

Diseño de ahoyador mecánico que mejora la mezcla de suelos y fertilizantes en una sola operación

Mechanical earth auger design improves mixing soil and fertilizer in a single operation

Carlos Andrés Ossa-Jiménez ^{1a}, Juan Carlos Sánchez-Santos ^{1b}

¹ Biogigas CDATIG, SENA, Centro de Desarrollo Agroindustrial Turístico y Tecnológico del Guaviare, SENA
Correo electrónico: ^a ca.ossa@gmail.com, ^b jcsanchezs@sena.edu.co. Orcid: ^a 0000-0003-4206-2851,
^b 0000-0001-7397-2060

Recibido: 30 marzo, 2021. Aceptado: 13 octubre, 2021. Versión final: 4 enero, 2022.

Resumen

El objeto de esta investigación es el desarrollo de un equipo agrícola para tractor, cuya función es la excavación de un hoyo de profundidad variable, que permita en una sola operación: (a) Suministrar y realizar una mezcla homogénea de suelo con enmiendas; (b) Mejorar la porosidad y la densidad aparente del suelo; (c) Incrementar la capacidad de penetración radicular de la planta; (d) Normalizar las condiciones para el desarrollo inicial de la plantación; (e) Reducir costos de producción y tiempos de siembra. Procedimientos de la ingeniería inversa e ingeniería concurrente se usaron para el tratamiento de temas de innovación, adelantando estudios de mercado, estados de la técnica y revisiones de ofertas de especializadas consignados en catálogos técnicos de empresas fabricantes de equipos agrícolas, los cuales fueron contrastados con desarrollos patentados encontrados en entornos académicos para el desarrollo de prototipos virtuales y físicos. Se utilizaron diversas técnicas, métodos de diseño y uso de programas CAD – CAE, para efectuar validaciones, cálculos y comprobaciones como: análisis CFD, construcción de prototipos rápidos (3D Print) y uso de otras tecnologías CNC que se emplearon para la construcción de prototipos físicos a escala 1:5, seleccionando aquellos que tuvieron mejor comportamiento en estudios cinemáticos de fluidos, con los cuales se realizaron pruebas en diversos tipos de suelo. Los resultados de esta investigación aplicada presentan una propuesta y prototipo de diseño a escala 1:1 de un nuevo producto, los enfoques y metodologías empleadas en este estudio se pueden replicar en investigaciones para el diseño y desarrollo equipos o maquinaria agrícola cuyo objetivo es la optimización y la eficacia de procesos de siembra de plantaciones perennes de tardío rendimiento.

Palabras clave: diseño; barrena; siembra; fertilización; perennes; equipo agrícola.

Abstract

The objective of the research is the development of a farm equipment for a tractor, whose function is the excavation of a hole of depth variable, which allows in a single operation: (a) Supply and make a homogeneous mixture of soil with fertilizers; (b) Improve the porosity and density of the soil; (c) Increase the penetration capacity of the roots of the plant; (d) Standardize the initial conditions for the plantation development; and (e) Reduce costs production and sowing times. Reverse engineering and concurrent engineering procedures were used in this research to deal with issues related to innovation, marketing studies were done, state of the art and reviews of specialized offers consigned in technical catalogs of farm equipment manufacturers were made, which were contrasted with patents found in academic settings. For the development of virtual and physical prototypes, various techniques, design methods and

CAD - CAE software were used to perform validations, calculations and verifications such as: CFD analysis, rapid prototyping (3D Printing) and use of other technologies CNCs were used for the construction of physical prototypes at a 1: 5 scale, selecting those that had a better performance in the fluid cinematics studies, with which tests were carried out on various types of soil. The approaches and methodologies used in this study can be replicated in research for the design and development of new farm equipment or machinery that improve the efficiency of processes for the sowing of perennial late-yielding plantations.

Keywords: design; auger; sowing; fertilizer; perennials; farm equipment.

1. Introducción

San José del Guaviare se encuentra ubicado en la zona de la Orinoquia colombiana, región del país considerada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, como un territorio de alto potencial para el desarrollo de proyectos forestales de tipo comercial, esta investigación ofrece una solución tecnológica para la siembra de perennes y promueve la adaptación o creación de nuevos implementos agrícolas; que permitan de forma eficiente establecer condiciones adecuadas para el cultivo y el aumento de las posibilidades agroforestales de la región.

El Guaviare ha sido una zona afectada por la violencia, que en el marco de la implementación de los acuerdos de paz y desmovilización firmados por el Gobierno colombiano y las FARC en el 2017 [1], acuerdo que promueve políticas para el desarrollo de proyectos productivos viables, necesarios para la estabilización económica de zonas afectadas por la violencia, durante el periodo de postconflicto. El proyecto atiende las recomendaciones consignadas en la agenda interna de productividad y competitividad departamental del Guaviare, donde se encuentran consignadas las apuestas productivas de la región. Dicho documento, resalta el alto potencial que posee el departamento para el establecimiento de plantaciones forestales como el cacao y el caucho.

Para tal fin, el Gobierno Departamental crea el plan de desarrollo Guaviare “Paz y Desarrollo Social 2016 – 2019” [2], cuyo eje estratégico es: “El Campo, Motor de Futuro y Desarrollo Económico”; este plan propone para el año 2019, el «establecimiento de 2000 hectáreas de cacao, 50 hectáreas de frutales amazónicos, 100 hectáreas de productos maderables y 200 hectáreas de chontaduro». Preparar el suelo es uno de los pasos más importantes para plantar perennes sanos, la mayoría de ellos prefieren un suelo rico, profundo y con buen drenaje, por esta razón es importante evaluar los suelos para determinar cómo mejorarlos. Si el caso es, que el suelo tiene alta concentración de arcilla, se le agrega materia orgánica y arena para mejorar su estructura; si tienen alta acidez, se le agrega cal agrícola para mejorar la absorción de los nutrientes. La incorporación de

materias orgánicas e inorgánicas como estiércol, compost, fertilizantes compuestos y enmiendas calcáreas, benefician a la mayoría de los suelos.

El sistema tradicional de establecimiento en sitio definitivo de plantaciones forestales y de especies frutales, como las oleaginosas y otras de tardío rendimiento, se desarrolla usualmente de forma manual; es decir, primero se construye un hoyo para preparar el terreno en el cual se efectuará la siembra, por medio de herramientas como palas o palines usados para la extracción del sustrato del suelo, el método más efectivo para cavar hoyos es usar un taladro barrena acoplado a un tractor, el cual permite cavar (entre 350 hoyos y 500 hoyos por día) [3].

Sembrar especies forestales y de tardío rendimiento, implica cumplir las siguientes condiciones: (a) excavación adecuada de un hoyo en un terreno; (b) aplicación de enmiendas en dosis recomendadas (fertilizantes, cal, entre otros); y (c) ejecución de una mezcla homogénea de enmiendas, con el volumen del material excavado contenido en el hoyo hecho. Generalmente esta actividad en los campos colombianos, se realiza con mano de obra no calificada, la cual, no garantiza operaciones homogéneas y estandarizadas en la preparación de sustratos para la siembra; mezclas heterogéneas en el momento de la siembra, son la principal causa del desarrollo irregular de estas plantaciones. Mecanizar la siembra de perennes supone considerar el diseño de muchos subsistemas en funcionamiento [4]. El cultivo de estas especies forestales y de tardío rendimiento, demanda de la implementación de procesos y el uso de herramientas mecánicas que agilicen la siembra, haciendo efectiva la estandarización de plantaciones nuevas y reduciendo los costos de producción.

La mayoría de las máquinas utilizadas para la agricultura en Colombia han sido importadas con muchos altibajos desde 1950, la industria nacional de implementos agrícolas se ha desarrollado precariamente desde 1960, adquiriendo alguna importancia a través de un paulatino y sostenido proceso de sustitución de importaciones [5]. Entre los principales vehículos comercializados desde esa época se encuentran los tractores. Diversos estudios

clasifican la maquinaria agrícola, por tamaño, forma y tipo de aplicación [6], estos artefactos son conocidos como: “sistemas de labranza - implementos agrícolas - equipos para siembra - máquinas para realizar labores de cultivo - máquinas y equipos para la fertilización y abonamiento (...)”.

Son muchas las limitantes que tienen las máquinas para la siembra de árboles, una de las principales es que solo ejecutan la operación de perforación del suelo; estas máquinas, no están diseñadas para el desarrollo de actividades multitarea o multifunción, hoy necesarias para todo agricultor. En el mercado existe gran variedad de marcas que ofrecen varios tipos de ahoyadores, todos los modelos cumplen con la misma tarea (motorizan una barrena o broca en espiral tipo tornillo de Arquímedes, la cual se encarga de perforar y transportar hacia afuera del hoyo el sustrato extraído del suelo). En el país pocas empresas fabrican ahoyadores, y en la actualidad, en el mundo no existe referente de máquinas agrícolas capaces de cumplir con el propósito planteado por este proyecto, por tal motivo diseñar y construir este tipo de máquinas, permite innovar y optimizar la siembra de perennes, aportando de forma positiva al desarrollo socio-económico de la región y del país.

El anterior planteamiento llevó a la formulación de la siguiente pregunta problema: ¿de qué manera se puede mejorar la técnica de siembra en cultivos perennes, fusionando las operaciones de ahoyado, incorporación de enmiendas y fertilizantes en una sola operación, en San José del Guaviare? Como objetivo general se planteó desarrollar un implemento agrícola para tractor que permita la excavación de hoyos a profundidad variable, y en una sola operación que: (a) suministre y realice una mezcla homogénea del suelo con enmiendas; (b) mejore la porosidad y la densidad aparente del suelo; (c) incremente la capacidad de penetración radicular de la planta; (d) permita el desarrollo uniforme inicial de la plantación; (e) reduzca los costos de producción y tiempos de establecimiento. Que estará compuesta por una tolva agitadora de fertilizantes, un dosificador de fertilizantes y una barrena-ahoyador.

