

**DISMINUCIÓN DE LA BRECHA AL ACCESO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA  
EN EL CAMPO COLOMBIANO**

Juan Esteban Arévalo

Angie Dayanna Acosta

Facultad de Ingeniería, Universidad EAN

Proyecto de Grado

Profesor: John Jairo Porras

Bogotá, Colombia

2025

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	4
INTRODUCCIÓN .....	5
OBJETIVOS .....	6
OBJETIVO GENERAL .....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	7
JUSTIFICACIÓN .....	9
ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS .....	12
1. Requerimientos Funcionales .....	12
2. Requerimientos Técnicos .....	12
3. Requerimientos de Usuario .....	12
4. Requerimientos Normativos.....	13
5. Requerimientos de Seguridad Mecánica .....	13
MARCO TEÓRICO.....	14
ANÁLISIS DE RESTRICCIONES .....	16
1. Restricciones Ambientales .....	16
2. Restricciones Económicas.....	16
3. Restricciones Legales.....	17
4. Restricciones de Salud y Seguridad .....	17
5. Restricciones Socioculturales .....	18
METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL PROTOTIPO .....	19
ANÁLISIS DE COSTOS .....	20
DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROTOTIPO.....	23
SIMULACIÓN Y PRUEBAS .....	31
ESCENARIO DE SIMULACIÓN Y PRUEBAS.....	31
EJECUCIÓN DE LAS PRUEBAS .....	32
PRUEBAS EN EL DIFERENCIAL .....	32
PRUEBAS AL CHASIS .....	35
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	36
RESULTADO DE PRUEBAS AL DIFERENCIAL.....	36
RESULTADO DE PRUEBAS DEL CHASIS .....	36
CONCLUSIONES .....	37

RECOMENDACIONES .....	38
REFERENCIAS.....	39

### LISTA DE FIGURAS

DISEÑO DEL CABALLETE.....	24
DISEÑO DEL CABALLETE EN 2D.....	24
DIFERENCIAL.....	25
CORONA.....	25
PIÑÓN DE ATAQUE .....	26
EJES PLANETARIOS .....	26
EJES SATÉLITES .....	27
CARCASA .....	27
FLECHAS .....	28
CHASIS .....	28
PIÑONES HELICOIDALES DEL CABALLETE .....	30
PRUEBA DE TORSIÓN A LA CORONA .....	32
PRUEBA DE TORSIÓN AL PIÑÓN DE ATAQUE .....	32
PRUEBA DE TORSIÓN A LOS EJES PLANETARIOS .....	33
PRUEBA DE TORSIÓN A LOS EJES SATÉLITES.....	33
PRUEBA DE COMPRESIÓN Y TENSIÓN A LA CARCASA .....	34
PRUEBA DE TORSIÓN A LAS FLECHAS.....	34
PRUEBA DE CARGAS Y SUJECIONES AL CHASIS.....	35

### LISTA DE TABLAS

COSTOS DE LOS MATERIALES EN PESOS COLOMBIANOS .....	20
COSTOS DE MANO DE OBRA EN PESOS COLOMBIANOS.....	21
COSTOS INDIRECTOS EN PESOS COLOMBIANOS .....	21
COSTOS TOTALES EN PESOS COLOMBIANOS .....	22
MATERIALES DE LOS COMPONENTES .....	29
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS.....	36

## RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo diseñar y modelar un mecanismo que facilite el acceso a maquinaria agrícola para los campesinos en Colombia, reduciendo la brecha tecnológica que limita su productividad. En el país, debido al alto costo y limitada disponibilidad de acceso a maquinaria pesada, la mayoría de los agricultores dependen de labores manuales que aumentan el esfuerzo físico y prolongan los tiempos de trabajo. Para dar respuesta a esta problemática, se propone el diseño de un sistema de arado mecánico acoplable a motocicletas siendo un vehículo altamente utilizado en zonas rurales. La propuesta se fundamenta en procesos metodológicos de ingeniería que incluyen análisis de requerimientos, modelado CAD, selección de materiales, simulaciones estructurales y evaluación de torque y transmisión. Además, se miden variables como profundidad de arado, esfuerzo requerido, peso del sistema y compatibilidad con motores de baja cilindrada. Con ello, se busca optimizar las labores agrícolas mediante un mecanismo económico, funcional y adaptable, respaldado por procesos de modelado y simulación en ingeniería.

## INTRODUCCIÓN

Gran población de Colombia habita en zonas urbanas o cabeceras municipales, y cabe resaltar que la agricultura cada vez pierde más participación en la economía Colombia pues según Restrepo (2021) “la agricultura paso de tener un rol importante aportando hasta el 23 % del PIB entre los 60s y 70s a llegar hasta un 8 % en el 2023”. En Colombia los campesinos durante la mayor parte de su historia han tenido poco acceso a maquinaria agrícola en gran parte por falta de capital, realizar una gran inversión como lo puede ser un tractor supone grandes esfuerzos, y más aún si se toma en cuenta otros gastos como lo pueden ser su correcto mantenimiento. Esto se ve reflejado en pequeños agricultores, pues según un censo de la sociedad de agricultores en Colombia en 2014 “Censo agropecuario de maquinaria en el campo”, del 67% de agricultores que usaban maquinaria agrícola, el 44,7% tienen más de 1000ha de UPA y tan solo el 11.3% de agricultores que tenían menos de 5ha de UPA contaban con maquinaria agrícola. Esto muestra un panorama en que los campesinos del común no suelen contar con maquinaria para trabajar sus tierras y que normalmente son grandes terratenientes los que cuentan con estas herramientas a su disposición, dejando un gran problema para el surgimiento de campesinos. Esta falta de herramientas en el campo hace que se redoblen los tiempos para tareas como lo pueden ser arar un campo o transporte de materiales, un mayor desgaste físico de parte de los trabajadores que realizan estas tareas manualmente o un gran gasto en caso de que esto sea realizado con ayuda de animales. Por este motivo se desea diseñar y modelar un sistema de arado mecánico el cual sea acoplable a una motocicleta (vehículo de combustión interna muy común en el campo), para imitar las funciones de arado de un tractor y facilitar los trabajos manuales realizados en el campo, para así dar mayor facilidad de siembra a los campesinos colombianos.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema de arado mecánico acoplable a motocicletas, funcional, económico y adaptable, que facilite el acceso a tecnologías agrícolas en comunidades rurales, con el fin de promover un desarrollo sostenible e inclusivo.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ❖ Analizar las necesidades y limitaciones actuales de los campesinos colombianos en cuanto al acceso y uso de la maquinaria agrícola.
- ❖ Investigar y seleccionar los materiales y mecanismos adecuados para el diseño de un sistema de arado mecánico acoplable a una motocicleta.
- ❖ Diseñar y modelar un prototipo funcional del sistema de arado mecánico utilizando herramientas de ingeniería y simulación.
- ❖ Diseñar y simular un prototipo adaptable al mecanismo que ayude a visualizar el funcionamiento del mecanismo.

## DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En Colombia, gran parte del trabajo agrícola se realiza de manera manual debido al bajo acceso a maquinaria por parte de pequeños productores. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2014), solo el 2,7 % del total de las Unidades de Producción Agropecuaria (UPA) menores a 5 hectáreas reportaron el uso de maquinaria propia, mientras que el 89,4 % depende exclusivamente de herramientas manuales o tracción animal. Esta situación genera bajos rendimientos, mayor esfuerzo físico y tiempos prolongados de trabajo, lo que reduce la productividad y competitividad de los agricultores.

Entre los principales obstáculos de esta situación se encuentra la baja infraestructura digital disponible en zonas rurales, el escaso acceso a dispositivos y herramientas tecnológicas, la limitada capacitación técnica y la falta de financiamiento para adquirir o mantener maquinaria agrícola. Estas condiciones perpetúan la dependencia de métodos manuales y restringen la modernización en pequeñas unidades productivas (Chaparro, 2025).

Diversos estudios sobre innovación agrícola en Colombia evidencian que existe una marcada desigualdad en el acceso a tecnologías entre los diferentes tipos de productores. Se ha encontrado que cerca del 75 % de los desarrollos tecnológicos y procesos de digitalización se concentran en la agricultura de gran escala, lo que deja a pequeños y medianos agricultores con acceso muy limitado a estas herramientas (Chaparro, 2025). Esta brecha tecnológica limita la capacidad de los territorios rurales para adoptar soluciones mecanizadas o digitales que aumenten la productividad.

Además, la problemática del acceso desigual a tecnología agrícola en Colombia se relaciona también con factores estructurales. Diversos autores señalan que la producción agrícola del país se encuentra altamente concentrada en grandes agronegocios, lo que deja a los pequeños productores en desventaja frente a la disponibilidad de maquinaria, infraestructura y procesos de

modernización. A esto se suma la persistencia de modelos tradicionales de producción que avanzan lentamente hacia la innovación, debido a la limitada oferta de soluciones diseñadas específicamente para unidades productivas pequeñas. Por otro lado, se evidencia una desconexión entre los desarrollos de la Industria 4.0 y las necesidades reales de los campesinos, lo que dificulta la adopción de tecnologías que podrían optimizar sus procesos (Álvarez, 2025).

