**UNIVERSIDAD MAYOR REAL Y PONTIFICIA DE SAN FRANCISO XAVIER DE CHUQUISACA**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MECA-ELECTRONICAS**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

**GRADUACIÓN MODALIDAD POR DIPLOMADO**

**DISEÑO DE UN ARADO DE DOBLE SURCO PARA MOTOCULTORES AGRICOLAS DE LA COMUNIDAD DE CALAZAYA, EN EL MUNICIPIO DE COTAGAITA.**

**POSTULANTE:** Wilfredo Magiver Beltrán Mejía

“Trabajo presentado para obtener el título de Licenciado en Ingeniería Mecánica, otorgado por la Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca”

**SUCRE – BOLIVIA**

**2024**

# CESION DE LOS DERECHOS

Al presentar este trabajo como requisito previo a la obtención del título de licenciado en Ingeniería Mecánica, autorizo a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca o a la Biblioteca de la Universidad, para que se haga de este trabajo un documento disponible para su lectura, según normas de la Universidad.

También cedo a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, los derechos de publicación de este trabajo o parte de él, manteniendo mis derechos de autor hasta un periodo de 30 meses posterior a su aprobación.

Beltrán Mejia Wilfredo Magiver

Sucre, agosto de 2024

DEDICATORIA

**A DIOS:** por darme la oportunidad de realizar este sueño tan anhelado.

**A MIS PADRES:** Eusebio Beltran Vidaurre y Esperanza Mejia Sardinas por brindarme su amor, comprensión y apoyo incondicional en toda circunstancia de mi vida.

**A MIS HERMANOS (AS):** Zaida, Josué, Denilsón, Noelia, Binjhenson, carli y a mi sobrina Shael. Por todo el cariño y apoyo moral incondicional durante toda mi vida.

**A MI PROMETIDA:** Daniela García por su apoyo incondicional por ayudarme a lograr este sueño en esta etapa final de mi carrera con su fe, alegría, paciencia, compañía y amor infinito.

AGRADECIMIENTOS

**A DIOS:** Por haber permitido lograr esta meta en mi vida y por los triunfos y los momentos difíciles que me ha tocado vivir.

**A MIS PADRES:** Gracias por su apoyo incondicional, motivación y por los valores, conocimientos impartidos durante esta etapa de mi vida.

**A MI FAMILIA:** Por su cariño, consejos y motivación.

**A MIS SUEGROS:** por su apoyo incondicional, su sabiduría y su constante apoyo han sido un regalo invaluable.

**A MIS DOCENTES:** Que han contribuido en mi formación profesional, por todos los conocimientos, experiencias impartidas durante esta etapa de estudio y agradables momentos que quedara en nuestras memorias. a los docentes del DIPLOMADO MECANICO INDUSTRIAL V-1 DE LA UMRPSXCH.

La bendición de tener una pareja implica que en el trascurso de tu vida no estarás solo, esto también implica que habrá una ayuda siempre a tu lado, por eso y mucho mas hoy te agradezco mi amor Daniela García.

RESUMEN

En el marco de los esfuerzos continuos por mejorar las prácticas agrícolas y optimizar la eficiencia en el manejo de cultivos, diversos estudios han abordado la problemática y las soluciones en torno a la mecanización y optimización de la labranza en diferentes contextos agrícolas. Este estudio se centró en diseñar un arado de doble surco que sea técnica y económicamente viable para motocultores agrícolas, para mejorar los procesos de cultivo y aumentar la productividad agrícola, aprovechando las capacidades de los motocultores existentes en la comunidad de Calazaya – Cotagaita que fueron dotados por el gobierno, a través del Programa CRIAR II – MDR y T en 2019. La problemática se basa en la no utilización o infrautilización de esta maquinaria al contar solamente con arados de simple surco que son insuficientes y no aprovechan las capacidades de los motocultores en el proceso de surcado. Se utilizo una metodología mixta que combina enfoques cuantitativos y cualitativos, tipo de investigación descriptiva, se recopilaron y analizaron datos a través de encuestas a agricultores y revisión de especificaciones técnicas de maquinaria existente. Los resultados de la encuesta mostraron una clara necesidad de adaptar tecnología más accesible y eficiente para pequeños agricultores, revelando una preferencia generalizada por motocultores debido a su costo y manejo adecuado para las parcelas locales.