2. Metodología

La presente es una investigación aplicada a la producción vegetal y la fabricación de equipos agrícolas, su carácter es cuantitativo, cuasi experimental, hipotético deductivo y transversal. La línea prioritaria de investigación es innovación y desarrollo tecnológico, enmarcada en áreas del conocimiento de la Ingeniería Agrícola y el Diseño Industrial. Los beneficiarios serán sectores productivos que fomentan el establecimiento de caucho, cacao, especies forestales, palma de aceite, así como otras

especies vegetales comerciales; ASOPROCAUCHO, Asociación de productores de cacao del Guaviare y otras organizaciones de productores del país. Las fases planteadas para el diseño de un ahoyador mecánico se describen a continuación en la **tabla 1**:

Tabla 1. Diagrama metodológico fases para el desarrollo de productos” del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)

Fase	Tipo
1	Etapa estratégica de I+D+I Investigación – Desarrollo e Innovación: Análisis y procesamiento de información disponible en estados de la técnica.
2	Elección de métodos y técnicas para el diseño y desarrollo de una tolva agitadora de fertilizantes, un dosificador de fertilizantes y una barrena-ahoyador.
3	Definición de especificaciones técnicas y materiales del producto.
4	Diseño de concepto: Proceso creativo para dar forma a la idea de producto.
5	Diseño de detalle: Aspectos constructivos del diseño de producto.
6	Verificación y testeado para la producción de prototipo a escala 1:5 y 1:1

Fuente: adaptado de [7].

Especificaciones técnicas y materiales del producto, se definieron a partir de principios de la ingeniería concurrente, llevando a cabo estudios de mercado e indagación de oferta comercial especializada consignada en catálogos técnicos de empresas fabricantes de implementos agrícolas, los cuales fueron comparados con desarrollos patentados encontrados en la fuente electrónica Google Patents. Otros métodos utilizados como el de ingeniería inversa, propiciaron la obtención de información de diseño a partir de productos existentes [8], conociendo así; características, requerimientos y oportunidades de mejora incremental e innovación determinadas en el Manual de Oslo [9], aplicables a nuevos desarrollos de conceptos de diseño y rediseño de producto, para la fabricación de ahoyadores mecánicos utilizados para la siembra de perennes y equipo agrícola en general.

En el proceso creativo efectuado para dar forma a la nueva idea a diseñar, se usaron técnicas de creación como brainstorming, generación de alternativas, bocetos y esquemas en 2D y 3D, collages y fotomontajes, maquetas y prototipos de estudio, análisis funcionales y utilitarios; así como, estudios de factibilidad de ideas generadas.

Aspectos constructivos del producto y diseño de detalle fueron concretados sobre programas de Diseño Asistido por Computador (CAD); definiendo partes, componentes, subconjuntos, sistemas de ensamble y requerimientos electro y mecánicos. Verificaciones hechas previas a la fase de producción del prototipo a escala 1:1, se realizaron por medio de ensayos y validaciones usando Ingeniería asistida por computador (CAE), donde se adelantaron pruebas de Dinámica de Fluidos Computacionales (CFD); además de pruebas de Fabricación Asistida por Computador (CAM), hechas a escala 1:5 y escala 1:1; así como, la fabricación digital de prototipos rápidos (3D Print) y piezas fabricadas por Control Numérico (CNC).

2.1. Estado de la técnica

Se efectuó un ejercicio de búsqueda y recuperación de información sobre la base de datos de acceso gratuito Google Patents, aplicando parámetros de exhaustividad; así como de pertinencia. En la búsqueda se analizaron y cruzaron diversas fuentes de información en idioma español y en idioma inglés, dado que generalmente existe más información académica en este último (véase [tabla 2](#)). Las palabras clave utilizadas para búsqueda en idioma español fueron: Barrena, ahoyador, siembra y barrena, silvicultura, repoblación forestal, preparación del suelo, dispositivo de siembra y fertilización, aparato para depositar fertilizantes, herramienta de fertilización de árboles, dispensador de abono, preparación del suelo, siembra mecánica de árboles, broca y siembra, mecanismos de dosificación y máquinas agrícolas. En idioma inglés las palabras clave utilizadas fueron: Ground drilling, sowing and drill, Auger, Drill for applying seed fertilizer, fertilizer drill, fertilizer equipment, earth auger and fertilizer dispensing, tree fertilizing tool, auger fertilizer dispensing, fertilizer feeder auger, forestry and auger, forestry and drill.

El objetivo de la búsqueda, fue la recuperación de información correspondiente a patentes de diseño de implementos agrícolas multitarea, que llevarán a cabo operaciones de siembra y fertilización de árboles de forma simultánea. La operación de búsqueda booleana utilizada fue AND, combinando dicho conector con diferentes palabras clave.

La búsqueda permitió recuperar once documentos de patentes de forma refinada a partir de la ecuación booleana (auger+AND+fertilizer), a continuación se presenta la información de forma cronológica como se observa en la [tabla 3](#).

Tabla 2. Combinaciones de palabras clave

Palabras clave	Design	Auger	Tree sowing
Design			
Auger	Auger		
Tree sowing	Tree sowing	Tree sowing	
Farm equipment.	Farm equipment.	Farm equipment.	Farm equipment.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Documentos – patentes recuperadas

Inventor	Li Xiaochun Sun Xuliang Weng Zhihuang Guo Yinliang
Patente	Fertilizer distributor [10]
Inventor	Eric J. Shaffer
Patente	Granular Fertilizer Dispenser Apparatus [11]
Inventor	Yao-Pang Chan
Patente	Agricultural and gardening fertilizer applicator [12]
Inventor	William M. Lay
Patente	Multiple earthauger and fertilizer dispensingapparatus [13]
Inventor	Monty M. Doyle
Patente	Conditioning fertilizer Hopper [14]
Inventor	Floyd F. Peterson
Patente	Tree fertilizing tool using an auger and measuring means [15]
Inventor	Gerald Bruner
Patente	Apparatus to fill seed-fertilizer drills [16]
Inventor	John D. Kirschmann, Dickinson, N. Dak
Patente	Fertilizer distributor [17]
Inventor	Eugene M. Durand
Patente	Fertilizer spreader, including variable speed auger [18].
Inventor	Christopher, C. May, Vernon H. W. Hitten
Patente	Fertilizer distributor [19].

Fuente: elaboración propia.

Estudios de mercado y revisiones de ofertas especializadas se recuperaron electrónicamente en catálogos técnicos de empresas fabricantes de equipos agrícolas, otras informaciones fueron recuperadas en artículos científicos, guías y documentos, como se observa en la [tabla 4](#).

Tabla 4. Información recuperada en estudio del mercado

Tipo	Nombre
Artículo	Diseño y construcción de un mezclador de tornillo sinfín para mortero seco [20].
Artículo	La mecanización agrícola: Gestión, selección y administración de la maquinaria para las operaciones de campo [4].
Catálogo	Fichas Técnicas y Catálogos Mezcla – INOXPA [21].
Guía	Cómo elegir y comprar un ahoyador [22].
Sitio	http://www.macoher.es/ [23].
Sitio	https://www.himac.com.au/ [24].
Catálogo	https://www.pulvex.mx [25].
Catálogo	https://www.agitadoresfluidmix.com/ [26].
Catálogo	http://www.oripon.com.ar/ [27].
Catálogo	http://www.fermec-sa.com [28].
Catálogo	https://agrotecagricola.com/ [29].
Documento	Chutes o tolvas [29].
Documento	La Maquinaria Agrícola Argentina, una mirada prospectiva al 2025 [30].

Fuente: elaboración propia.

2.1.1. Descripción de oferta comercial especializada de ahoyadores

Un ahoyador es una herramienta especializada (véase figura 1) y según la región o país su nombre puede variar, algunas denominaciones son: ahoyadora, barrena de tierra y en idioma Inglés es común referirse a este elemento utilitario como auger o earth auger.

Generalmente los ahoyadores son brocas helicoidales; tipo sin fin, integradas a una estructura portante y motorizada que pueden o no tener punta de tungsteno, todo depende del material que se va a perforar, suelos, rocas o asfalto. El diámetro de estas herramientas oscila entre los 0,152 m a 1,129 m, su profundidad de operación se encuentra entre los 1,224 m; 1,520 m y 1,850 m, en algunos modelos se incorpora un tratamiento térmico para incrementar su resistencia al paso del tiempo. La oferta comercial de ahoyadores se reduce a cuatro tipos de estructuras sobre las cuales se acopla una broca o barrena, los hay de tipo manual, mecánicos (a gasolina o eléctricos), y los que se adaptan a tractores o miniexcavadoras [22].



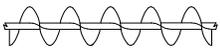
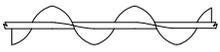
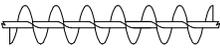
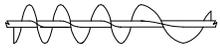
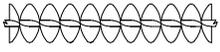
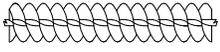
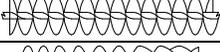
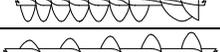
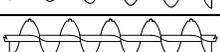
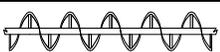
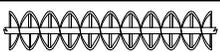
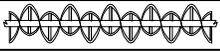
Figura 1. Ahoyadores comerciales de referencia.

Fuente: [22].

Adelantar de forma simultánea una operación de siembra y fertilización en una sola operación, es quizás uno de los objetivos más importantes de este proyecto, ya que no existe un utillaje que lleve a cabo al mismo tiempo las tareas de perforación de suelo y mezcla de fertilizantes.

Las ofertas existentes se reducen a herramientas especializadas que desarrollan estas operaciones de forma separada. Dependiendo de la tarea existe una broca especializada para cada labor, por ejemplo: existen brocas para tomar muestras del suelo, para hacer túneles, para perforar paredes, vidrios, madera, se encuentran en diversos tipos y tamaños utilizados para perforar diversos metales etc. (véase tabla 5), pero no existe una broca especializada que perfora el suelo y mezcla fertilizantes en una sola operación, para tal fin se estudiaron geometrías que permitan el diseño de un nuevo agitador-ahoyador que cumpla con este propósito.