En este contexto, la agricultura familiar, reconocida por su papel fundamental en la seguridad alimentaria, se caracteriza por su gran relevancia. Según Rural Infrastructure and Agro-industries Division (Agricultural Machinery and Infrastructure) AGS in FAO (2020), este tipo de agricultura no solo contribuye al abastecimiento local de alimentos, sino que también protege la biodiversidad y promueve prácticas sostenibles adaptadas a cada territorio. Asimismo, la agricultura familiar fortalece las economías rurales al generar empleo, preservar los conocimientos tradicionales y fomentar el desarrollo comunitario. Así, se convierte en un pilar esencial para alcanzar sistemas alimentarios más resilientes, inclusivos y ambientalmente responsables.

## JUSTIFICACIÓN

El limitado acceso de maquinaria agrícola en el campo colombiano es un problema presente de manera activa que conlleva un gran impacto a la productividad y sostenibilidad de la agricultura, especialmente en pequeños productores. Este sector, el cual tiene una gran importancia en el país, está enfrentando grandes desafíos, debido a la falta de herramientas, oportunidades y/o apoyos adecuados que faciliten las labores diarias de cultivo y cosecha, de acuerdo con Rueda et al. (2021), la concentración de la tierra en América Latina continúa reproduciendo desigualdades históricas, ya que muchas de las políticas agrarias terminan beneficiando desproporcionadamente a un grupo reducido de propietarios, lo que profundiza las brechas en el acceso y uso del suelo. Gran parte de pequeños agricultores y productores carecen de recursos financieros para la adquisición de maquinaria pesada como tractores, lo que a menudo resulta en ineficiencia de tiempo y mayor desgaste físico en las actividades esenciales.

Ante el panorama, el proyecto se justifica por la creciente necesidad de diseñar un sistema de arado mecánico acoplable a motocicletas, esto tomando en cuenta la creciente migración de jóvenes a las ciudades en busca de oportunidades pues según un estudio de Triana et al. (2024) “el 44% de los jóvenes desean emigrar del campo a las ciudades por la alta tasa de modernización limitando la mano de obra”, generando así problemas de mano de obra en zonas rurales, por este motivo y en busca de disminución de uso en recursos se desea usar un elemento tan común en campos como las motos para disminuir un trabajo con tanto esfuerzo físico como el arado. Al aprovechar estos recursos existentes y accesibles, se busca ofrecer a los campesinos alternativas viables que permitan aumentar la productividad, mejorando las actividades agrícolas. De esta forma, el proyecto no solo tiene el potencial para mejorar la eficiencia en el sector, sino que también contribuye al empoderamiento económico de pequeños agricultores, alcanzando una mayor autonomía y sostenibilidad.

Para ello, en el diseño de sistemas agrícolas motorizados con motores de baja cilindrada, la incorporación de una caja reductora resulta fundamental para garantizar la eficiencia operativa. Según el *Manual de Mecánica Agrícola* de Agraria Hurlingham (s. f.), la transmisión y los reductores permiten adecuar la velocidad de avance y el esfuerzo de tracción a las necesidades de cada implemento, optimizando el uso de la potencia del motor y facilitando labores como el arado o la preparación del suelo. Complementariamente, DriveUpgrades (2025) destaca que la reducción de velocidad mediante engranajes incrementa el torque de salida, convirtiendo la potencia generada por un motor pequeño de alta velocidad en fuerza útil para superar resistencias mecánicas significativas, al tiempo que protege el motor frente a picos de carga y mejora la compatibilidad con distintos implementos. De esta manera, la utilización de reductores no solo maximiza el rendimiento mecánico, sino que también permite una operación más segura y controlada en aplicaciones agrícolas.

Llevar este proyecto directamente al campo es de vital importancia, ya que permite acercar soluciones tecnológicas adaptadas a las verdaderas condiciones y necesidades de los agricultores rurales. Muchas innovaciones agrícolas no llegan a ser adoptadas por los campesinos debido a su alto costo, complejidad o falta de acceso a capacitación. Sin embargo, al implementar un sistema de arado mecánico acoplable a motocicletas —vehículos que ya forman parte de la vida cotidiana de muchas comunidades rurales— se facilita su adopción y uso inmediato. Esto no solo mejora la productividad agrícola, sino que también contribuye al bienestar de las familias campesinas al reducir el esfuerzo físico y el tiempo requerido para preparar la tierra. Adicionalmente, al llevar esta solución al terreno, se promueve la apropiación tecnológica por parte de las comunidades, impulsando procesos de innovación local, fortaleciendo la economía rural y fomentando un desarrollo agrícola más equitativo y sostenible.

Además, la implementación de esta solución tecnológica puede tener un impacto positivo en la economía rural, promoviendo la innovación la competitividad en un sector que históricamente ha estado marginado según Amado (2024) “64% de las víctimas de desplazamiento forzoso han sido campesinos” el desamparo se hace más visible cuando tan solo el 9.6 % de todos los productores agropecuarios en el país han recibido apoyo técnico para mejorar el desarrollo y trabajo de sus tierras.

Una mejor accesibilidad a maquinaria agrícola puede se traduce en un aumento de producción de alimentos, algo esencial en la seguridad alimentaria del país. En este sentido el diseño y desarrollo de un sistema de arado mecánico que responda a las necesidades actuales a los campesinos colombianos y se alinean con los objetivos de desarrollo rural sostenible.

Por último, este proyecto no solo aborda un problema inmediato de acceso y eficiencia, sino que también sustenta el enfoque sostenible promoviendo el uso de recursos locales y desarrollo de capacidades dentro de comunidades rurales, mejorando así sus oportunidades y competitividad en las pequeñas escalas de producción agrícola en el país.

## ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS

Para garantizar el éxito del diseño del sistema de arado mecánico acoplable a motocicletas, se han identificado los siguientes requerimientos:

### 1. Requerimientos Funcionales

- ◆ El sistema debe permitir el acople y desacople rápido a motocicletas sin modificaciones estructurales complejas.
- ◆ Debe ser capaz de arar diferentes suelos (arcillosos, arenosos, francos, etc.).
- ◆ Debe permitir ajustes en la profundidad y ancho del arado.
- ◆ El sistema debe ser operado de manera sencilla por un usuario sin conocimientos avanzados en mecánica.

### 2. Requerimientos Técnicos

- ◆ Peso máximo del sistema: No debe exceder los 83 kg para evitar sobrecarga en la motocicleta.
- ◆ Materiales: Acero de alta resistencia para la estructura principal y materiales livianos para componentes secundarios.
- ◆ Potencia mínima requerida: Compatible con motocicletas de al menos 125 cc.
- ◆ Tipo de transmisión: Mediante sistema de engranajes y caja reductora para aumentar el torque.
- ◆ Mecanismo de seguridad: Incorporar un sistema de desacople rápido en caso de emergencias.

### 3. Requerimientos de Usuario

- ◆ Costos de fabricación y mantenimiento accesibles para pequeños agricultores.

- ◆ Diseño ergonómico que facilite la instalación y uso sin requerir herramientas especializadas.

- ◆ Disponibilidad de repuestos en mercados locales.
- ◆ Capacitación mínima requerida para su operación segura.

#### **4. Requerimientos Normativos**

- ◆ Cumplimiento con normativas de seguridad vial y agrícola en Colombia.
- ◆ Diseño alineado con regulaciones ambientales para evitar degradación del suelo.
- ◆ Compatibilidad con políticas de incentivos agrícolas para facilitar su adopción.

#### **5. Requerimientos de Seguridad Mecánica**

- ◆ Todos los componentes estructurales que transmiten fuerza deben soportar la torsión máxima generada durante el arado sin deformarse permanentemente.
- ◆ Aplicar un factor de seguridad  $\geq 1.5-2.0$  para los ejes y soportes.
- ◆ Los elementos sometidos a ciclos repetidos de carga (arado constante) deben diseñarse para resistir fatiga mecánica.
- ◆ El sistema debe incorporar mecanismos que eviten vuelcos del implemento o de la motocicleta y protejan al operador ante cargas inesperadas.
- ◆ La estructura debe contar con perfiles y refuerzos capaces de absorber impactos sin deformación crítica.
- ◆ Mantener el centro de gravedad bajo para garantizar estabilidad.
- ◆ Los componentes críticos deben tener acceso fácil para inspección de desgaste, mantenimiento y lubricación, previniendo grietas o deformaciones.

## MARCO TEÓRICO

La labranza es el conjunto de operaciones destinadas a aflojar, airear y preparar el suelo para la siembra. Según Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2011; 2014), la labranza primaria comprende labores de volteo y rompimiento inicial del suelo, mientras que la labranza secundaria se enfoca en el refinamiento de la cama de siembra. Ambos procesos requieren un adecuado análisis de eficiencia y de las condiciones físicas del terreno. Asimismo, Srivastava et al. (2006) destacan que el requerimiento de potencia para arado depende del tipo de suelo, su humedad y la profundidad de trabajo, lo cual es clave para establecer la viabilidad de un sistema accionado por motocicleta. Además, Gómez y Rivas (2019) subrayan la importancia de considerar la ergonomía y el esfuerzo físico en labores agrícolas tradicionales, lo que refuerza la necesidad de soluciones mecánicas que reduzcan la carga sobre el agricultor.

Por otro lado, el proyecto de Morales (2015) proporciona información necesaria sobre el funcionamiento del arado y los tipos más usados en pequeñas explotaciones, como los arados de cincel y los arados de discos. Para comprender el diseño mecánico de estos sistemas, Kepner et al. (2013) explican que cada tipo de arado requiere una fuerza de tiro específica determinada por la resistencia al corte del suelo y el ángulo de penetración. Además, el documento de Leap (2017) ofrece información complementaria sobre técnicas de labranza, formación de camas y preparación del suelo en agricultura sustentable.