El análisis técnico identificó la compatibilidad y los requisitos específicos para integrar el nuevo arado a los motocultores adquiridos, lo que condujo a la propuesta de un diseño de arado de doble surco ajustado a estas necesidades. La propuesta final ofrece un diseño útil que permite una mejor preparación del suelo con menos esfuerzo y mayor eficiencia, adecuado a las características y limitaciones de los motocultores utilizados en la región. En conclusión, el arado de doble surco diseñado tiene el potencial de transformar las prácticas agrícolas en Calazaya, mejorando la productividad y sostenibilidad de estas actividades a través de una solución adaptada y rentable.

**Palabras Clave:** arado de doble surco, motocultores, productividad agrícola, diseño mecánico, tecnología agrícola adaptada, Cotagaita, Calazaya.

INDICE TEMATICO

[CESION DE LOS DERECHOS………………………..………………………………………....i](#_Toc170769337)

[DEDICATORIA………… ………………………………………………………………….……...ii](#_Toc170769338)

[AGRADECIMIENTOS………………………………………………………………………….…iii](#_Toc170769339)

[RESUMEN….………………….……………………………………………………………….….iv](#_Toc170769340)

[CAPÍTULO I 1](#_Toc170769341)

1. [INTRODUCCIÓN 1](#_Toc170769342)

[1.1. ANTECEDENTES 1](#_Toc170769343)

[1.2. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA 2](#_Toc170769344)

[1.2.1. Formulación del problema 3](#_Toc170769345)

[1.3. JUSTIFICACIÓN 3](#_Toc170769346)

[1.3.1. Justificación técnica 3](#_Toc170769347)

[1.3.2. Justificación económica 3](#_Toc170769348)

[1.3.3. Justificación social 4](#_Toc170769349)

[1.4. METODOLOGIA 4](#_Toc170769350)

[1.4.1. Métodos 4](#_Toc170769351)

[1.4.1.1. Métodos teóricos 4](#_Toc170769352)

[1.4.1.2. Métodos empíricos 5](#_Toc170769353)

[1.4.1.3. Enfoque de la investigación 6](#_Toc170769354)

[1.4.1.4. Tipo de investigación 7](#_Toc170769355)

[1.4.2. Técnicas e instrumentos 7](#_Toc170769356)

[1.5. OBJETIVOS 7](#_Toc170769357)

[1.5.1. Objetivo General 7](#_Toc170769358)

[1.5.2. Objetivos específicos 7](#_Toc170769359)

[CAPITULO II 9](#_Toc170769360)

[2. DESARROLLO 9](#_Toc170769361)

[2.1. MARCO REFERENCIAL 9](#_Toc170769362)

[2.2. MARCO CONTEXTUAL 11](#_Toc170769363)

[2.2.1. Macro localización 11](#_Toc170769364)

[2.2.3. Santiago de Cotagaita 11](#_Toc170769365)

[2.2.4. Características generales de Cotagaita 12](#_Toc170769366)

[2.2.5. Situación actual de la agricultura 13](#_Toc170769367)

[2.2.6. Caracteristicas generales del municipio de Calazaya 14](#_Toc170769368)

[2.2.6.1. Ubicación 14](#_Toc170769369)

[2.2.6.2. Organización Social y Cultural 14](#_Toc170769370)

[2.2.6.3. Actividades Económicas 15](#_Toc170769371)

[2.2.6.4. Educación y Salud 15](#_Toc170769372)

[2.2.6.5. Infraestructura y Servicios Básicos 15](#_Toc170769373)

[2.2.6.6. Problemática y Desafíos 16](#_Toc170769374)

[2.3. MARCO TEORICO CONCEPTUAL 16](#_Toc170769375)

[2.3.1. Motocultor 16](#_Toc170769376)

[2.3.1.1. Tipos de Motocultores 17](#_Toc170769377)

[2.3.1.2. Potencia de Motocultores 18](#_Toc170769378)