Tabla 5. Tipos de hélice y sus distintos tipos de aplicación

Tipo	Ejemplo
A). Hélice de gran paso, usada como agitador vertical para materiales de alta fluibilidad. $P = (1.5 / 2) D$	
B). Hélice de paso corto Se usa para transportes inclinados, o cuando se desea que el material este mucho tiempo dentro de la rosca.	
C). Hélice de paso variable; se usa para producir una acción de compresión, si el lado de carga es del lado abierto; si el lado de carga es el cerrado, se usa como dosificador.	
D). Hélice de dos entradas; permite un movimiento continuo suave para materiales frágiles o delicados	
E). Hélice de tres entradas, con ventajas similares a la anterior; suele usarse como alimentador y sin cojinetes intermedios, apoyando directamente sobre el canal.	
F). Hélice de dos entradas y paso estrecho; se usa como alimentador o extractor de silos con materiales muy fluidos.	
G). Hélice del tipo d pero con movimiento muy suave.	
H). Hélice de diámetro variable para alimentadores de carbón.	
I). Hélice mezcladora; permite mezclar materiales a la vez que los transporta.	
J). Hélice a cinta; evita atoramientos cuando se transportan materiales pegajosos.	
K). Hélice igual a la anterior, pero con dos entradas. Se duplica la cantidad del material transportado.	
L). Hélice mezcladora con dos cintas de diferente diámetro, una dentro de la otra, logrando un avance lento del material.	
M). Hélice de dos cintas de igual diámetro.	

Fuente: [6].

El rendimiento volumétrico depende del tamaño de las partículas, la densidad del material y factores como la fricción afectan el tamaño del ahoyador y la potencia requerida. A mayor número de espirales, mayor será el desplazamiento de suelo por fuera del hoyo.

2.1.2. Referentes usados para el diseño de la barrena – ahoyador y el agitador de la tolva dosificadora

A continuación, en la [tabla 6](#) se describen diferentes tipos de agitadores estándar consignados en catálogos de fabricantes especializados, específicamente el de la empresa Inoxpa [21], este documento especifica diversos tipos de configuraciones y concentra una nutrida gama de alternativas geométricas existentes, que fueron utilizadas como referencia para diseñar la broca (perforadora – mezcladora) y el mezclador necesario para la agitación de la tolva dosificadora.

La revisión de referentes permite la determinación de los criterios de diseño de los componentes básicos de sistemas de acoples hidráulicos, mecánicos, elevadores, accesorios y componentes para la tolva agitadora de fertilizantes, dosificador de fertilizantes y barrena-

ahoyador. Definiendo así, forma, función y ergonomía del equipo agrícola.

2.1.3. Referentes usados para el diseño de la tolva dosificadora

La tolva es un dispositivo que se destinará para almacenar y descargar material granulado o pulverizado, existen diferentes tipos, y según su geometría pueden ser tubulares, en transición, excéntricas y concéntricas; para determinar su capacidad se tuvo cuenta la forma geométrica de la misma y la densidad del material que contendrá, además de diferentes sistemas de dosificación como: forzada con tornillo sin fin, forzada con pistón, forzada centrífuga y forzada por gravedad.

Para la definición del tipo de motor que necesita la tolva se recuperó información técnica de importantes fabricantes como: Pulvex - México [25], Fluidmix - España [26], y la multinacional Inoxpa source of solutions. A partir de esta información se generó una tabla de características técnicas, que debe cumplir la tolva y su motor de acuerdo a tamaño y carga; así como una tabla de especificaciones de diseño para el implemento agrícola en general.

Tabla 6. Referentes tipos de agitadores

Agitador	Viscosidad	Opcional		
		Corta corriente	Agitador radial	Rascadores
Ancora en “U”	Amplio rango	Si	Si	Si
Ancora cortante radial	Amplio rango	Si	Si	Si
Ancora en “U” con pata	Media	No	No	Si
Ancora tipo helicoidal	Amplio rango	No	No	No
Ancora tipo lazo	Alta	No	Si	Si
Ancora tipo lazo helicoidal	Alta	No	No	Si
Ancora en “U”		Ancora cortante radial		Ancora en “U” con pala
				
Ancora tipo helicoidal		Ancora tipo lazo		Ancora tipo lazo helicoidal
				
Pala inclinada		Pala de gran caudal		Palas en eje central
				
		Broca ahoyador para tractor: Todos los modelos utilizan una estructura en espiral, sin fin, tipo Arquímedes. Varía su longitud, sus diámetros y tipo de cuchillas de perforación. No existe ningún tipo de configuración.		

Fuente: [21].

3. Resultados

3.1. Etapa estratégica de I+D+I Investigación

Se estableció la existencia de dos patentes relacionadas con la siembra y fertilización de árboles en una sola operación: Tree fertilizing tool using an auger and measuring means [15] patentada en 1991 (véase figura 2) y Multiple earth auger and fertilizer dispensing apparatus [13] patentada en 1995 (véase figura 3).

Esta es una herramienta de fertilización de árboles que usa una barrena y medios de medición, que incluye una estructura portante tubular, un recipiente de almacenamiento de fertilizantes y un taladro móvil para

perforar el terreno, está equipada con una broca tipo Arquímedes ubicada perpendicularmente a la línea de la tierra (véase figura 2).

Este modelo cuenta con una pieza en forma de tubo que cumple con una doble función: a) guiar la barrena durante la perforación, y b) guiar el fertilizante al agujero una vez la barrena ha hecho el hoyo en el suelo.

El artefacto mide la cantidad adecuada de fertilizante que va a ser usada y es accionado por un operador, su característica principal es la de abonar el perímetro de los árboles cuando se encuentran establecidos, perfora y rellena orificios pequeños individuales, con una dosis predeterminada de fertilizantes alrededor del tallo.

Este artefacto es usado en plantaciones establecidas, su uso no aplica para el momento de la siembra.

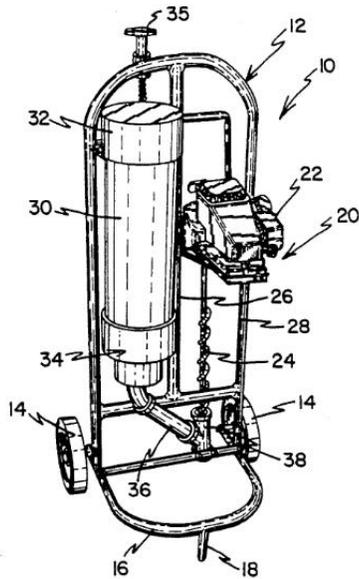


Figura 2. “Tree fertilizing tool using an auger and measuring means”, patente n.º 5063863A [15].

Es un aparato para perforar y dosificar simultáneamente fertilizantes en múltiples agujeros según un patrón determinado, se encuentra adaptado a un soporte para ser transportado por un vehículo tipo tractor agrícola, el artefacto está compuesto por una estructura que porta cuatro taladros, que se encuentran ubicados perpendicularmente a la línea de tierra, y que son desplazados de forma vertical por medio de pistones neumáticos permitiendo desarrollar la operación de perforado del terreno.

El implemento cuenta con un dispensador que incluye un dispositivo de medición ajustable, para dosificar cantidades determinadas de fertilizante en cada hoyo, y posee una broca con diámetro reducido, la operación de la broca y del dispensador suceden de forma simultánea, nutriendo y perforando el suelo al mismo tiempo.

Debido a la geometría de la broca (tipo Arquímedes); en el momento de salir del suelo, debe emerger en sentido contrario al sentido de ingreso, para evitar extraer el fertilizante introducido en el suelo.

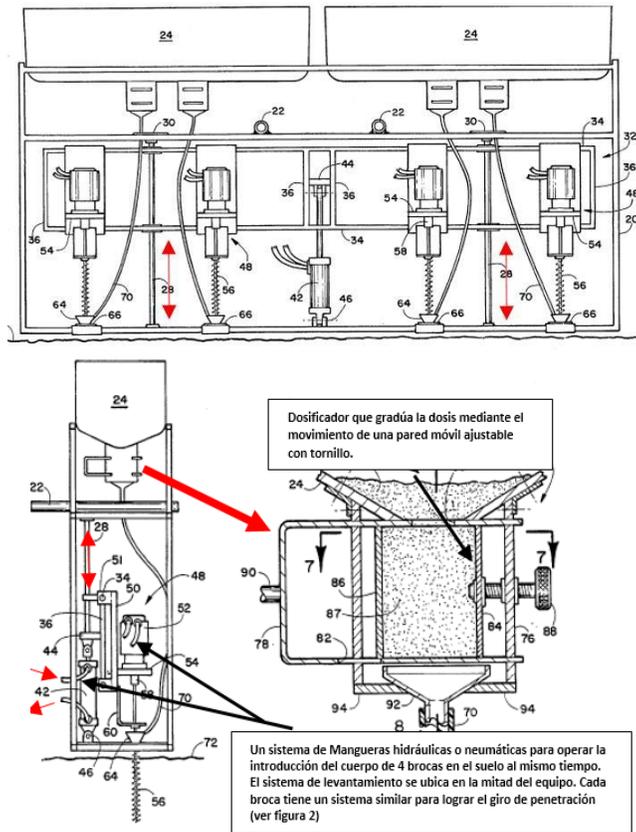


Figura 3. “Multiple earth auger and fertilizer dispensing apparatus”. Fuente: [13].

Este sistema está proyectado para ser utilizado en plantaciones de especies semestrales, cultivadas en surcos como el trigo y el maíz, este artefacto es usado en plantaciones establecidas, su uso no aplica para el momento de la siembra.

Principales similitudes de estas patentes respecto al proyecto se encuentran en la aplicación de principios de ahoyado mecánico e incorporación de enmiendas y fertilizantes de forma simultánea, estas propuestas ofrecen una solución multipropósito (ahoyado – fertilización); la gran diferencia de estas patentes con el propósito de este proyecto, radica en que son máquinas utilizadas fundamentalmente para plantaciones establecidas, su uso no aplica para el momento de la siembra.

Se debe subrayar que los objetivos de este proyecto no solo se enfocan a la fertilización, sino también al mejoramiento de la porosidad y dureza del suelo, ya que no solo se busca ocupar un hoyo con fertilizante, sino mezclar el fertilizante con una dispersión homogénea de un 70% en un hoyo de profundidad variable. Para tal fin se plantea el diseño de un prototipo que cuente con una broca, una tolva y un sistema de dosificación que cumpla con este objetivo.