A nivel global, investigaciones recientes sobre mecanización apropiada en los años 2022 y 2025, destacan la necesidad de diseñar herramientas de bajo costo, energéticamente eficientes y escalables para pequeños agricultores.

En este contexto, para lograr el acoplamiento eficiente entre la motocicleta y el sistema de arado, es esencial comprender los principios de transmisión mecánica. La función del torque, las curvas de potencia y la relación entre velocidad y fuerza traccionada son tratadas ampliamente en

la literatura de diseño mecánico (Shigley, 2015). El sistema de piñonería y caja reductora en el presente proyecto busca transformar la velocidad angular de la motocicleta en un par elevado a bajas velocidades, permitiendo superar pendientes y terrenos difíciles, como se plantea en estudios recientes de maquinaria agrícola compacta (FAO AGS, 2020; Gopinath Kasal et al., 2025).

La implementación de motocicletas como fuente de tracción no es nueva. En Asia, la FAO (2001) documenta experiencias exitosas con moto implementos y equipos agrícolas ligeros adaptados a motocicletas y motobombas, generando alternativas accesibles para pequeños productores. Asimismo, en Colombia, la iniciativa del Moto-tractor demuestra la viabilidad técnica y económica de acoplar implementos agrícolas a motocicletas. Estas propuestas presentan beneficios como reducción de costos operativos, mayor accesibilidad y adaptabilidad a zonas rurales apartadas (Universidad Nacional de Colombia [UNAL], 2021).

Por su parte, estudios recientes sobre mecanización en pequeños sistemas agrícolas entre los años 2020, 2022, 2025 muestran que estas tecnologías son especialmente efectivas cuando se priorizan soluciones “escala-apropiada”, de bajo costo y con altos niveles de adaptabilidad.

Por último, en Colombia, los pequeños agricultores enfrentan una profunda brecha tecnológica en acceso a maquinaria, debido a los altos costos de adquisición y el acceso limitado a crédito (DANE, 2014; Corral, 2016). La mayoría depende de labores manuales que generan sobrecarga física y aumentan los tiempos de trabajo.

El dispositivo de arado mecánico propuesto busca responder a esta problemática mediante una solución económica, accesible y adaptable a recursos disponibles como las motocicletas, muy comunes en zonas rurales. Esto se alinea con recomendaciones de la FAO (2014) sobre eficiencia laboral y estrategias para mejorar la productividad en pequeña agricultura.

## ANÁLISIS DE RESTRICCIONES

En el desarrollo de soluciones tecnológicas para contextos rurales, identificar y anticipar restricciones no solo es esencial para la viabilidad del diseño, sino también para asegurar su adopción por parte de la comunidad. Este análisis contempla factores técnicos, económicos, ambientales y socioculturales que condicionan el uso eficiente y sostenible del sistema de arado acoplable a motocicletas.

En este sentido, se contemplan restricciones que permitan al diseño responder a criterios de bajo costo, eficiencia, accesibilidad y adaptabilidad. A continuación, se describen las principales:

### 1. Restricciones Ambientales

**Impacto en el suelo:** Se debe garantizar que el sistema de arado no cause erosión ni degrade la calidad del suelo, evitando prácticas de labranza excesiva. En Colombia, la delimitación y protección de páramos y otras áreas sensibles ha generado debates y protestas por parte de comunidades campesinas y mineras. Es fundamental considerar estas normativas para asegurar que el proyecto no afecte zonas protegidas. (Stacey, 2024)

**Normativas ambientales:** Cumplimiento con regulaciones sobre conservación del suelo y uso de maquinaria agrícola en zonas protegidas.

**Emisiones y contaminación:** Si el sistema de arado incrementa significativamente el consumo de combustible de la motocicleta, podría generar un impacto ambiental mayor al esperado.

### 2. Restricciones Económicas

**Costo de producción:** El diseño debe ser accesible para pequeños agricultores, evitando materiales costosos o difíciles de conseguir.

Disponibilidad de financiamiento: Acceso a subsidios o créditos agrícolas que faciliten la adopción del sistema por parte de los usuarios finales. Por ejemplo, el Gobierno Nacional, a través de Prosperidad Social, ofrece programas como la Renta Ciudadana, que brinda pagos de hasta 500 mil pesos cada 45 días a hogares en situación de vulnerabilidad. Estos programas pueden ser una fuente de financiación o apoyo para pequeños agricultores interesados en implementar nuevas tecnologías agrícolas. (Jcarreno, 2025)

Costo de mantenimiento: Debe garantizarse que las reparaciones y repuestos sean asequibles y de fácil acceso en el mercado local.

### **3. Restricciones Legales**

Normativas de seguridad vial y agrícola: El sistema debe cumplir con regulaciones para evitar accidentes en carretera o durante su uso en el campo.

Uso del suelo: En algunas regiones pueden existir restricciones sobre el tipo de maquinaria permitida para cultivos específicos.

Patentes y derechos de propiedad: Se debe verificar que el diseño no infrinja patentes existentes que puedan limitar su fabricación o comercialización y a su vez revisar los cambios año a año. La ministra de Agricultura, Martha Carvajalino, ha enfatizado la importancia de la reforma agraria y la redistribución de tierras para promover la paz y el desarrollo en Colombia. Estas políticas pueden influir en la disponibilidad y uso de tierras para proyectos agrícolas (Hernández, 2025).

### **4. Restricciones de Salud y Seguridad**

Riesgos laborales: El sistema debe diseñarse con mecanismos de seguridad para evitar accidentes como atrapamientos, vuelcos o sobreesfuerzo del operador.

Condiciones ergonómicas: Debe garantizarse que el sistema no genere impactos negativos en la postura o la salud del usuario.

Riesgos mecánicos: Implementación de sistemas de desacople rápido y frenos de emergencia en caso de fallos.

Prácticas agrícolas sostenibles: Iniciativas como la implementada en la Hacienda San José demuestran la importancia de adoptar prácticas sostenibles que reduzcan la huella de carbono y mejoren la biodiversidad. Integrar sistemas silvopastoriles y técnicas de agricultura regenerativa puede ser esencial para garantizar la seguridad y salud en el entorno agrícola. (Riviera, 2024)

## **5. Restricciones Socioculturales**

Aceptación por parte de los agricultores: El sistema debe adaptarse a las necesidades y costumbres de los pequeños productores, evitando cambios radicales en sus prácticas agrícolas.

Disponibilidad de capacitación: Si el sistema requiere un aprendizaje complejo, su adopción puede verse limitada en comunidades con baja formación técnica.

Influencia de tradiciones agrícolas: En algunas regiones, el uso de tecnologías innovadoras puede ser rechazado si entra en conflicto con métodos tradicionales de cultivo.

## **METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL PROTOTIPO**

Para abordar el desarrollo del prototipo, es fundamental diseñar un sistema de arado adaptable a distintos tipos de suelo, utilizando materiales resistentes pero livianos que optimicen el rendimiento sin sobrecargar la motocicleta. Además, se pueden realizar pruebas en diversos materiales para ajustar el diseño y garantizar su eficiencia. Para evitar daños mecánicos en la motocicleta, se podría incorporar un sistema de transmisión eficiente que reduzca la carga sobre el motor, como un mecanismo de reducción de fuerza o un sistema de arrastre independiente. En cuanto a la seguridad, el diseño debe incluir soportes y estructuras de estabilidad que minimicen el riesgo de accidentes. Para reducir costos, se pueden emplear materiales reciclados o de fabricación local, facilitando también su mantenimiento. La capacitación y sensibilización de los agricultores será clave para lograr la aceptación del sistema, por lo que es recomendable desarrollar manuales de uso sencillos y realizar talleres prácticos en las comunidades rurales. Además, establecer alianzas con cooperativas agrícolas o entidades gubernamentales podría facilitar el acceso a financiamiento y asistencia técnica. Finalmente, para cumplir con las regulaciones vigentes, sería importante trabajar con ingenieros y autoridades locales que garanticen la viabilidad legal del proyecto y gestionen permisos si fueran necesarios.

## ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis de costos permite establecer la viabilidad económica del sistema de arado mecánico acoplable a motocicletas, evaluando los recursos materiales, humanos y técnicos necesarios para su fabricación. El objetivo es diseñar un sistema asequible para pequeños productores rurales, sin sacrificar la funcionalidad ni la durabilidad del producto.

A continuación, se presenta una estimación de costos dividida por categorías principales:

### 1. Costos de Materiales

**Tabla 1**

*Costos de los materiales en pesos colombianos*

Componente	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Subtotal
Tubo cuadrado de 1" y calibre 14	Estructura del chasis del arado	6 m	\$ 31.900	\$ 191.400
Cuchillas de arado	Elemento de labranza	3 u	\$ 66.460	\$ 199.380
Tornillería y fijaciones	Ensamblaje de componentes	Varios	\$ 8.000	\$ 8.000
Pintura electrostática	Protección de materiales	15 kg	\$ 10.800	\$ 162.000
Soportes/adaptadores metálicos	Para el acople a la motocicleta	2 u	\$ 25.000	\$ 50.000
Eje de transmisión diferencial	Transfiere fuerza del caballete al arado	1 u	\$ 1.525.149	\$ 1.638.127 <i>(incluye envío)</i>
Llantas	Elemento de movilidad	2 u	\$ 103.400	\$ 206.800
Rines	Estructura para montaje de llantas	2 u	\$ 399.900	\$ 799.800

---

Costo total	\$ 3.255.507
-------------	--------------

---

*Nota.* Costos estimados de los materiales simulados para el sistema de arado. Elaboración propia.

