planta, y su condición para el siguiente pase.

Se busca que el agrobot cosechador sea utilizado tanto por los grandes productores de café como por las pequeñas fincas cafeteras, con el fin de que los medianos caficultores también puedan acceder a este tipo de tecnologías y que sientan que estas herramientas innovadoras, pueden estar al alcance de todos, con precios asequibles. Además, se prevé que sea de fácil manejo, ya que la funcionalidad de este agrobot bioinspirado en la hormiga traspasa la recolección de café y aporta a la producción, con el registro y control de cada pase y floración, permitiendo reconocer el estado de la planta, controlando la afectación de las plagas y reduciendo costos en fertilizantes.

Este agrobot busca contrarrestar la carencia de innovación tecnológica con respecto al proceso de recolección de café y su cuidado, puesto que se busca seleccionar desde esta etapa, para que no disminuya la calidad, que es la que determina el estado de la siguiente floración, teniendo en cuenta que son las características que más resaltan al café colombiano. Además, el uso del agrobot daría una respuesta positiva a la falta de recolectores de café, aumentando los ingresos para el caficultor y aportando al bienestar de los recolectores fijos dignificando el valor del trabajo que realizan los recolectores y su importancia dentro de esta cadena productiva.

Bibliografía:

Alcaldía de Cajibío (2020). Plan De Desarrollo Territorial 2020-2023. Obtenido De Alcaldía de



Cajibío: <https://www.cajibio-cauca.gov.co/Planes/Plan-De-Desarrollo-Territorial-Cajibio-20202023>

Aldana, W. (2021). *Las cifras y la realidad de los cultivos de uso ilícito en el Cauca*. Obtenido de: <https://www.pares.com.co/post/las-cifras-y-la-realidad-de-los-cultivos-de-uso-il%C3%A9cito-en-el-cauca>

Caez, A., Caez, J. y Caez C. (2019). *Tecnología e innovación en el agro colombiano*. Bogotá: Universidad EAN.

Comité de Cafeteros del Cauca (S.F.). Comité de Cafeteros del Cauca. Obtenido De <https://cauca.federaciondefcafeteros.org/Cafe-De-Cauca/>

Contreras, R. (2013). *Biología, La Guía*. Obtenido De <https://biologia.laguia2000.com/Zoologia/Generalidades-Sobre-Las-Hormigas>

DCVC. (2017). *Medium.Com*. Obtenido de Medium: <https://medium.com/@dcvc/john-deere-acquires-blue-river-technology-for-305-million-bringing-full-stack-ai-to-agriculture-7ca8c25a5fe1>

DIE-FNC (2016) *La recolección de café en Colombia: Una caracterización del mercado laboral*. Bogotá: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

Federación Nacional de Cafeteros (2021) *Informe de Gestión 2020*. Comité de Cafeteros del Cauca, Obtenido De <https://cauca.federaciondefcafeteros.org/App/uploads/sites/2/2021/04/INFORME-DE-GESTI%C3%93N-Con-Enlaces.pdf>

Federación Nacional de Cafeteros (2022) *Producción Anual de Café de Colombia*. Obtenido De <https://federaciondefcafeteros.org/Wp/Listado-Noticias/Produccion-Anual-De-Cafe-De-Colombia-Cierra-2022-En-111-Millones-De-Sacos/>

Federación Nacional de Cafeteros (2023) *Producción Anual de Café de Colombia*. Obtenido De <https://federaciondefcafeteros.org/Wp/Listado-Noticias/Produccion-Anual-De-Cafe-De-Co>

lombia-Cierra-2022-En-111-Millones-De-Sacos/
Galindo, H (2021, 24 de mayo) Así es un día de un recolector de Café. *Diario del Huila*. Obtenido de <https://diariodelhuila.com/un-dia-de-un-recolector/>

Hernández, R (2014). *Metodología de la Investigación*, Sexta Edición, México: Mcgraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. De C.V.

Hernández, Y (2019). *Diseño y construcción de una herramienta*. Bucaramanga: Universidad Autónoma De Bucaramanga.

ITA. (2016). Robots la próxima revolución industrial. La Inteligencia Artificial en la agroindustria. *Revista de Investigación Agropecuaria*.

Lezaun J. (2020). *Croplife Latin América*. Obtenido De <https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/hormiga-arriera-atta-cephalotes>

Lima, M. (2021). *Agro Avisos*. Obtenido De <https://www.agroavisos.net/2020/08/04/vehiculos-terrestres-no-tripulados/>

Main, D. (2020). *Nathional Geographic*. Obtenido De <https://www.nationalgeographic.es/animales/2020/11/hormigas-cortadoras-de-hojas-coraza-biomineral-nunca-vista-en-insecto>

Martinelli, A. (2021). *XATACA. COM*. Obtenido De <https://www.xataka.com/robotica-e-la-robot-autonomo-capaz-recolectar-manzanas-idea-unos-investigadores-para-solucionar-falta-agricultores-australia>

Martínez, J. (2020). Estudio y caracterización de materiales estructuras para drones. Cartagena: Universidad Politécnica De Cartagena.

MNA (2021). Ministerio De Agricultura. Obtenido De <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cafe/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

Ocampo O., Ovalle A., Arroyave A., Salazar K., Ramírez C. y Oliveros T (2017). Nuevo método

estándar para la recolección selectiva de café.
Ingeniería, Investigación y Tecnología.

Oliveros T., López F., Ramírez G., Sanz U. y Bustillo P. (2010). Recolección de frutos de café del suelo con la máquina Cifarelli V77S. *Avances Técnicos* 394. CENICAFE.

Patiño E & Gómez A. (2004). Una experiencia de producción comercialización de café orgánico y la diversificación de la finca campesina. La Asociación Nuevo Futuro. *Revista Semillas.*

PDIC - Cenicafe (2018). *Lona para asistir la cosecha manual de café.* Informe Técnico 487. Cenicafe.

Sánchez C. (2015). Aportaciones y aplicaciones de disciplinas bioinspiradas a la creatividad computacional. España: Publicaciones y Divulgación Científica. Universidad de Málaga.

Sanz J. & Duque H (2020). *Evaluación de la derribadora selectiva de café.* Colombia: Cenicafe.

Song, J. (2011). *Multiscale Materials Design of Natural Exoskeletons.* Tesis Doctoral. Massachusetts. Estados Unidos: Massachusetts Institute of Technology,

Tascón C & Sanz J (2011). Ingeniería y café en Colombia. *Revista de Ingeniería,* Universidad De Los Andes, Volumen 333.

UPV. (2016). Universidad Politécnica De Valencia. Obtenido De <https://Innovacion.Upv.Es/Va/Vinerobot-li-Nuevo-Aliado-Para-El-Sector-Viticola-Internacional/>