El estudio de las dos patentes permitió determinar oportunidades de mejora en tres principales aspectos: a) controlar con precisión la cantidad de fertilizante que se está aplicando en cada hoyo después de perforado, lo cual genera desperdicio del fertilizante, o insuficiente aplicación del mismo en el hoyo; b) las barrenas son difíciles de estabilizar lateralmente durante la perforación, efectuando perforaciones que exceden el tamaño necesario, además de presentarse fuertes sacudidas que se transmiten al operador a través de la máquina; y c) a menudo estas máquinas requieren reposicionamiento después de la perforación para aplicación de fertilizantes, esto dificulta la aplicación de los mismos con precisión.

Las mejoras del producto en este proyecto se enfocaron puntualmente en las especificaciones técnicas del producto, uso y función, forma estética y tecnología.

3.1.1. Proceso creativo para dar forma a la idea de diseño de la barrena- ahoyador

Se elaboran diez propuestas modeladas en software 3D, con ellas como punto de partida se hicieron primeras ideas a partir de la generación de geometrías, volúmenes y superficies (véase [figura 4](#)).

3.1.2. Análisis (CFD) barrena- ahoyador

Se evaluaron los modelos sobre dos tipos de fluidos, aire y agua. En aire fueron sometidos a prueba cinco de los diez conceptos diseñados, descartando cinco de las propuestas hechas; el criterio de discriminación utilizado fue la detección de similitudes geométricas o variaciones poco significativas, detectadas después de pruebas de comprobación de efectividad, hechas inicialmente sobre fluido aire. Los resultados de las pruebas fueron modelos gráficos de visualización de la pieza diseñada sometida a rotación de forma cinemática, las turbulencias generadas por las geometrías permitieron la comprobación de la efectividad de los modelos.

A partir de las gráficas se elaboró la [tabla 7](#), en ella se compara el comportamiento de los diseños.

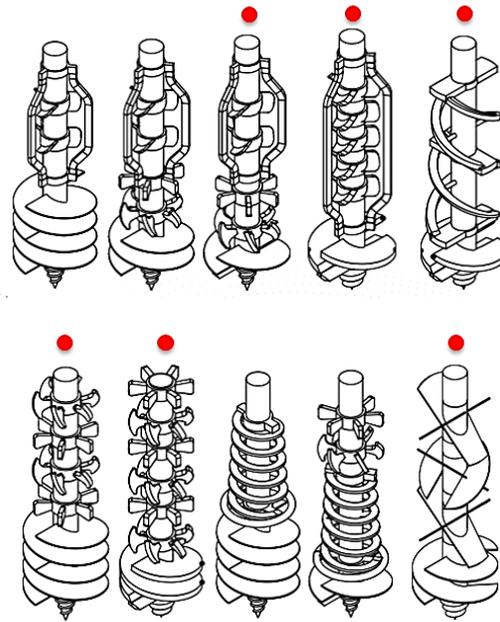


Figura 4. Propuestas de diseño barrena- ahoyador.
 Fuente: elaboración propia, en rojo geometrías elegidas para fabricación de prototipos escala 1:5.

Cálculos computacionales hechos con ordenador (véase [tabla 8](#)) redujeron los tiempos de estudio de cada una de las propuestas. Los datos necesarios para la experimentación son: la velocidad angular y lineal del ahoyador, la fijación de la presión ambiental y la estimación del flujo de la masa, entre otros.

Tabla 7. Pruebas (CFD)

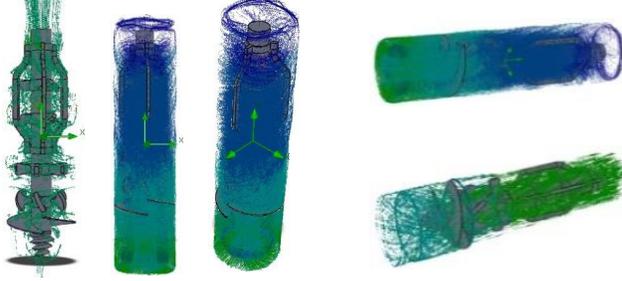
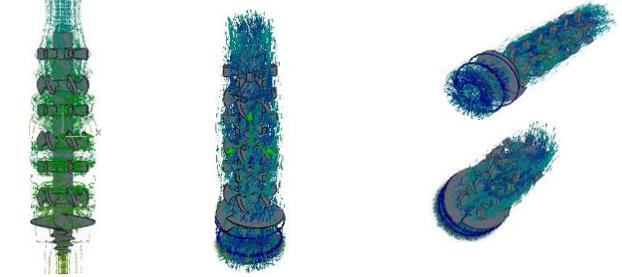
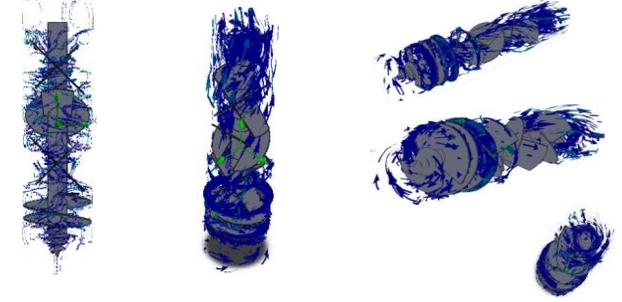
N.º de propuesta	Descripción	Simulación			
Simulación propuesta 5	El gráfico enseña la turbulencia producida por el diseño sobre fluido aire a la izquierda y agua a la derecha, de acuerdo a la información de la gráfica se puede afirmar que la geometría longitudinal encargada de la mezcla cumple adecuadamente con su propósito, en fluido aire, y mejora en fluido agua.				
Simulación propuesta 7	El gráfico enseña la turbulencia producida por el diseño sobre fluido aire a la izquierda y agua a la derecha, de acuerdo a la información de la gráfica se puede afirmar que la geometría longitudinal encargada de la mezcla no cumple adecuadamente con su propósito, en ninguno de los dos fluidos. Este modelo no trasciende a la fase de pruebas físicas.				
Simulación propuesta 8	El gráfico enseña la turbulencia producida por el diseño sobre fluido aire a la izquierda y agua a la derecha, de acuerdo a la información de la gráfica se puede afirmar que la geometría longitudinal encargada de la mezcla cumple adecuadamente con su propósito solo en fluido agua. En pruebas físicas de este modelo, se pudo determinar que el espiral de esta broca, generan aglomeración de material en terrenos húmedos, lo cual impide una correcta mezcla de materiales en el hoyo.				
Simulación propuesta 9	El gráfico enseña la turbulencia producida por el diseño sobre fluido aire a la izquierda y agua a la derecha, de acuerdo a la información de la gráfica se puede afirmar que la geometría longitudinal encargada de la mezcla cumple adecuadamente con su propósito, en fluido aire, y mejora en fluido agua. En pruebas físicas de este modelo, se determinó la reducción del número de paletas mezcladoras, de 36 a 12, para mejorar la correcta mezcla de materiales en el hoyo húmedo.				
Simulación propuesta 10	El gráfico enseña la turbulencia producida por el diseño sobre fluido aire a la izquierda y agua a la derecha, de acuerdo a la información de la gráfica se puede afirmar que la geometría longitudinal encargada de la mezcla cumple adecuadamente con su propósito, en fluido aire, y mejora en fluido agua. En pruebas físicas de este modelo, se pudo determinar que la disposición espacial y el tamaño de las paletas de esta broca, generan aglomeración de material en terrenos húmedos, lo cual impide una correcta mezcla de materiales en el hoyo.				

Tabla 8. Datos utilizados para alimentar el software de elementos finitos

Sistema de unidades utilizado	SI (m-kg-s)
Fluido utilizado	Agua.
Intensidad de la turbulencia	2%
Longitud de la turbulencia	1,5m
Presión ambiental.	101325 Pa
Velocidad lineal	$v= 30\text{m/s}$
Velocidad angular	$\omega =100 \text{ rad/s}$

Fuente: elaboración propia.

3.1.3. Maquetas de estudio y prototipos físicos escala 1:5, barrena- ahoyador

Inicialmente las primeras pruebas físicas se hicieron con un modelo fabricado en impresión 3D (véase figura 5), pero se deterioró fácilmente, por tal razón se construyeron nuevos modelos en acero con tecnología de corte láser CNC, resistente a fuertes exigencias mecánicas. A los cuales se les aplicaron pruebas en condiciones reales, permitiendo precisar aciertos y fallos, para el ajuste de los mismos y para elección de la propuesta final para fabricación a escala 1:1.



Figura 5. Validación Print 3D. Fuente: elaboración propia.

Una vez impresa la pieza y analizada físicamente, se determinó fabricar varios modelos a escala en un material más resistente como lo es el acero, para la elaboración de

los componentes de cada una de las brocas, las cuales fueron cortadas con tecnología láser y soldadas en talleres del SENA en San José del Guaviare (véase figura 6).



Figura 6. Validación partes y componentes a escala 1:5 Fuente: elaboración propia.

Para iniciar las pruebas a escala 1:5 se utilizó un taladro inalámbrico de 1/2" (véase figura 7), para simular las 110 o 120 RPM, generadas en la operación hecha por la transmisión del cardan que posee el tractor, la cual le da potencia a la broca real para perforar el suelo.



Figura 7. Validación partes y componentes a escala 1:5 Fuente: elaboración propia.

Para calcular la relación de velocidad del taladro que podría acercarse a la relación 110 a 120 RPM del tractor, se probaron tres velocidades (véase [tabla 9](#)) de esta herramienta (mínima, mínima/media y media).

Tabla 9. Datos para pruebas con taladro Dewalt

Promedio RPM en el taladro Dewalt de ½"		
Velocidad mínima	Velocidad mínima / media	Velocidad media
20	56	120

Fuente: elaboración propia.

Las RPM, se calcularon atando una cuerda delgada para determinar el número de vueltas que la cuerda da alrededor del eje de la broca del taladro en 15 segundos. Se realizaron 10 pruebas para estimar el promedio de las RPM, una vez establecidos los promedios, se fijó cual debía ser la presión en el gatillo del taladro para la obtención de la potencia y velocidad media que debía alcanzarse para efectuar las pruebas de mezcla de suelo.