[2.3.2. Arado 19](#_Toc170769379)

[2.3.2.1. Arado de doble Surco 19](#_Toc170769380)

[2.3.2.2. Materiales de construcción de un Arado de Doble Surco 20](#_Toc170769381)

[2.3.3. Gleba 20](#_Toc170769382)

[2.3.4. Tipos de Suelo 21](#_Toc170769383)

[2.4. DIAGNOSTICO 22](#_Toc170769384)

[2.4.1. Información y Datos obtenidos 22](#_Toc170769385)

[2.4.2. Características del Motocultor FUSINDA 23](#_Toc170769386)

[2.4.2.1. Datos generales del Motocultor 9HP (MODELO FG1050F) 23](#_Toc170769387)

[2.4.3. Resultados de encuestas 24](#_Toc170769388)

[2.5. ANÁLISIS DE LA INFORMACION 30](#_Toc170769389)

[2.6. PROPUESTA DE DISEÑO 31](#_Toc170769390)

[2.6.1. Determinación de Parámetros de diseño 32](#_Toc170769391)

[2.6.2. Principales apreciaciones 32](#_Toc170769392)

[2.6.3. Necesidad de uso de los equipos 33](#_Toc170769393)

[2.6.4. Cálculo de la fuerza resistiva del suelo 34](#_Toc170769394)

[2.6.5. Selección del Material 35](#_Toc170769395)

[2.6.5.1. Resistencia 35](#_Toc170769396)

[2.6.5.2. Disponibilidad en el mercado 35](#_Toc170769397)

[2.6.5.3. Costo 35](#_Toc170769398)

[2.6.6. Solución analítica de algunos componentes 36](#_Toc170769399)

[2.6.6.1. Análisis de la sección de tubo cuadrado utilizado para soportar el arado de doble surco 36](#_Toc170769400)

[2.6.6.2. Análisis de diámetros de pernos del equipo 39](#_Toc170769401)

[2.6.7. Solución de análisis por elementos finitos 42](#_Toc170769402)

[CAPITULO III 45](#_Toc170769403)

[3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 45](#_Toc170769404)

[3.1. CONCLUSIONES 45](#_Toc170769405)

[3.2. RECOMENDACIONES 46](#_Toc170769406)

[REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 48](#_Toc170769407)

[ANEXOS 50](#_Toc170769408)

[ANEXO A: CARACTERISTICAS TECNICAS DEL EQUIPO 50](#_Toc170769409)

[ANEXO B: PLANOS DE FABRICACIÓN 52](#_Toc170769410)

[ANEXO C: COSTOS DE FABRICACION Y EVALUACION ECONOMICA 53](#_Toc170769411)

[ANEXO D: COMPARACION DE COSTOS 55](#_Toc170769412)

[ANEXO E: ENCUESTA 55](#_Toc170769413)

[ANEXO F: MANTENIMIENTO DEL ARADO 57](#_Toc170769414)

INDICE DE TABLAS

[Tabla 1-1. Población y muestra 6](#_Toc170769452)

[Tabla 2-1: Tipos de motocultores en el mercado 18](#_Toc170769454)

[Tabla 2-2: Tipos de suelos 21](#_Toc170769455)

[Tabla 2-3: Muestreo del municipio de calazaya 22](#_Toc170769456)

[Tabla 2-4: Parámetros de diseño 32](#_Toc170769457)

[Tabla 2-5: Requerimiento de fuerzas, energía y potencia de las herramientas agrícolas 33](#_Toc170769458)

[Tabla 2-6: Tensión de von mises 43](#_Toc170769459)

[Tabla 2-7: Desplazamientos 44](#_Toc170769460)

[Tabla 2-8: Factor de seguridad 44](#_Toc170769461)

INDICE DE FIGURAS

[Figura 2-1: Macro localización 11](#_Toc170745848)

[Figura 2-2: Micro localización 11](#_Toc170745849)

[Figura 2-3: Delimitación de Cotagaita desde una vista satelital 12](#_Toc170745850)

[Figura 2-4: Cultivo de Cotagaita afectado por riada 13](#_Toc170745851)