## 2. Costos de Mano de Obra

**Tabla 2**

*Costos de mano de obra en pesos colombianos*

Actividad	Tiempo estimado	Tarifa (COP) por hora	Subtotal (COP)
Diseño y prototipado	40 horas	\$25.000	\$1.000.000
Corte y soldadura	15 horas	\$30.000	\$450.000
Ensamblaje final	6 horas	\$25.000	\$150.000
Subtotal mano de obra			\$1.600.000

*Nota.* Costos estimados basados en el tiempo requerido para cada actividad y tarifas promedio de trabajos similares. Elaboración propia.

## 3. Costos Indirectos

**Tabla 3**

*Costos indirectos en pesos colombianos*

Elemento	Costo estimado (COP)
Herramientas y equipos menores (depreciación)	\$50.000
Transporte de materiales	\$30.000
Energía eléctrica	\$20.000
Subtotales indirectos	\$100.000

*Nota.* Valores estimados de los gastos indirectos asociados al desarrollo del sistema. Elaboración propia.

#### 4. Costo Total Estimado del Prototipo

**Tabla 4**

*Costos totales en pesos colombianos*

Categoría	Subtotal (COP)
Materiales	\$3.255.507
Mano de obra	\$1.600.000
Costos indirectos	\$100.000
Total	\$4.955.507

*Nota.* Suma de los costos de materiales, mano de obra y costos indirectos presentados en las tablas anteriores.

El costo estimado de fabricación del prototipo es de **\$ 4.955.507 COP**, lo que lo convierte en una alternativa competitiva frente a equipos de labranza tradicionales motorizados, los cuales no solo tienen un costo inicial similar o superior a los **\$5.000.000 COP**, sino que además requieren combustible y mantenimiento especializado. En cambio, este sistema tiene el potencial de reducir costos operativos al ser acoplable a una motocicleta sin quitarle funcionalidad, ya que utiliza una herramienta que el campesino ya posee, sin necesidad de adquirir maquinaria pesada adicional.

En fases futuras, una producción a mayor escala permitiría reducir aún más los costos unitarios mediante compras por volumen y optimización de procesos.

## DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROTOTIPO

El diseño del sistema de arado mecánico acoplable a motocicletas fue desarrollado mediante la herramienta de diseño asistido por computador (CAD), *SolidWorks*, permitiendo realizar el modelado 3D, análisis de ensamblajes y simulaciones estructurales para validar la viabilidad del diseño.

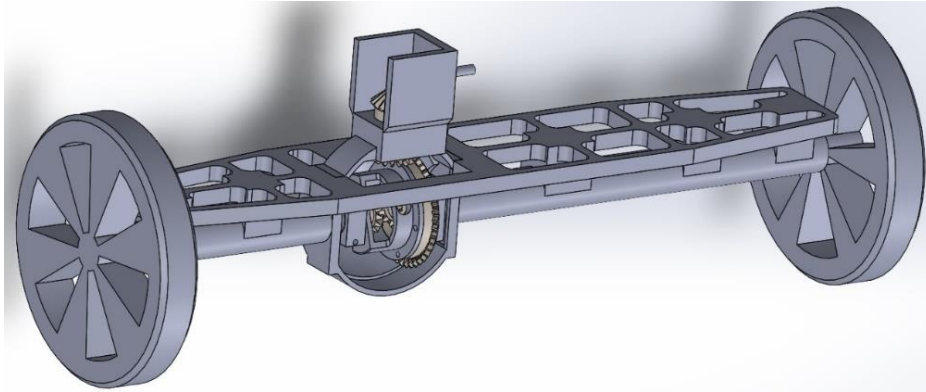
Además, *SolidWorks* permite comparar distintos tipos de materiales según sus propiedades mecánicas (como resistencia, peso, elasticidad, etc.), lo cual facilita la selección del material más adecuado para cada componente, garantizando un equilibrio entre costo, durabilidad y funcionalidad del sistema.

Inicialmente, se identificó que no era viable acoplar el sistema directamente al plato de la motocicleta. En su lugar, se optó por un sistema de transmisión mediante la cadena conectado a un caballete que se ubica en la parte trasera de la moto. La parte delantera del sistema de la moto permanece en contacto con el suelo. Finalmente, la cadena se acopla al plato.

Por otro lado, se ubicó el diferencial del caballete en el centro. Sin embargo, gracias a las observaciones y el acompañamiento del docente, se determinó que debía moverse hacia la izquierda, permitiendo que la motocicleta se mantuviera centrada. También, se instalaron llantas grandes en el caballete para soportar el peso de la motocicleta. Pero, se reemplazaron por llantas más pequeñas con el fin de reducir el arrastre. Teniendo en cuenta todas estas modificaciones finales, el caballete se puede observar en la siguiente ilustración:

## Figura 1

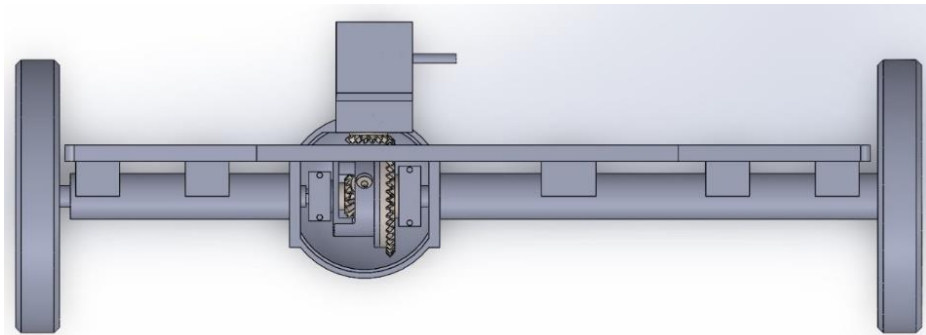
*Diseño del caballete*



*Nota.* Elaboración propia, hecha en SolidWorks.

## Figura 2

*Diseño del caballete en 2D*



*Nota.* Elaboración propia, hecha en SolidWorks.

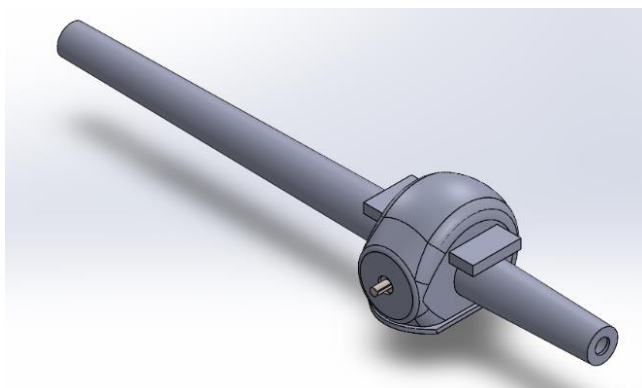
Para entender mejor su funcionamiento a continuación se explicará pieza a pieza.

### 1. DIFERENCIAL

El diferencial está integrado por la corona, el piñón de ataque, los ejes satélites y los ejes planetarios.

### Figura 3

#### *Diferencial*



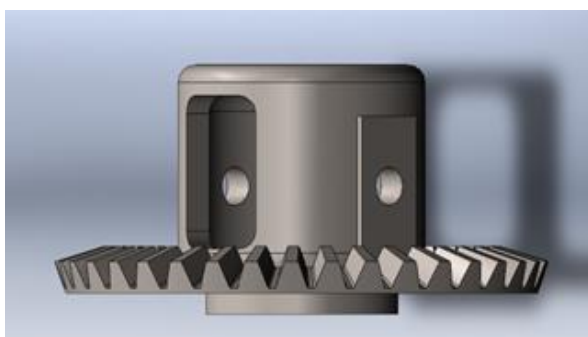
*Nota.* Elaboración propia, hecha en SolidWorks.

#### 1.1. CORONA

La corona es la responsable de recibir la fuerza del piñón de ataque o de entrada y a su vez, transferirlo a los ejes planetarios que llevarán la fuerza a los ejes de salida.

### Figura 4

#### *Corona*



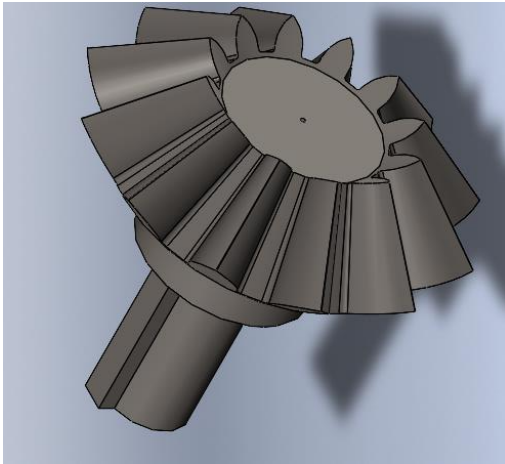
*Nota.* Elaboración propia, hecha en SolidWorks.

#### 1.2. PIÑÓN DE ATAQUE

El piñón de ataque recibe la fuerza motriz del motor, en este caso de la motocicleta, y es lo transfiere directamente a la corona, cambiando la dirección de giro y velocidad del movimiento.