Para simular el hoyo hecho por la broca en el suelo, como se observa en la [figura 8](#), se utilizaron cilindros de cristal traslúcido de 70mm de diámetro, para la observación del comportamiento físico del sustrato con el prototipo de broca en rotación.

Finalmente se realizaron pruebas con cada broca-mezclador durante 15, 30, 45, 60, 75 y 90 segundos, con el objeto de estimar el tiempo mínimo necesario para obtener una mezcla homogénea, con una dispersión del colorante rojo en el sustrato de un 70%, a una profundidad no menor a un tercio del tamaño longitudinal del cilindro, porque la zona radicular de absorción de nutrientes en el 80% de las plantas superiores, se encuentra en los primeros 30cm de profundidad. Para cada evaluación se utilizó 20 gr de arena de acuario de color rojo intenso, con una granulometría similar al sustrato a fin de poder establecer el porcentaje visual del grado de dispersión del colorante en un sustrato con 1000 gr de peso, los resultados quedaron documentados en la [tabla 10](#).

En pruebas hechas en arena ligeramente húmeda, casi todos los modelos presentaron adhesión de arena en las paletas que conforman su estructura longitudinal, en el caso de las brocas n.º 8 y la broca n.º 9, la adhesión de arena ocurrió en menor grado. En general la distribución del colorante en el sustrato en arena húmeda fue irregular, acumulándose en muchos casos en la zona del primer cuarto de profundidad, en porciones específicas.



Figura 8. Imagen de las condiciones para pruebas con arena en laboratorio. Fuente: elaboración propia.

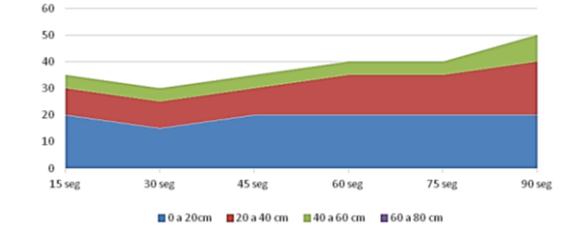
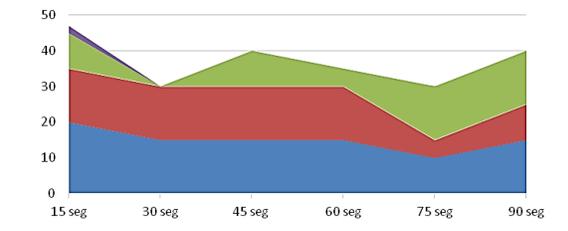
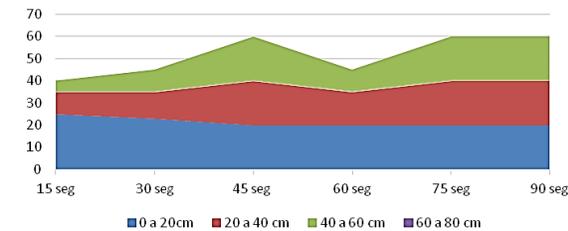
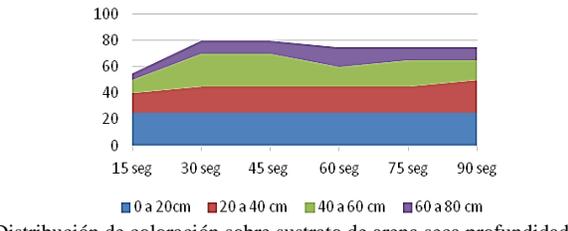
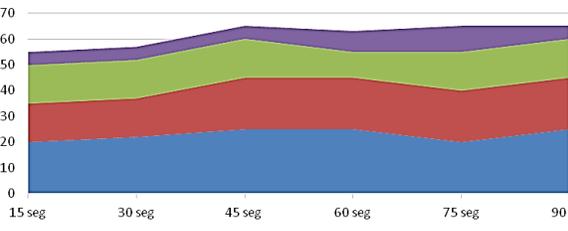
A partir de estos resultados se adelantaron pruebas de campo fuera del laboratorio en suelos arcillo-arenoso, en estas pruebas de nuevo casi todos los modelos presentaron adhesión de arena en las paletas que conforman su estructura longitudinal, como se observa en la [figura 9](#).

En general la propuesta con mejor comportamiento en cuanto a distribución de colorante y menor adhesión de suelo húmedo es la del modelo n.º 9, sin embargo, se presentó adhesión. Por tal razón se planteó la mejora y el rediseño del concepto de la propuesta de ahoyador n.º 9, para mejorar su desempeño en condiciones de humedad.

A partir de la propuesta n.º 9 se establecen algunas consideraciones para mejorar el diseño (véase [figura 10](#) y [figura 11](#)):

- Si la dimensión de la cuchilla en espiral tipo Arquímedes ubicada en el eje longitudinal (Y) del ahoyador sobrepasa 25 cm de longitud, la broca transportará hacia afuera del hoyo más sustrato del suelo, disminuyendo la efectividad del área donde se mezclará el fertilizante.

Tabla 10. Resultados de las pruebas de mezcla de arena

N.º de propuesta	Descripción	Simulación
Propuesta 5	Comportamiento insuficiente, poca distribución de colorante rojo en la mezcla. Se logra una mezcla homogénea, con una dispersión de colorante rojo de un 50 %, no cumple con los requerimientos de diseño.	 <p data-bbox="803 598 1412 651">Distribución de coloración sobre sustrato de arena seca vs profundidad del suelo y tiempo de secado (aletas paralelas y perpendiculares cortas)</p>
Propuesta 7	Comportamiento insuficiente, poca distribución de colorante rojo en la mezcla. Se logra una mezcla homogénea, con una dispersión de colorante rojo de un 45 %, no cumple con los requerimientos de diseño.	 <p data-bbox="803 934 1412 987">Distribución de coloración sobre sustrato de arena seca vs profundidad del suelo y tiempo de secado (aletas paralelas)</p>
Propuesta 8	Comportamiento insuficiente, distribución de colorante rojo en la mezcla por debajo de lo esperado, y mayor tiempo de operación para la mezcla. Se logra una mezcla homogénea, con una dispersión de colorante rojo de un 60%, no cumple con los requerimientos de diseño.	 <p data-bbox="803 1228 1412 1281">Distribución de coloración sobre sustrato de arena seca vs profundidad del suelo y tiempo de mezclado (mezclador de cinta helicoidal)</p>
Propuesta 9	Comportamiento óptimo, alta distribución de colorante rojo en la mezcla. Se logra una mezcla homogénea, con una dispersión de colorante rojo de un 80%, supera el requerimiento de diseño.	 <p data-bbox="803 1522 1412 1575">Distribución de coloración sobre sustrato de arena seca profundidad del suelo vs tiempo de mezclado (mezclador n.º 9)</p>
Propuesta 10	Comportamiento insuficiente, distribución de colorante rojo en la mezcla por debajo de lo esperado, y mayor tiempo de operación para la mezcla. Se logra una mezcla homogénea, con una dispersión de colorante rojo de un 65%, en suelos secos, en suelos húmedos presenta alta adhesión de sustrato.	 <p data-bbox="803 1837 1412 1890">Distribución de coloración sobre sustrato de arena seca vs profundidad del suelo y tiempo de mezclado (mezclador de láminas opuestas)</p>

- Si la dimensión de la cuchilla en espiral tipo Arquímedes, que está sobre el eje longitudinal (Y) del ahoyador no sobrepasa 25 cm de longitud, el ahoyador no transportará hacia el exterior del hoyo el sustrato del suelo y mejorará la efectividad del área donde se mezclará el fertilizante.
- Se reduce en primera instancia el número de paletas longitudinales del prototipo de 36 a 18 y de 18 a 12 paletas finalmente. La disposición de las paletas sobre el eje (Y) se hizo en pares opuestos entre sí, alternando unas paletas con y sin ángulo de inclinación.
- Se evaluaron de forma física a escala 1:5 dos tipos de modelo de cuchilla para llevar a cabo la operación de corte y penetración del suelo, el modelo (A) de geometrías de corte tipo Arquímedes tienen una velocidad de perforación inferior, respecto al modelo (B) de geometría de cuchillas de espirales opuestas (véase figura 11).

El cambio hecho sobre el modelo n.º9 mejoró el comportamiento de la broca en suelos parcialmente húmedos respecto a la distribución del colorante en el sustrato, reduciendo significativamente la adhesión de sustrato a la estructura longitudinal del modelo, logrando una mezcla homogénea con alta distribución de colorante en el sustrato. Se espera que al realizar ensayos con un modelo escala 1:1, no se adhiera material ya que cambiaría la relación de escala del tamaño granular de la arena, respecto al modelo real.



Figura 9. Imagen de pruebas en suelos húmedos.
Fuente: elaboración propia.

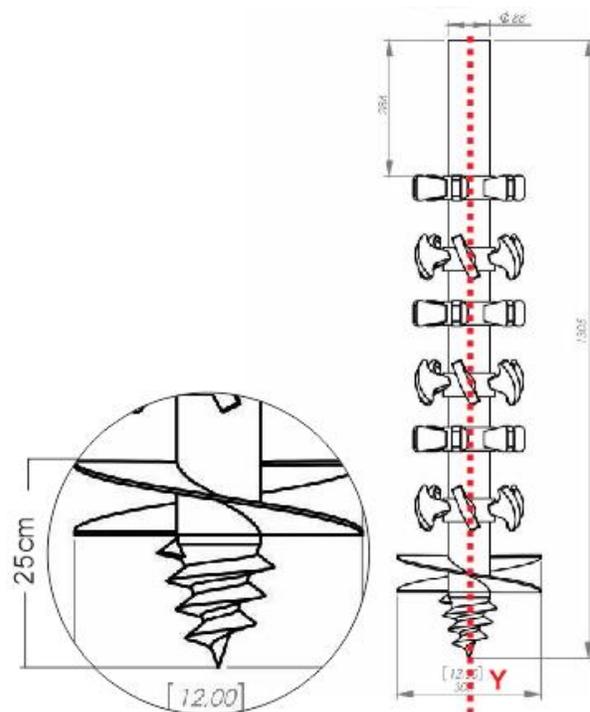


Figura 10. Propuestas de diseño cuchilla de barrenahoyador, de 25 cm de longitud. Fuente: elaboración propia.