[Figura 2-5: Ahorro de tiempo con motocultor 17](#_Toc170745852)

[Figura 2-6: Motocultor FUSINDA 9 HP y sus implementos 24](#_Toc170745853)

[Figura 2-7: Tamaño de terreno 25](#_Toc170745854)

[Figura 2-8: Tamaño de terreno cultivado 25](#_Toc170745855)

[Figura 2-9: Tipos de cultivo 26](#_Toc170745856)

[Figura 2-10: Posesión de motocultores 26](#_Toc170745857)

[Figura 2-11: Uso de motocultor en terrenos mayores a 0.5 hectáreas 27](#_Toc170745858)

[Figura 2-12: Estado del motocultor 27](#_Toc170745859)

[Figura 2-13: Limitaciones 28](#_Toc170745860)

[Figura 2-14: No uso de Motocultor debido a limitaciones 28](#_Toc170745861)

[Figura 2-15: Eficiencia del motocultor con arado de doble surco 29](#_Toc170745862)

[Figura 2-16: Interés para adquirir un arado de doble surco 29](#_Toc170745863)

[Figura 2-17: Característica más importante del arado de doble surco 30](#_Toc170745864)

[Figura 2-28: Partes del arado de doble surco 31](#_Toc170745865)

[Figura 2-19: Sección del tubo 37](#_Toc170745866)

[Figura 2-20: Simplificación de las fuerzas 37](#_Toc170745867)

[Figura 2-21: Diagrama de esfuerzo cortante y flexión 38](#_Toc170745868)

[Figura 2-22: Diagrama de momento de torsión 38](#_Toc170745869)

[Figura 2-23: Diagrama de fuerzas en el perno de la union principal 40](#_Toc170745870)

[Figura 2-24: Diagrama de fuerzas del perno que sostiene el arado 41](#_Toc170745872)

[Figura 2-25: Modelo del Equipo 42](#_Toc170745874)

[Figura 2-26: Enmallado de aplicación de cargas en la superficie de contacto 42](#_Toc170745875)

[Figura 2-27: Aplicación de cargas en la superficie de contacto 43](#_Toc170745877)

[Figura 2-28: Tensión de Von Mises 43](#_Toc170745878)

[Figura 2-29: Desplazamientos 44](#_Toc170745879)

[Figura 2-30: Factor de Seguridad 44](#_Toc170745880)

# CAPÍTULO I

# INTRODUCCIÓN

* 1. ANTECEDENTES

Con el fin de mejorar las prácticas agrícolas y optimizar la eficiencia en el manejo de cultivos, diversos estudios han abordado la problemática y las soluciones en torno a la mecanización y optimización de la labranza y cosecha en diferentes contextos agrícolas. De la Cruz (2020) identificó cómo la proliferación de maleza en los terrenos de cultivo del caserío Cachinche no solo genera daños a los sembríos por la presencia de insectos y plagas, sino también malestar en la población desde un punto de vista ornamental y de salud. Este estudio culminó en el diseño de un arado portátil que, mediante un motor de combustión interna adaptado de una motocicleta, busca eliminar eficazmente la maleza, destacando la importancia de la adaptabilidad y eficiencia de las herramientas agrícolas a las necesidades específicas de las comunidades.

Por otro lado, Chafla y Guañuna (2023) presentaron un enfoque innovador al diseñar y construir una máquina aradora con capacidad de 6.5HP, utilizando un motor a gasolina y un diseño CAD, demostrando su eficacia en pruebas de campo que evaluaron aspectos como la maniobrabilidad y la profundidad de labrado. Este estudio subraya la relevancia de una metodología cuantitativa con diseño experimental para abordar las necesidades específicas en el sector agrícola, proporcionando datos valiosos sobre la capacidad y eficiencia de las máquinas aradoras en terrenos previamente labrados y no labrados.

Finalmente, Granados y Granados (2023) exploraron la mecanización en el cultivo de la papa, enfocándose en el diseño y prototipado de una máquina cosechadora adaptada a la geografía del valle del Mantaro. Su trabajo pone de relieve la necesidad de soluciones personalizadas que minimicen las mermas en la cosecha, adaptando tecnologías a las condiciones económicas y geográficas locales, y utilizando metodologías de diseño avanzadas para garantizar la seguridad y eficacia de las herramientas agrícolas.