**Figura 5**

*Piñón de ataque*



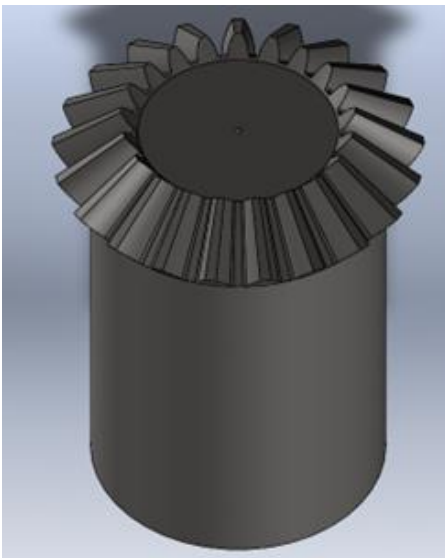
*Nota.* Elaboración propia, hecha en SolidWorks.

### 1.3. EJES PLANETARIOS

Los ejes planetarios transmiten el movimiento a las ruedas a través de los ejes laterales, se necesita de uno para cada rueda.

**Figura 6**

*Ejes planetarios*



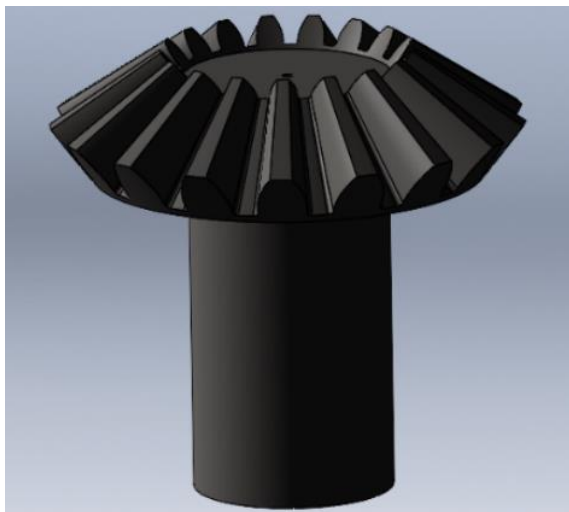
*Nota.* Elaboración propia, hecha en SolidWorks.

#### 1.4. EJES SATÉLITES

Los ejes satélites permiten la diferencia de velocidad entre las ruedas, esto mediante el giro de este cuando alguna de las llantas gira a diferente velocidad o se encuentre bloqueada.

**Figura 7**

*Ejes satélites*



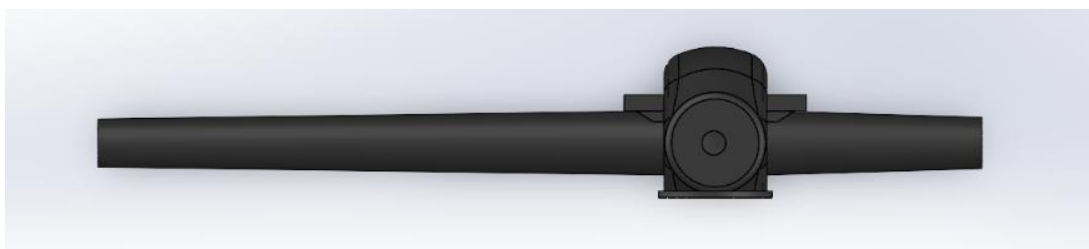
*Nota.* Elaboración propia, hecha en SolidWorks.

#### 1.5. CARCASA

La carcasa aloja los engranajes internos (satélites y planetarios) y está unida a la corona, así como también soporta todos los componentes y mantiene todo alineado.

**Figura 8**

*Carcasa*



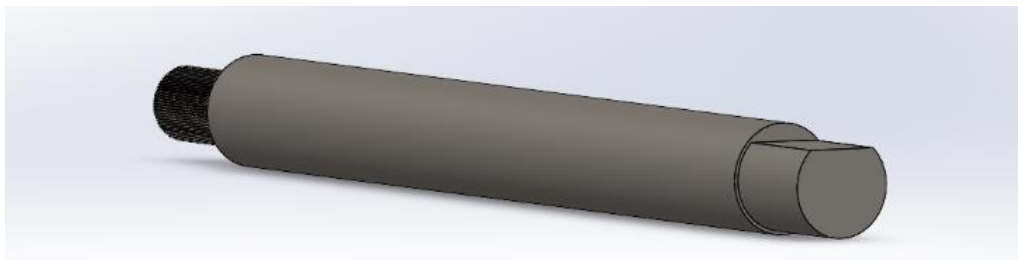
*Nota.* Elaboración propia, hecha en SolidWorks.

## 1.6. FLECHAS

Las flechas conectan el diferencial a las ruedas motrices. Transmiten el par motor directamente del diferencial a las ruedas.

### **Figura 9**

*Flechas*



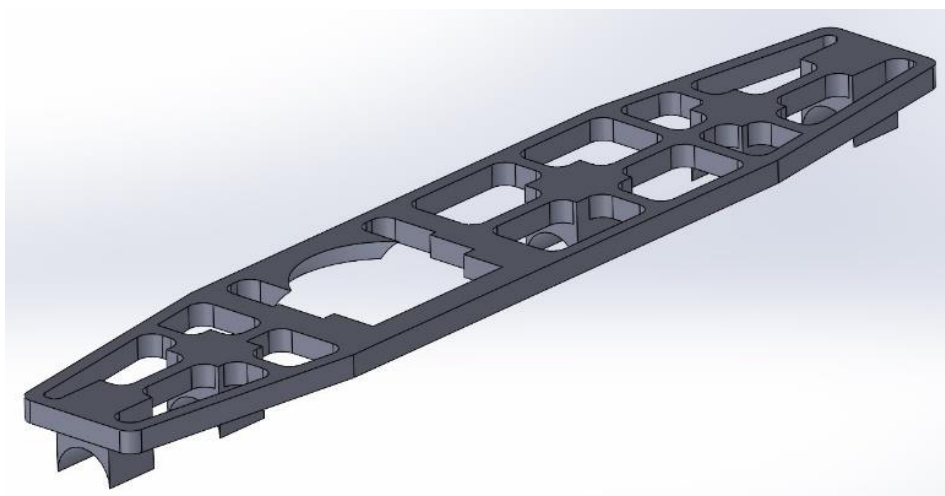
*Nota.* Elaboración propia, hecha en SolidWorks.

## 2. CHASIS

En el chasis es donde se va a alojar todo el sistema y quien recibirá todo el peso tanto de la motocicleta, como de quien la opere.

### **Figura 10**

*Chasis*



*Nota.* Elaboración propia, hecha en SolidWorks.

Para cada pieza se especificará el material en la siguiente tabla:

**Tabla 5**

*Materiales de los componentes*

Componente	Material	Justificación Técnica
Chasis	<i>Coll rolled</i>	Resistencia y economía
Engranajes	Acero aleado fundido	Resistencia a torsión y desgaste
Carcasa	Hierro fundido	Buena relación peso-resistencia,
Llantas del caballete	Caucho con rin metálico	Baja resistencia al rodamiento, buena tracción

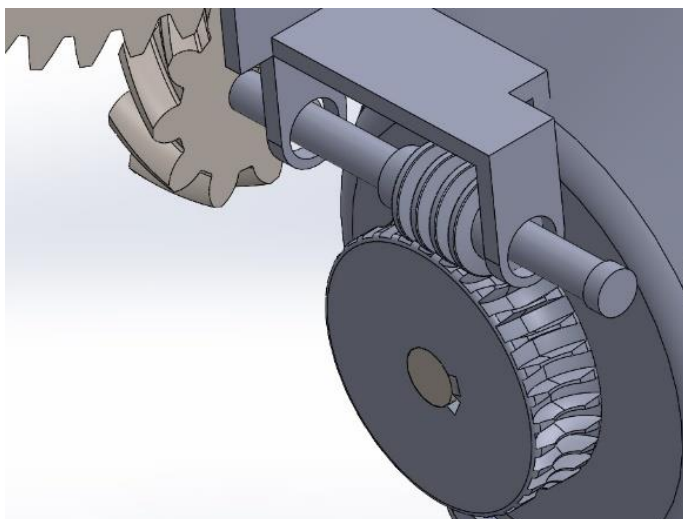
*Nota.* Los materiales seleccionados se basan en criterios de resistencia mecánica, durabilidad, disponibilidad en el mercado y relación costo-beneficio para el diseño del sistema de arado.

Elaboración propia.

El sistema de transmisión del prototipo fue diseñado para transformar la velocidad de rotación de la motocicleta en un par de fuerza adecuado para labores de labranza. La relación primaria entre la rueda trasera de la motocicleta y el diferencial es de 13:38, lo que significa que por cada 2.9 vueltas de la llanta, el diferencial realiza una vuelta completa. Adicionalmente, se implementó un sistema de piñones helicoidales con una relación de 10:35, y una relación de corona de 12:1, lo cual permite una importante reducción de velocidad acompañada de un aumento significativo en el torque transmitido. Esta configuración es ideal para operaciones en suelos medianamente compactados, garantizando tracción y eficiencia sin comprometer la integridad mecánica del sistema.

## Figura 11

### *Piñones helicoidales del caballete*



*Nota.* Elaboración propia, hecha en SolidWorks.

Más allá del desarrollo técnico, el diseño está optimizado para motocicletas utilitarias de 125cc a 150cc, que son ampliamente utilizadas en zonas rurales del país. Una de sus ventajas es que no requiere modificaciones permanentes en la estructura de la motocicleta, lo que facilita su instalación, mantenimiento o eventual desmontaje. Además, se ha incorporado un mecanismo de desacople rápido, pensado para facilitar maniobras de emergencia, mantenimiento o transporte del sistema sin riesgo para el operador o el vehículo.