3.2. Características técnicas para el diseño de tolva

El material que se mezclara en la tolva es un conjunto de polvos que integran enmiendas y fertilizante con una densidad superior a la del agua entre 1 g/cm^3 a 2 g/cm^3 , por tal razón se elige una moto reductora de 1 hp, cuyo desempeño será evaluado en pruebas de campo. Se aplicó el principio de volumen inútil, calculado entre un 10% y un 15%. Se integró a la tolva un sistema dosificador para distribuir dosis indicadas, suministradas por medio de: un tornillo sin fin, un pistón neumático, una centrífuga forzada o por gravedad. La tolva proyectada requiere para su operación de un motor y un agitador que a velocidad constante forzaran una mezcla de 100kg, para contrarrestar las características higroscópicas del material fertilizante, las sustancias higroscópicas poseen la capacidad de absorber humedad del medio ambiente. En particular la humedad atmosférica de San José del Guaviare oscila durante el año entre 78% y 90 %, siendo de mayor intensidad en los meses de junio - julio y de menor intensidad en el primer trimestre del año.

Figura 11. Propuestas de diseño cuchilla de barrena- ahoyador, de 25 cm de longitud

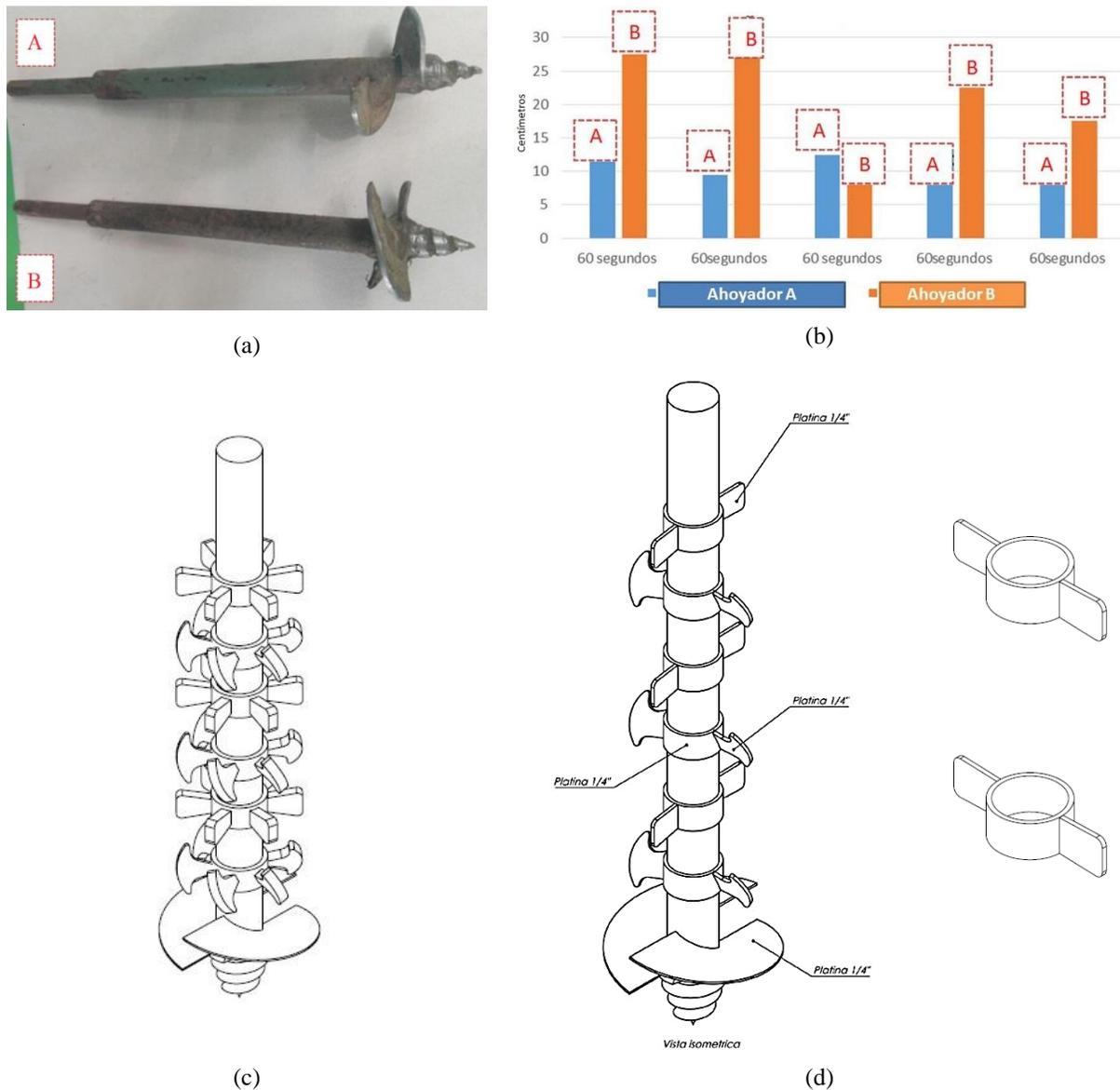
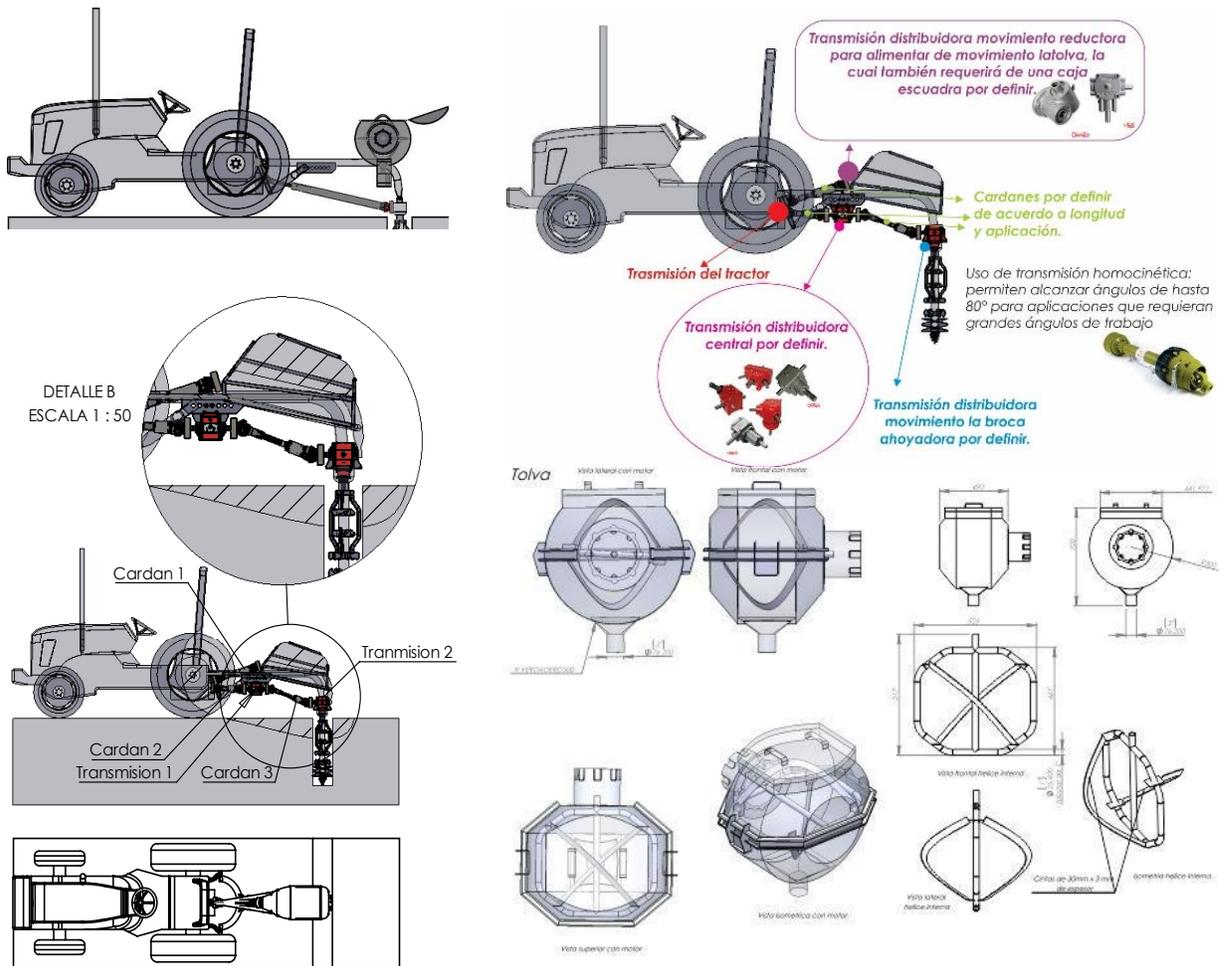


Figura 11. Propuestas de diseño cuchilla de barrena- ahoyador con 25 cm de longitud. (a) Los dos tipos de modelo de cuchilla para la operación de corte y penetración del suelo, (b) Resultados de los ensayos de penetración en el suelo con los dos tipos de broca, (c) Antes, (d) Después- diseño final.