Estos antecedentes evidencian un creciente interés y necesidad de desarrollar tecnología agrícola que no solo se ajuste a las especificaciones técnicas del manejo de cultivos, sino que también considere el bienestar de las comunidades, la economía local, y el impacto ambiental. En este contexto, el diseño de un arado de doble surco para equipos motocultores se presenta como una contribución significativa hacia la eficiencia y sostenibilidad en la agricultura, buscando mejorar las condiciones de trabajo y optimizar los recursos en las explotaciones agrícolas.

* 1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La agricultura es una actividad fundamental para la alimentación de la población mundial. Sin embargo, las técnicas agrícolas tradicionales pueden ser laboriosas, lentas e ineficientes. En particular, la preparación del suelo para la siembra, que incluye la creación de surcos, es una tarea que requiere un considerable esfuerzo humano y tiempo principalmente.

En la actualidad, los agricultores de la comunidad de Calazaya - Cotagaita, poseen motocultores FUSINDA de 9HP, debido a una dotación por parte del gobierno, a través Programa CRIAR II – MDRyT en 2019. Se ha verificado mediante observación y realización de encuestas a los agricultores de la comunidad, que una parte de los motocultores adquiridos no están siendo utilizados o infrautilizados lo que representa la problemática central, ya que los motocultores cuentan con arados de surco simple (que realizan un solo surco a la vez), esta limitación impide aprovechar completamente las capacidades de los motocultores en el proceso de surcado. Como resultado, los arados de surco simple se vuelven insuficientes para trabajar eficientemente en terrenos mayores a media hectárea, lo que incrementa el tiempo y el esfuerzo necesarios para completar las tareas agrícolas, aumenta el consumo de combustible, reduce la vida útil de la máquina, aumenta costos y mano de obra requerida. Además, estos arados no optimizan el uso del motocultor ni mejoran la productividad en terrenos menores a media hectárea.

El diseño de un arado de doble surco, capaz de crear doble surco de manera eficiente en terrenos agrícolas, que se adapte a los motocultores existentes en la comunidad, permitiría a los agricultores con cultivos mayores y menores a media hectárea utilizar sus motocultores de manera más eficiente, cubriendo mayor área en menor tiempo y reduciendo costos.

* + 1. Formulación del problema

¿Como diseñar un arado de doble surco para motocultores que sea técnica y económicamente factible, con el fin de aprovechar el uso y eficiencia de estos equipos en el proceso de surcado en la comunidad de Calazaya?

* 1. JUSTIFICACIÓN
     1. Justificación técnica

La justificación técnica de esta investigación radica en la necesidad de optimizar el uso de los motocultores adquiridos por los agricultores de la comunidad de Calazaya, municipio de Cotagaita, mediante el diseño de un arado de doble surco. Esta solución técnica busca maximizar la eficiencia operativa de los motocultores, mejorando la preparación del terreno y la siembra de cultivos como maíz, papa, haba y otros en terrenos más grandes y en terrenos pequeños de difícil acceso por la topografía irregular. El diseño propuesto debe ser compatible con las especificaciones técnicas de los motocultores y resolver problemas de adaptación, fomentando la innovación en Ingeniería Mecánica. Este proyecto no solo mejora la productividad agrícola, sino que también contribuye al desarrollo económico y social de la comunidad, alineándose con los principios de sostenibilidad y eficiencia técnica en el sector agrícola.

* + 1. Justificación económica

La justificación económica de esta investigación se basa en la necesidad de reducir los altos costos de los arados de doble surco compatibles con los motocultores de la comunidad, cuyo precio varía entre 3500 a 4000 Bs,. El diseño y fabricación local de arados nuevos podría reducir estos costos en un 30% a 40%. Además, se podria llegar a establecer un acuerdo con el municipio de Cotagaita o el Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras para otorgar créditos accesibles a los agricultores, facilitando así la adquisición de arados confiables y mejorando la productividad agrícola y el desarrollo económico sostenible de la comunidad de Calazaya. Por otra parte, el acceso a tractores agrícolas representa costos aún mayores, que los comunarios no pueden costear.