Finalmente, el sistema fue concebido para ser instalado y operado por una sola persona, sin necesidad de herramientas especializadas. Su diseño busca adaptarse a las capacidades técnicas del usuario promedio en el entorno rural. Se plantea como parte del desarrollo futuro la elaboración de un manual de instalación y operación ilustrado, que facilite la comprensión del montaje y uso del sistema, incentivando así su adopción en comunidades campesinas.

## SIMULACIÓN Y PRUEBAS

Para validar el comportamiento estructural y mecánico del prototipo, se realizaron simulaciones mediante *SolidWorks Simulation*, aplicando cargas representativas de las condiciones reales en el campo. Se consideró una carga promedio de 20 Nm para componentes de transmisión y una carga superior de 98 Nm para elementos estructurales.

### ESCENARIO DE SIMULACIÓN Y PRUEBAS

Se desarrollaron distintos tipos de estudios según la función de cada componente:

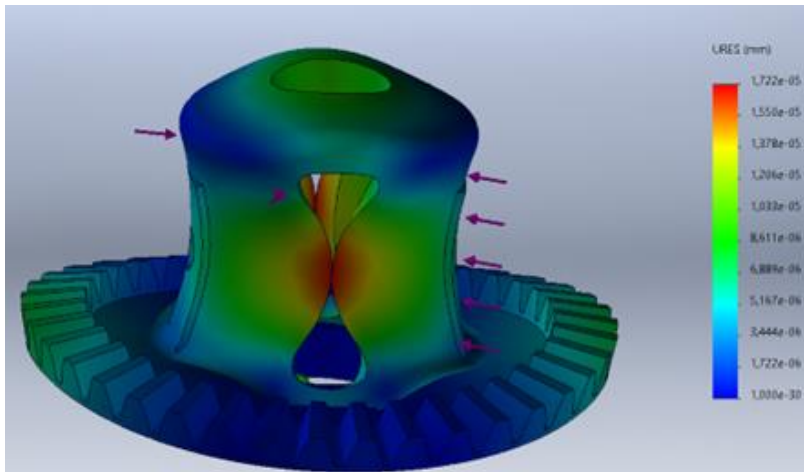
- **Análisis de torsión:** aplicado a los elementos de transmisión como los piñones helicoidales, la corona, y los ejes planetarios y satélites, con el fin de evaluar la deformación bajo el par motriz entregado por la motocicleta.
- **Análisis de compresión y tracción:** realizado en la carcasa del diferencial, para examinar su comportamiento ante fuerzas internas de sujeción y esfuerzo por confinamiento.
- **Análisis combinado de cargas y esfuerzos:** aplicado al **chasis general**, considerando su exposición a fuerzas de peso, vibración, torsión y reacción del terreno, simulando el uso prolongado sobre superficies irregulares.

## EJECUCIÓN DE LAS PRUEBAS

### *PRUEBAS EN EL DIFERENCIAL*

**Figura 12**

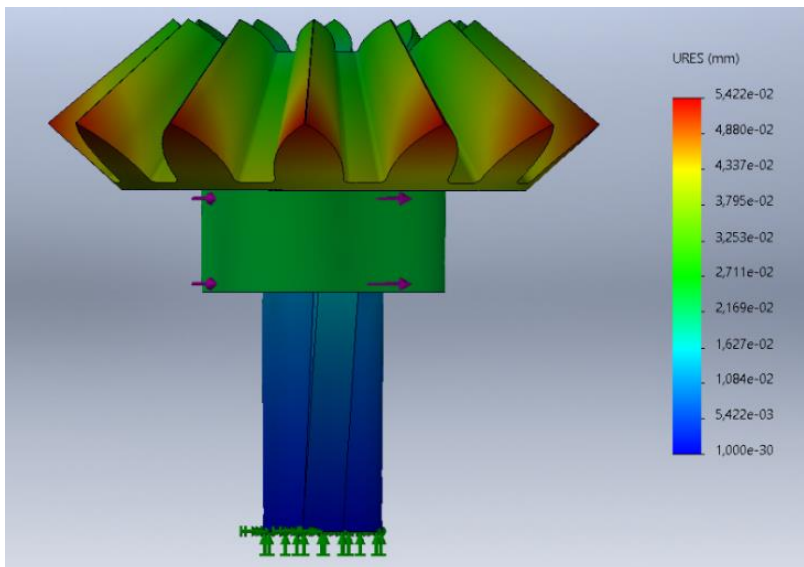
*Prueba de torsión a la corona*



*Nota.* Elaboración propia, hecha en SoldWords.

**Figura 13**

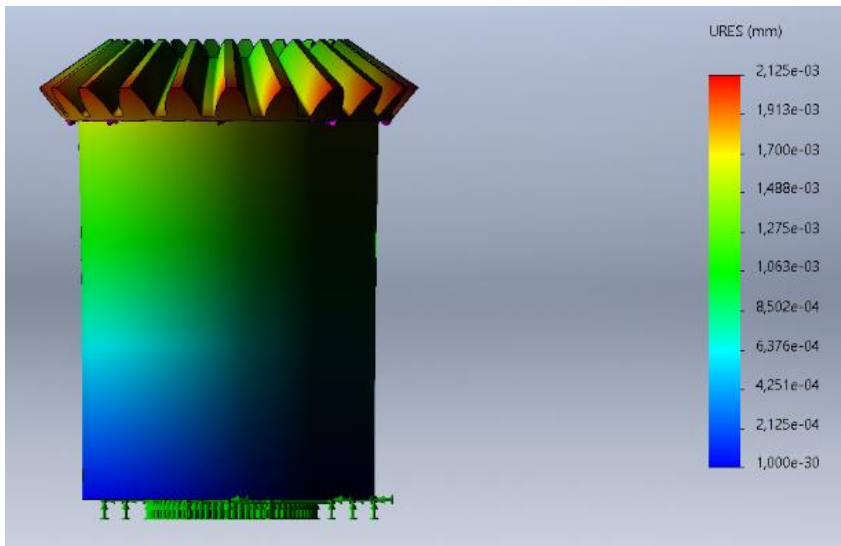
*Prueba de torsión al piñón de ataque*



*Nota.* Elaboración propia, hecha en SoldWords.

**Figura 14**

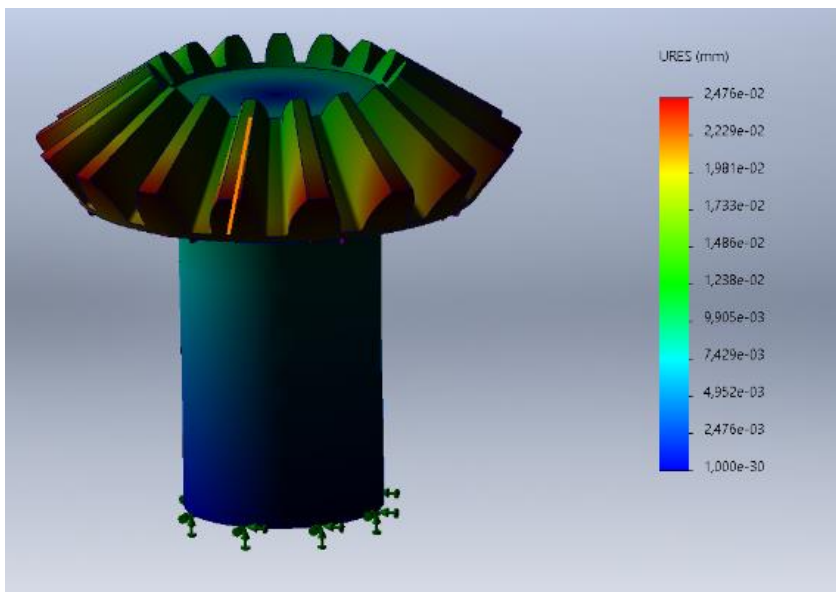
*Prueba de torsión a los ejes planetarios*



*Nota.* Elaboración propia, hecha en SoldWords.

**Figura 15**

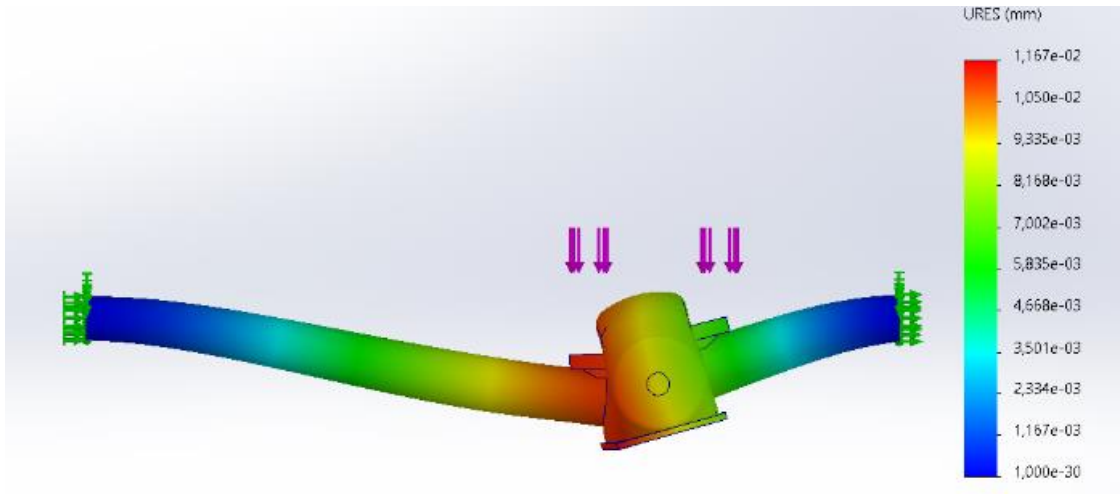
*Prueba de torsión a los ejes satélites*



*Nota.* Elaboración propia, hecha en SoldWords.