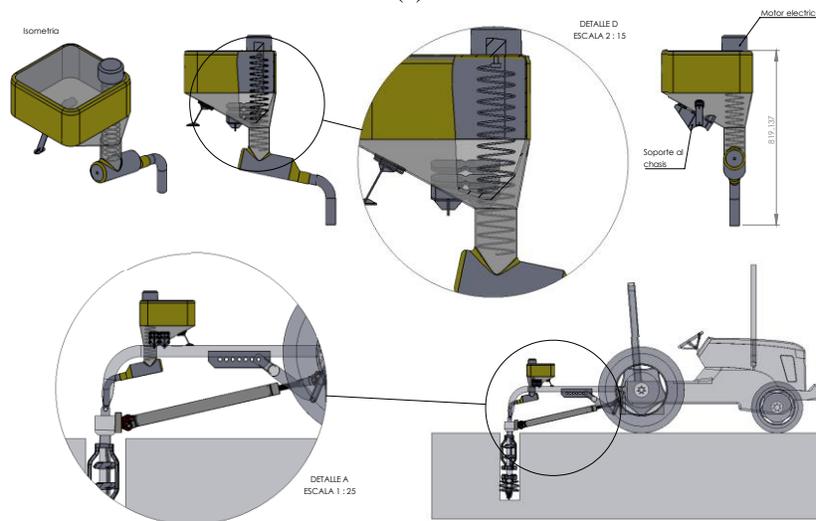
3.3. Integración de la tolva agitadora, el dosificador y la barrena-ahoyador al tractor

Se generaron 2 alternativas de diseño del sistema, estas se relacionan en la figura 12 y se describen a continuación:

- Propuesta 1: Alimentación de movimiento del ahoyador por cardan, tolva motorizada a 12V y tolva con descarga paralela al eje de soporte.
- Propuesta 2: Alimentación de movimiento del ahoyador por cardan, tolva motorizada a 110V o 12V, la cual descargará lateralmente con una inclinación paralela al eje de soporte.



(a)



(b)

Figura 12. Propuestas de diseño de la tolva. (a) Propuesta 1, (b) Propuesta 2.

3.4. Viabilidad técnica

Se evaluaron diversas variables de las propuestas de forma comparativa:

- Propuesta 1, su complejidad es alta, en términos de logística existen riesgos asociados a procesos de importación de cajas de transmisión para cardan, además del incremento variables que deben coincidir y la cantidad de piezas a utilizar. La propuesta requerirá del rediseño del chasis para integrar la tolva, presentándose limitaciones asociadas a necesidades de componentes especializados, como una transmisión mecánica central que no se pueden ensamblar o fabricar en San José del Guaviare. Impactando económicamente el valor de los insumos, el mantenimiento futuro del equipo y los tiempos de ejecución del proyecto, la ventaja de esta propuesta es que es un sistema integrado, de alta calidad. Finalmente, el diseño puede ser copiado por empresas fabricantes de aplicaciones de cajas de transmisión para cardanes usados por tractores agrícolas, lo cual supone una amenaza.
- Propuesta 2, es de complejidad más baja, existencia de diversos motores disponibles en el mercado para motorizar la tolva, la propuesta requiere del uso de pocas piezas y accesorios. El sistema de alimentación de movimiento al ahoyador está resuelto por cardan del tractor, solo se debe resolver el movimiento de agitación de la tolva. Los componentes se pueden fabricar en San José del Guaviare, además la tolva se puede adaptar al soporte central del chasis que suministra el fabricante, los insumos en general pueden tener costos favorables. El sistema es más simple, pero el uso de un motor eléctrico a 12V para la tolva implica resolver temas relacionados con la electricidad e instalación de una batería alterna, tractor-tolva. El uso de un motor eléctrico a 110V, implica la instalación de un convertidor de tensión de corriente de 1500W. La ventaja de esta propuesta radica en que se puede desarrollar a bajo costo.

3.5. Síntesis de especificaciones para el diseño de un equipo agrícola

La validación de informaciones y los análisis anteriormente descritos, permitió la elaboración de la [tabla 11](#), en ella se relaciona los requerimientos y especificaciones de diseño recopiladas, cuyo objetivo es la definición del alcance de operación del Ahoyador mezclador para la planificación del diseño y desarrollo del producto.

3.6. Síntesis de especificaciones para el diseño de un equipo agrícola

En conjunto este sistema de ensambles, posee 6 subconjuntos o 6 sub ensambles como se relacionan en la [figura 13](#).

4. Conclusiones

La aplicación de estrategias de I+D+I Investigación – Desarrollo e Innovación en este estudio, fueron fundamentales para la mejora de técnicas de siembra de perennes, introduciendo de mejoras significativas en productos como ahoyadores utilizados en el sector agrícola, para la explotación de materias primas y para el desarrollo económico de la región del Guaviare, de otras zonas del país y del mundo.

Metodos de ingeniería inversa utilizados para este desarrollo, permitieron plantear ideas de producto para áreas del conocimiento, asociadas a la siembra y fertilización de árboles, áreas que a la fecha poco han avanzado desde 1995 [23].

Este estudio permitió concluir en la revisión de patentes de producto y ofertas del mercado, que no existen referentes de herramientas agrícolas para la siembra de perennes, que efectúen de forma simultanea la operación de siembra y fertilización para el establecimiento especies de forestales, una gran oportunidad para la incursión en este ámbito. Esta circunstancia es la fuente de innovación de este proyecto.

La simplificación y disminución del area longitudinal de las cuchillas cortadoras, así como; la mejora de la efectividad de su capacidad de penetración, permitirán que este nuevo diseño se diferencie de propuestas existentes, ya que ofrece una dispersión de fertilizantes con un coeficiente del 80%, superando los requerimientos de diseño. Mejorando la porosidad y dureza del suelo, generando una mezcla homogénea y suave que propicia el incremento de la profundidad radicular de la planta, aumentando la tasa de crecimiento inicial de estas especies.

Las pruebas hechas a los prototipos de ahoyador permitieron indicar el número adecuado de paletas a utilizar en la estructura longitudinal de la broca-mezclador, evitando mayor saturación del suelo entre estas piezas y menor capacidad de mezcla del sustrato.

Tabla 11. Requerimientos y especificaciones para el diseño del equipo agrícola

Especificación	Requerimiento	
Profundidad mínima de trabajo del ahoyador – mezclador	0,4 Mt	
Profundidad máxima de trabajo del ahoyador – mezclador	0,8Mt	
Diámetro del orificio del ahoyador	0,3Mt	
Profundidad mínima de mezcla de fertilizantes	0,0 Mt. a 0,2 Mt	
Profundidad máxima de mezcla de fertilizantes	0,0 Mt. a 0,6 Mt	
Profundidad máxima de la sección que perfora la broca, incluyendo punta de ataque	0,25 Mt	
Tipo de mezcla a utilizar	Cal y fertilizantes	
Porcentaje mínimo de distribución de enmiendas en sustrato	70%	
Dosificación de fertilizantes requerida	Dosis mínima 50gr, por hoyo / dosis máxima 8’’ gr, por hoyo	
Capacidad máxima de la tolva dosificadora	100 Kg	
Función del segmento de la broca que mezcla	Mezclar suelo con las enmiendas fraccionando y triturando el suelo. La operación completa se efectúa en el hoyo	
Función del dosificador	Suministrar por gravedad las dosis de enmiendas recomendadas	
Función del cilindro o faldón retráctil de confinamiento	Evitar la pérdida de suelo fuera del hoyo durante la mezcla	
Material para fabricar la tolva	Acero galvanizado, tratado y pintado	
Tipo de agitador para la tolva	Agitador de cintas	
Tipo de ahoyador	Perforador y mezclador en por medio de un mismo elemento	
Motor para agitación de la tolva	Motor reductor de 1hp, reducido a 70 rpm, a 110v, se debe implementar un inversor de 12v a 110v, debe ser por lo menos de una potencia de 1500w	
Velocidad de agitado	70 rpm. Agitación horizontal	
Densidad promedio del material a mezclar	1 g/cm ³	
Sistema de dosificación	Volumétrico por gravedad de acción palanca mecánica	
Herrajes y medidas de la tolva	La tolva debe ser abisagrada y de cierre hermético. Medidas aproximadas de la tolva (diámetro x altura), entre 46 x 75 cm y 55 x 100 cm	
Volumen inútil de la tolva	10 a 15 % del volumen total	
Tipo de agitación de la tolva	Agitación lateral	
Localización geográfica del equipo agrícola	Porcentaje de humedad relativa del ambiente y características higroscópicas de los fertilizantes	
Geometría de la tolva	Propósito la tolva y efecto que tendrían sus dimensiones básicas y ángulo de transición	
Materiales para la construcción de la tolva	Puede fabricarse en acero galvanizado: es un acero menos resistente a la corrosión pero que con recubrimientos como pinturas o anticorrosivos epóxicos, puede resistir a la intemperie	
Consideraciones para el motor de la tolva [24]		
No. De agitadores	Longitud de la flecha	Medidas habitáculo (diámetro y altura)
1	72 cm	50 x 90 cm
Modelo y capacidad LTS/KG	Motor H.P	Diámetro del espesor
AD 150	1	25cm

Fuente: elaboración propia.