* + 1. Justificación social

La implementación de este arado de doble surco tendrá un impacto social significativo en la comunidad de Calazaya. Al facilitar el acceso a una tecnología de labranza más eficiente y menos costosa, se mejorará la calidad de vida de los agricultores al reducir la carga de trabajo físico y aumentar su capacidad de producción. Esto, a su vez, contribuirá al desarrollo económico local, incrementando los ingresos de las familias agricultoras y fortaleciendo la seguridad alimentaria en la región. Además, la promoción del crédito agrícola con condiciones favorables fomentará la inclusión financiera y el desarrollo sostenible en la comunidad.

* 1. METODOLOGIA

El diseño de un arado de doble surco implica un proceso complejo que debe considerar diversos factores técnicos, económicos, sociales y ambientales. Se parte con la identificación del problema y el análisis de las necesidades, se establecen las especificaciones de diseño con el fin de identificar las posibles alternativas y finalmente se realiza un diseño de arado de doble surco para que de esa manera se realice un estudio de factibilidad económica.

* + 1. Métodos

En el presente trabajo se emplearán métodos enfocados en un trabajo netamente de ingeniería, cuyo objetivo es el de identificar los tipos de las herramientas surcadoras, identificar los requisitos que deben tener dichas herramientas para su diseño. Entre los métodos que se utilizaran están:

* + - 1. **Métodos teóricos**
* **Método histórico lógico:** Permite realizar un análisis contextual respecto a los métodos anteriores de arado para verificar las ventajas de la construcción del mismo.
* **Método Bibliográfico:** se realizará una revisión de material bibliográfico incluyendo artículos científicos, libros, informes técnicos y normativas relacionadas con el diseño de arado de doble surco.
* **Análisis y síntesis:** El método de análisis y síntesis es un método utilizado en la investigación científica para descomponer un fenómeno complejo en sus partes constituyentes (análisis) y luego recomponerlas para entender el fenómeno en su totalidad (síntesis). (Hernández y Mendoza, 2018),permitiendo obtener resultados en base a los requerimientos de los agricultores.
* **Inductivo y deductivo:** basado en la lógica formal, permite tener puntos de partida para el desarrollo del proyecto, basándose también en la observación y experimentación.
* **Sistemático:** como seguimiento de una sucesión de pasos de manera ordenada hasta obtener un diseño acorde a las necesidades de los agricultores. Este método asegura que todas las partes del problema sean abordadas de manera exhaustiva y que los procedimientos utilizados sean replicables y verificables. (ARIAS, 2012)
* **Diseño:** para realizar el diseño de un arado de doble surco acorde a las necesidades y seleccionar los componentes de transmisión mecánica.
* **Evaluación:** para verificar la factibilidad técnica y económica, de esa manera el diseño sea fabricado en un futuro para alivianar el trabajo a los que realizan el surcado de manera manual.
  + - 1. **Métodos empíricos**
* **Observación:** es la parte principal para la realización de una investigación, permite establecer los puntos de partida para la realización de la investigación. Este método permite obtener información detallada y precisa sobre el comportamiento y las características de los sujetos estudiados, sin interferir en su contexto. (Hernández y Mendoza, 2018)
* **Población:** referido al conjunto de personas en las que se desea realizar la investigación. La comunidad de Calazaya cuenta con una población total de 374 habitantes, de los cuales 50 se dedican a la agricultura.
* **Muestra:** se obtuvieron 30 encuestas, representando el 60% de la población de agricultores, lo cual proporciona una muestra suficiente para obtener conclusiones significativas sobre el uso de las motocultoras y la necesidad del arado de doble surco.
* **Muestreo:** se usó muestreo no probabilístico, por conveniencia. El muestreo no probabilístico por conveniencia es una técnica de selección de muestras en la cual los individuos son escogidos debido a su accesibilidad y proximidad al investigador. Este tipo de muestreo no garantiza que todos los miembros de la población tengan la misma probabilidad de ser seleccionados, pero es útil en situaciones donde el tiempo, los recursos o la disponibilidad de los sujetos son limitados. (ARIAS, 2012)