**Figura 16**

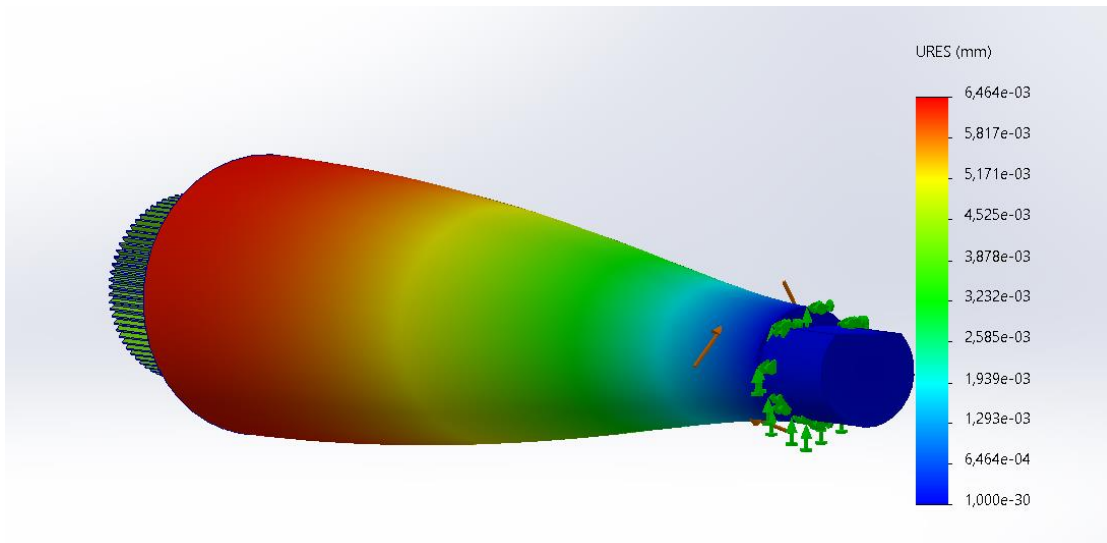
*Prueba de compresión y tensión a la carcasa*



*Nota.* Elaboración propia, hecha en SoldWords.

**Figura 17**

*Prueba de torsión a las flechas*

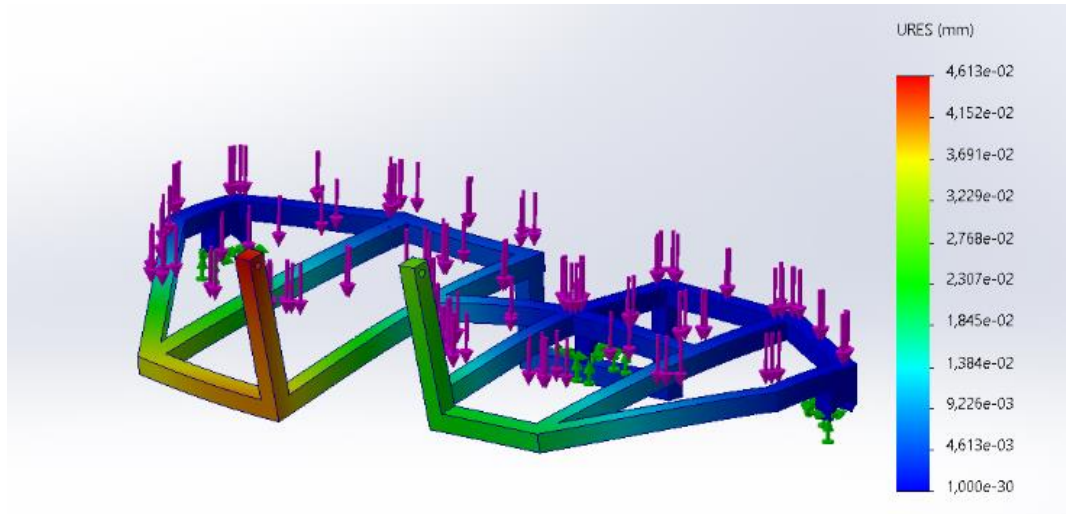


*Nota.* Elaboración propia, hecha en SoldWords.

## *PRUEBAS AL CHASIS*

**Figura 18**

*Prueba de cargas y sujeciones al chasis*



*Nota.* Elaboración propia, hecha en SoldWords.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### RESULTADO DE PRUEBAS AL DIFERENCIAL

**Tabla 6**

*Resultados de las pruebas*

Componente	Tipo de carga	Deformación promedio (mm)	Deformación crítica (mm)
Corona	Torsión (20 Nm)	$1.26 \times 10^{-6}$	$1.72 \times 10^{-5}$
Piñón de ataque	Torsión (20 Nm)	0.0032	0.0054
Ejes planetarios	Torsión (20 Nm)	0.00163	0.002125
Ejes satélites	Torsión (20 Nm)	0.0148	0.0247
Carcasa diferencial	Compresión (98 Nm)	0.0816	0.0167
Flechas	Torsión (20 Nm)	0.00322	0.0064

*Nota.* Las deformaciones fueron obtenidas mediante simulación por elementos finitos bajo condiciones de carga controladas, usando materiales y geometrías definidos en el diseño preliminar. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos demuestran que todas las deformaciones estructurales se mantienen dentro del límite elástico de los materiales seleccionados. El sistema diseñado cumple con los requisitos mecánicos y operacionales para su uso en labores agrícolas básicas, validando su viabilidad técnica y estructural.

### RESULTADO DE PRUEBAS DEL CHASIS

Para el caso del chasis, se sometió a una carga de 200 Nm, y este mostró que el promedio de deformación es de 0.0276mm y en sus partes críticas la deformación llegó a 0.0461mm.

## CONCLUSIONES

El desarrollo del sistema de arado mecánico acoplable a motocicletas demuestra que es posible diseñar soluciones tecnológicas accesibles y funcionales para los pequeños productores rurales en Colombia. A través del uso de herramientas como SolidWorks, se logró validar el diseño mediante simulaciones y análisis de materiales, optimizando tanto la resistencia como la funcionalidad del prototipo.

El análisis de costos refleja que este sistema tiene un alto potencial de escalabilidad, con un costo total de fabricación cercano a los \$684.000 COP, muy inferior al de maquinaria agrícola tradicional. Esto lo convierte en una alternativa viable y económica, sin comprometer la calidad ni la seguridad en su uso.

Durante el proceso de prototipado, se identificaron y resolvieron desafíos importantes, como el diseño del sistema de transmisión y la ubicación del diferencial. Estas mejoras incrementaron la eficiencia del sistema y su adaptabilidad a distintos tipos de terrenos.

Adicionalmente, se proponen alternativas para fortalecer la implementación del proyecto, como el uso de materiales reciclados o locales, la capacitación a los usuarios finales y la colaboración con entidades públicas o privadas para facilitar el financiamiento y la adopción de esta tecnología.

En suma, el proyecto no solo aporta una solución práctica al problema del acceso limitado a maquinaria agrícola, sino que también promueve una agricultura más equitativa, inclusiva y sostenible, respondiendo a los retos sociales, económicos y ambientales del contexto rural colombiano.

## RECOMENDACIONES

Comentarios de los jurados:

Lina Chacón:

Es importante hacer pruebas de validación para poder evidenciar la funcionalidad. porque el diseño es bueno y es interesante. Es importante también cuando un diseño es una mejora de otro existente, hablar con las partes interesadas para entender por qué se hacen las cosas de la manera inicial.

## REFERENCIAS

Agraria Hurlingham. (s.f.). Manual de mecánica agrícola. *Departamento de Mecánica Agrícola*.

[https://www.agrariahurlingham.com.ar/alumnos/3\\_mecanicaagricola\\_manual.pdf](https://www.agrariahurlingham.com.ar/alumnos/3_mecanicaagricola_manual.pdf)

Álvarez Ochoa, C. P., Correa Assmus, G., Ángel Matiz, J. D., Regino Vergara, J., Cordero Sáenz,

N., Suárez Bocanegra, P. M. & Vergara Vergara, W. (2025). Los agronegocios y sus transiciones hacia la sostenibilidad. Universidad de La Salle. Ediciones Unisalle.

<https://doi.org/10.19052/9786287645745>

Amado, G. A. (2024). *El olvido del campo y sus repercusiones en la prosperidad nacional*.

ANeIA <https://aneia.uniandes.edu.co/el-olvido-del-campo-y-sus-repercusiones-en-la-prosperidad-nacional/>

Chaparro Bohórquez, C. C. (2025). *Diagnosticar la implementación de la Industria 4.0 en el*

*modelo agrícola de pequeños y medianos cultivadores en Colombia*. [Tesis de grado,

Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional Universidad

Distrital. [https://repository.udistrital.edu.co/items/d7d36849-3986-41a6-b853-](https://repository.udistrital.edu.co/items/d7d36849-3986-41a6-b853-e9393f4951c4)

[e9393f4951c4](https://repository.udistrital.edu.co/items/d7d36849-3986-41a6-b853-e9393f4951c4)

Comaderas. (s.f.). *Tubo cuadrado 1 x 1" C22*. Recuperado el 8 de abril del 2025.