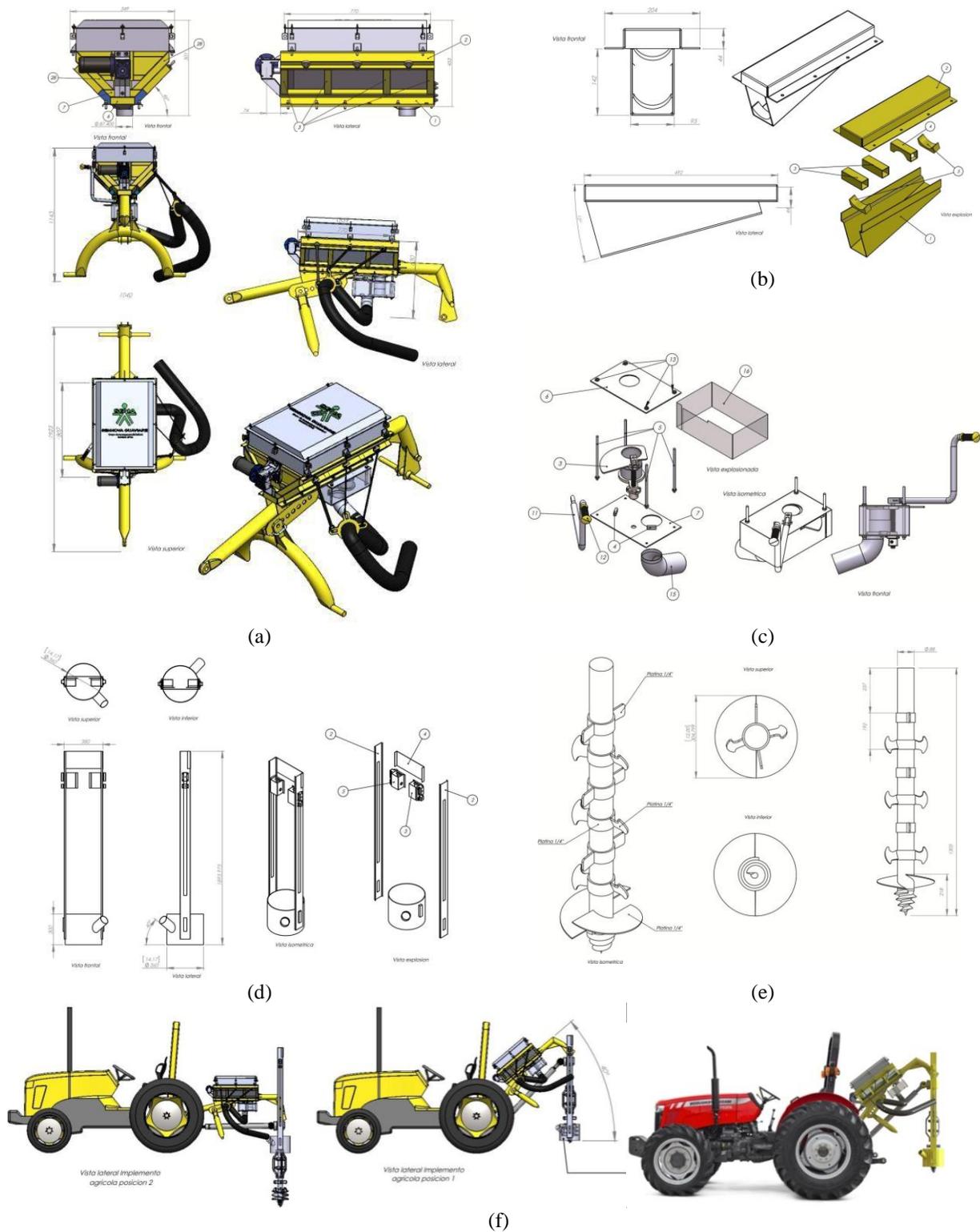


Figura 13. Requerimientos y especificaciones para el diseño del equipo agrícola. (a) Primer subconjunto o sub ensamble (Tolva), (b) Segundo subconjunto o sub ensamble (sujeción Implemento tractor), (c) Tercer subconjunto o sub ensamble (Dosificador), (d) Cuarto subconjunto o sub ensamble (Confinamiento), (e) subconjunto o sub ensamble (Ahoyador), (f) Ensamble implemento agrícola a Tractor.

En suelos ligeramente secos, estas pruebas permiten inferir que a escala real el equipo mejoraría su desempeño durante los meses de verano.

El enfoque y las metodologías utilizadas en este estudio pueden ser replicadas en otras áreas de conocimiento; así como, puede usarse de nuevo en el futuro, para el desarrollo de otro tipo de maquinaria agrícola. La investigación aplicada desde la disciplina del Diseño Industrial, permitió hacer innovaciones incrementales en el desarrollo de este producto, creando valor a partir de ahoyadores ya existentes; incorporando mejoras a demandas hechas por el mercado, empresas y sectores productivos como ASOPROCAUCHO, Asociación de productores de cacao del Guaviare y otras organizaciones de productores del país, que fomentan el establecimiento de caucho, cacao, especies forestales, palma de aceite, así como otras especies vegetales comerciales.

5. Recomendaciones

Las futuras líneas de continuidad de trabajo pueden incluir la automatización de las funciones de dosificación de fertilizantes del equipo; así como, el mejoramiento de condiciones de seguridad en la operación. Se recomienda concluir tres fases de diseño que hacen falta: La de producción, la de mercadeo y la de disposición final.

La aplicación de tecnologías 4.0 emergentes en este producto es una gran oportunidad para satisfacer tendencias actuales, como la demanda de implementos agrícolas de alta precisión, inteligencia, automatización, robotización, además del uso de nuevos materiales, resistentes que empleen energías limpias (como la eléctrica o la solar).

Finalmente se espera que el proyecto tenga una segunda fase, donde se “Comprobará la operación funcional del prototipo agrícola ahoyador construido a escala 1.1, para la validación de la efectividad del suministro y mezcla de enmiendas en el suelo en el establecimiento de plantaciones perennes comerciales, en San José del Guaviare”

Agradecimientos

Al SENA y SENNOVA regional Guaviare, al grupo de investigación Bio gigas y al semillero de investigación Sipais.

Referencias

- [1] J. Ríos, “El Acuerdo de paz entre el Gobierno colombiano y las FARC: o cuando una paz imperfecta es mejor que una guerra perfecta”, *Rev. Iberoamericana de Filosofía, Política y Humanidades*, vol. 19, núm. 38, 2017.
- [2] “El plan de desarrollo Guaviare Paz y Desarrollo Social 2016 – 2019”, Gobernación del Guaviare, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://ceo.uniandes.edu.co/images/Documentos/Plan%20de%20Desarrollo%20Guaviare%202016%20-%202019.pdf>
- [3] Far eastern agriculture, “Applying agrochemicals through irrigation systems”, 2000. [En línea]. Disponible en: <https://www.fareasternagriculture.com/>
- [4] E. Cortés, F. Álvarez, H. González, “La mecanización agrícola: Gestión, selección y administración de la maquinaria para las operaciones de campo”, *Ces. Med. Vet. Zootec.*, vol. 4, no. 2, pp. 151–160, 2010.
- [5] J. Araya, C. Ossa, “La mecanización en la agricultura colombiana. La coyuntura económica”, Fedesarrollo, 1976. [En línea]. Disponible en: https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/2747/Co_Eco_Julio_1976_Araya_y_Osa.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- [6] M. Polanco, *Maquinaria y mecanización agrícola*. Col: UNAD, 2007. [En línea]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/read/13262868/maquinaria-y-mecanizacion-agricola>
- [7] “Proceso de diseño fases para el desarrollo de productos (2009)”, Instituto Nacional de Tecnología Industrial. [En línea]. Disponible en: <https://karabato.files.wordpress.com/2009/12/proceso.pdf>
- [8] M. Burbano, C. Peribáñez, F. Zeballos, A. Miquel, “Herramientas y tecnologías para el diseño en tres dimensiones”. *Rev. Técnica industrial*, 57 – 61, 2005.
- [9] “Manual de Oslo, Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación”, OCDE y Eurostat, 2005. [En línea]. Disponible en: <http://www.itq.edu.mx/convocatorias/manualdeoslo.pdf>

- [10] Li Xiaochun Sun Xuliang Weng Zhihuang Guo Yinliang, “Fertilizer distributor”, CN104206088A 17-jun-2014. [En línea]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/CN104206088A/en?q=auger+AND+fertilizer>
- [11] E. J. Shaffer, “Granular Fertilizer Dispenser Apparatus”, US20140352584A1 4 -dec.-2014. [En línea]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US20140352584?q=auger+AND+fertilizer>
- [12] Y. P. Chan, “Agricultural and gardening fertilizer applicator”, US6810822B1 2- nov. - 2004. [En línea]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US6810822?q=auger+AND+fertilizer>
- [13] W. M. Lay, “Multiple earthauger and fertilizer dispensing apparatus”, US5452672A 26 -Sep.- 1995. [En línea]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US5452672?q=auger+AND+fertilizer>
- [14] M. M. Doyle, “Conditioning fertilizer Hopper”, US5395058A 7 - mar. - 1995. [En línea]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US5395058?q=auger+AND+fertilizer>
- [15] F. F. Peterson “Tree fertilizing tool using an auger”, US5063863A 12- nov. - 1991. [En línea]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US5063863?q=auger+AND+fertilizer>
- [16] G. Bruner “Apparatus to fill seed-fertilizer drills”, US5009254A 23 - abril- 1991. [En línea]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US5009254?q=auger+AND+fertilizer>
- [17] J. D. Kirschmann,, “Fertilizer distributor”, US2819826A 14 – enero- 1958. [En línea]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US2819826>
- [18] E. M. Durand, “Fertilizer spreader, including variable speed auger” 28 – feb - 28, 1956. [En línea]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US2736467?q=auger+AND+fertilizer>
- [19] C. C. May, V. H. W. Hitten, “Fertilizer distributor”- 20 - dic. - 1932. [En línea]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US1891565?q=auger+AND+fertilizer>
- [20] R. Giraldo Quiroga, L. Flórez García, “Diseño y construcción de un mezclador de tornillo sinfín para mortero seco”, *Scientia et Technica*, vol. 2, no. 45, pp. 37 - 42, 2010.
- [21] INOXPA, “Catálogo Inoxpa source of solutions”, [En línea]. Disponible en: <https://www.sireba.com.mx/pdf/Catalogo%20INOXPA.pdf>
- [22] “Guía: cómo elegir y comprar un ahoyador. Tipos de ahoyadoras”, [En línea]. Disponible en: <https://www.ventageneradores.net/blog/guia-como-elegir-ahoyador-tipos-ahoyadoras/>
- [23] “Macober”, [En línea]. Disponible en: <http://www.macober.es/>
- [24] “Himac” [En línea]. Disponible en: <https://www.himac.com.au/>
- [25] Pulvex, “Catalogo Pulvex”, [En línea]. Disponible en: <https://www.pulvex.mx>
- [26] FluidMix, [En línea]. Disponible en: <https://www.agitadoresfluidmix.com>
- [27] Oripon, “Catalogo Oripon”, [En línea]. Disponible en: <http://www.oripon.com.ar/>
- [28] Fermecc , “Catalogo Fermecc”, [En línea]. Disponible en: <http://www.fermecc-sa.com>
- [29] Agrotec, [En línea]. Disponible en: <https://agrotecagricola.com>
- [30] M. A. Bragachini, F. R. Sanchez, “ La Maquinaria Agrícola Argentina, una mirada prospectiva al 2025”, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, informe 2016.