Tabla 1-1. Población y muestra

|  |  |
| --- | --- |
| **Parámetro** | **Valor** |
| Población total | 374 habitantes |
| Agricultores totales | 50 |
| Tipo de muestreo | No probabilístico por conveniencia |
| Muestra obtenida | 30 encuestas |
| Porcentaje de muestra | 60% de los agricultores |

**Fuente:** Elaboración propia (2024)

* + - 1. **Enfoque de la investigación**
* **Enfoque mixto, cuantitativo y cualitativo:** el diseño de una surcadora doble requiere de un enfoque de investigación integral que combine métodos cualitativos y cuantitativos para recopilar y analizar datos de manera rigurosa y completa.
  + - 1. **Tipo de investigación**
* **Descriptivo:** El método descriptivo de investigación es un enfoque sistemático para recopilar, analizar y presentar datos sobre fenómenos de la agricultura con el fin de describirlos en su contexto natural. Este método no busca establecer relaciones de causa y efecto, sino que se centra en proporcionar una representación precisa y detallada de la situación actual.
  + 1. **Técnicas e** instrumentos
* **Software de diseño asistido por computadora (CAD):** Para diseñar de manera detallada, utilizando programas CAD y de esa manera modelar, visualizar el diseño y presentarlo en planos de fabricación.
* **Encuestas:** con el fin de conocer el entorno real de la actividad agraria, verificar las necesidades y conocer las posibles ventajas al implementar un diseño de la surcadora. (Anexo E)
  1. OBJETIVOS
     1. Objetivo General

Diseñar un arado de doble surco para motocultores agrícolas de la comunidad de Calazaya, en el municipio de Cotagaita, con el fin de optimizar el uso de los motocultores y mejorar la eficiencia en el proceso de surcado.

* + 1. **Objetivos** específicos
* Realizar una encuesta a los agricultores de la comunidad de Calazaya para identificar sus necesidades específicas y expectativas respecto al arado de doble surco.
* Realizar un diseño en software CAD del arado de doble surco adaptable al motocultor FUSINDA e identificar sus partes principales.
* Seleccionar el material adecuado que garantice la eficiencia del arado.
* Realizar la evaluación económica y costos de fabricación para su posterior construcción y comercialización.

# 

# CAPITULO II

1. DESARROLLO
   1. MARCO REFERENCIAL

Khokhar et al. (2006) se propusieron diseñar y desarrollar un arado de doble surco de tracción animal que fuera eficiente y asequible para pequeños agricultores. El arado fue diseñado utilizando principios de ingeniería agrícola y construido con materiales locales. Tras realizar pruebas de campo, se comprobó que el arado era capaz de realizar una labranza efectiva a una profundidad de 15-20 cm y un ancho de 40-45 cm. Además, se determinó que la fuerza de tiro requerida era compatible con la capacidad de tracción de un par de bueyes. Los autores concluyeron que el arado desarrollado era una herramienta prometedora para mejorar la productividad agrícola en áreas donde la mecanización es limitada.

Singh et al. (2012) presentaron el diseño y la evaluación de un arado de doble surco accionado por un tractor de 35 HP. El diseño del arado se basó en principios de mecánica de suelos y se optimizó mediante simulaciones por computadora. El arado fue fabricado y probado en condiciones de campo, demostrando un rendimiento satisfactorio en términos de calidad de labranza y consumo de combustible. Los autores destacaron la importancia de considerar factores como la resistencia del suelo, la velocidad de avance y la geometría del arado en el diseño de implementos agrícolas eficientes.

Karim et al. (2014) se enfocaron en el desarrollo de un arado de vertedera de doble surco específicamente diseñado para pequeños agricultores en Bangladesh. El arado fue diseñado para ser accionado por un par de bueyes y se construyó con materiales locales de bajo costo. Las pruebas de campo demostraron que el arado era capaz de realizar una labranza efectiva a una profundidad de 15-20 cm y un ancho de 40-45 cm, con una fuerza de tiro compatible con la capacidad de los bueyes. Los autores destacaron la importancia de diseñar implementos agrícolas que sean accesibles y apropiados para las condiciones locales de los pequeños agricultores.