<https://www.comaderas.com/tubo-cuadrado-1-x-1-c22>

Corporacion Comatpe. (s. f.). *PINTURA (TE) MULTICOLOR NB NEGRO RAL 9005 EP*

*GOFRADO M14554 25 KG - ComatpE*. Comatpe. Recuperado el 8 de abril del 2025.

[https://corporacioncomatpe.com/producto/pintura-te-multicolor-nb-negro-ral-9005-ep-](https://corporacioncomatpe.com/producto/pintura-te-multicolor-nb-negro-ral-9005-ep-gofrado-m14554-25-kg/)

[gofrado-m14554-25-kg/](https://corporacioncomatpe.com/producto/pintura-te-multicolor-nb-negro-ral-9005-ep-gofrado-m14554-25-kg/)

Corral, M.P. (2016). *¿Qué dijo el Censo Agropecuario sobre el uso de maquinaria en el campo?*

Sociedad de agricultores Colombia. [https://sac.org.co/que-dijo-el-censo-agropecuario-](https://sac.org.co/que-dijo-el-censo-agropecuario-sobre-el-uso-de-maquinaria-en-el-campo/)

[sobre-el-uso-de-maquinaria-en-el-campo/](https://sac.org.co/que-dijo-el-censo-agropecuario-sobre-el-uso-de-maquinaria-en-el-campo/)

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2014). *Censo Nacional Agropecuario 2014*. DANE. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014>
- DriveUpgrades. (2025). *Gear reduction: The unsung hero of mechanical power transmission*. DriveUpgrades.org. <https://driveupgrades.org/gear-reduction-the-unsung-hero-of-mechanical-power-transmission/>
- eBay. (s. f.). *30" 34" 40" Rear Differential Axle Kit 72v 1500W Motor for ATV Go kart Tricycle* | eBay. Recuperado el 8 de abril del 2025. [https://www.ebay.com/itm/226112089347?chn=ps&mkevt=1&mkcid=28&google\\_free\\_listing\\_action=view\\_item](https://www.ebay.com/itm/226112089347?chn=ps&mkevt=1&mkcid=28&google_free_listing_action=view_item)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (s. f.). *Agricultura familiar*. FAO. <https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1619244>
- FAO. (s. f.). *Mecanización agrícola sostenible – Producción de cultivos*. FAO. <https://www.fao.org/sustainable-agricultural-mechanization/guidelinesoperations/cropproduction/es/>
- FAO. (2001). *Small-scale mechanization for low-income farmers*. FAO.
- FAO. (2014). *Small-scale agriculture and farm labor efficiency*. FAO.
- FAO. (2011). *Soil tillage and crop establishment*. FAO.
- Gómez, L., & Rivas, P. (2019). Ergonomía y desempeño físico en labores agrícolas tradicionales. *Revista Latinoamericana de Agroingeniería*, 12(3), 45–59.
- Gopinath Kasal, Y., Singh, S. y Khan, S. (2025). Scale-appropriate mechanization: A review of lowcost, energy-efficient farm machinery solutions for smallholder farmers. *International Journal of Agriculture and Nutrition*, 7(11): 22-23. <https://www.doi.org/10.33545/26646064.2025.v7.i11a.309>

- Hernández Bonilla, J. M. (2025). Martha Carvajalino, ministra de Agricultura de Colombia: “El Gobierno Petro no ha hecho una sola expropiación agraria, aunque podría”. *El País*.  
<https://elpais.com/america-colombia/2025-03-11/martha-carvajalino-ministra-de-agricultura-de-colombia-el-gobierno-petro-no-ha-hecho-una-sola-expropiacion-agraria-aunque-podria.html>
- Jcarreno. (2025). *Así puede saber si recibirá los \$500 mil por subsidio en marzo; link de consulta*. Tropicana Colombia. <https://www.tropicanafm.com/2025/asi-puede-saber-si-recibira-los-500-mil-por-subsidio-en-marzo-link-de-consulta-430320.html>
- Kepner, R., Bainer, R., & Elfred, E. (2013). *Principles of farm machinery* (3a ed.). AVI Publishing.
- Leap, Jim. (2017). *Técnicas de labranza, formación de camas, y siembra en humedad: Una guía para agricultores principiantes de cultivos especializados*. UC Santa Cruz.  
<https://escholarship.org/content/qt2qd1t1bt/qt2qd1t1bt.pdf?v=lg>
- Mercado Libre. (s. f.). *RIN delantero Platino 100 / 110 trit / Boxer CT 100 Titanium*. Recuperado el 8 de abril del 2025. [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1491710165-rin-delantero-platino-100-110-trit-boxer-ct-100-titanium-\\_JM#source=shopping\\_car](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1491710165-rin-delantero-platino-100-110-trit-boxer-ct-100-titanium-_JM#source=shopping_car)
- Morales Zapata, O. S. (2015). *Diseño de un sistema de arado para la preparación del suelo en cultivos orgánicos dirigido a pequeños agricultores* [Trabajo opción de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio UMNG.  
<https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/8e9babd8-ca93-47bb-9bcd-0aa0f16ddc13/content>
- Motorepuestos. (s. f.). *Llanta para Moto Timsun 275-17 | Motorepuestos*. Motorepuestos. Recuperado el 8 de abril del 2025. <https://motorepuestos.com.co/tienda/llantas-para->

motos/sport/llanta-timsun-275-17-tt-neumatico-sport-ts710/?srsltid=AfmBOoran\_dwdC7-k06mDV6mUijgdjRng\_369jY8Wpfy30MujRuRYWeISOI

Restrepo, J. L. (2021). *¿Por qué ha fracasado la agricultura en Colombia?* El Tiempo.

<https://www.elespectador.com/ambiente/por-que-ha-fracasado-la-agricultura-en-colombia/>

Riviera Plaza, J., Coalición Mundial por los Bosques, & Corporación Claretiana Norman Pérez Bello. (2024). *Aproximación crítica a la llamada intensificación ganadera sostenible y su financiamiento: el caso Hacienda San José, en Colombia* [Informe].

[https://globalforestcoalition.org/wp-content/uploads/2024/03/SPA\\_HACIENDA\\_SAN\\_JOSE\\_2.pdf](https://globalforestcoalition.org/wp-content/uploads/2024/03/SPA_HACIENDA_SAN_JOSE_2.pdf)

Rueda, X., Andrade, G. I., Viña, A., & Abril, A. (2021). *Separar o compartir la tierra: una revisión de la literatura con implicaciones de política para América Latina*. Centro ODS para América Latina y el Caribe – Universidad de los Andes.

<https://cods.uniandes.edu.co/wp-content/uploads/2023/11/Separar-o-compartir-la-tierra-una-revision-de-la-literatura-con-implicaciones-de-politica-para-america-latina.pdf>

Rural Infrastructure and Agro-industries Division (Agricultural Machinery and Infrastructure) AGS in FAO. (2020). Family farming – Small-scale motorised transport. FAO TECA.

<https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1619244/>

Sayed, H.A.A., Ding, Q., Odero, A.J. & Korohou T. (2022). Selection of appropriate mechanization to achieve sustainability for smallholder farms: a review. *Al-Azhar Journal of Agricultural Engineering*, 52-60.

[https://azeng.journals.ekb.eg/article\\_252902\\_fa9737239e4afd728b8ee9090d40c54a.pdf](https://azeng.journals.ekb.eg/article_252902_fa9737239e4afd728b8ee9090d40c54a.pdf)

Shigley, J. E. (2015). *Mechanical engineering design* (10a ed.). McGraw-Hill.

- Srivastava, A. K., Goering, C. E., Rohrbach, R. P., & Buckmaster, D. R. (2006). *Engineering principles of agricultural machines* (2a ed.). ASABE.
- Stacey, D. (2024). Campesinos y mineros paralizan seis departamentos de Colombia en rechazo de las nuevas normas de protección de los páramos. *El País*. <https://elpais.com/america-colombia/2024-10-23/campesinos-y-mineros-paralizan-seis-departamentos-de-colombia-en-rechazo-de-las-nuevas-normas-de-proteccion-de-los-paramos.html>
- Traktor (s.f.). *Cuchillo para reja de arado hoja de corte 40x10 cm*. Recuperado el 8 de abril del 2025. <https://traktor.com.pl/es/piezas-de-arado/7514-cuchillo-para-reja-de-arado-hoja-de-corte-40x10-cm.html>
- Triana Riveros, J. L., Valle Lima, S. M., Rodríguez Rodríguez, M. del P., & Brisola, M. V. (2024). *Influencias de la migración juvenil rural en el municipio de Granada (Meta), Colombia*. *Universitas Humanística*, 93, 1–19. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.uh93.imjr>
- Universidad Nacional de Colombia (UNAL). (2021). Moto-tractor disminuiría costos en trabajos agrícolas. *Agencia de Noticias UNAL*. <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/moto-tractor-disminuiria-costos-en-trabajos-agricolas>
- Van Loon, J., Woltering, L., Krupnik, T. J., Baudron, F., Boa, M. & Govaerts, B. (2020). Scaling agricultural mechanization services in smallholder farming systems: Case studies from sub-Saharan Africa, South Asia, and Latin America. *Agricultural Systems*. Volume 180. 102792. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102792>