Mamani (2010), en su trabajo, titulado “Diseño y construcción de un arado de tracción animal para pequeñas parcelas agrícolas”. El objetivo de este estudio fue diseñar y construir un arado de tracción animal eficiente y adaptado a las condiciones de pequeñas parcelas agrícolas en Bolivia. Los resultados presentaron un diseño detallado del arado, incluyendo dimensiones, materiales y proceso de construcción. Se realizaron pruebas de campo para evaluar el rendimiento del arado en términos de profundidad de labranza, ancho de trabajo y fuerza de tracción requerida.

Los resultados mostraron que el arado era capaz de realizar una labranza efectiva en suelos arcillosos y arenosos, con una profundidad de hasta 20 cm y un ancho de trabajo de 40 cm. El autor propone la adopción de este diseño de arado por parte de pequeños agricultores en Bolivia como una alternativa económica y eficiente para la preparación del suelo. El estudio concluye que el arado de tracción animal diseñado es una herramienta viable y apropiada para pequeñas parcelas agrícolas en Bolivia, contribuyendo a mejorar la productividad y reducir los costos de producción.

El Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (2015), mediante su programa de mecanización agrícola, busco incrementar la productividad y competitividad del sector agropecuario boliviano mediante la incorporación de maquinaria agrícola. Los resultados muestran que el programa ha logrado avances significativos en la entrega de maquinaria agrícola a productores de diferentes regiones del país. Se ha observado un incremento en la superficie cultivada y una reducción en los tiempos de labranza gracias a la mecanización.

El programa propone continuar con la entrega de maquinaria agrícola, así como fortalecer la capacitación y asistencia técnica a los productores para garantizar un uso eficiente y sostenible de la tecnología. Se concluye que el Programa de Mecanización Agrícola ha demostrado ser una herramienta importante para el desarrollo del sector agropecuario en Bolivia, aunque se requiere seguir trabajando en la capacitación y asistencia técnica para maximizar sus beneficios.

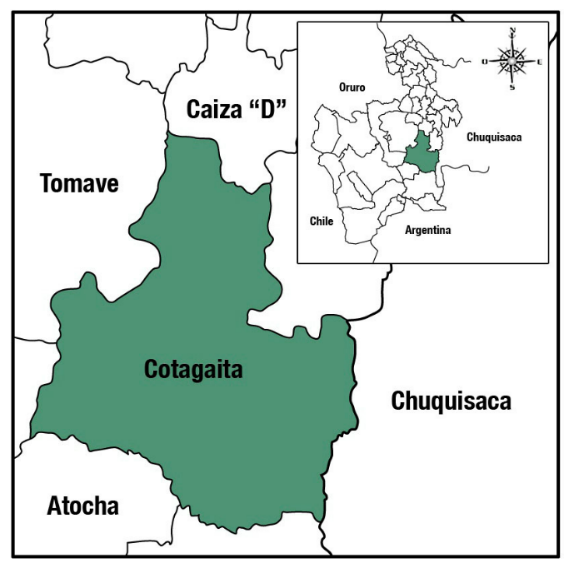
* 1. MARCO CONTEXTUAL
     1. **Macro localización**

Figura 2-1: Macro localización

**Fuente:** AMDEPO, 2024. https://amdepo. rg.bo/Cotagaita/

* + 1. **Micro localización**

****

Figura 2-2: Micro localización

**Fuente:** Dices.net, 2024

<https://mapasamerica.dices.net/bolivia/mapa.php?nombre=Calasaya&id=15544>

* + 1. **Santiago de Cotagaita**

Cotagaita, oficialmente conocida como Santiago de Cotagaita, es una ciudad de Bolivia de gran relevancia histórica y geográfica. Situada en la provincia Nor Chichas del departamento de Potosí, esta ciudad se encuentra a una altitud media de 2624 m.s.n.m. y alberga una población de aproximadamente 31,801 habitantes según el censo de 2012.



Figura 2-3: Delimitación de Cotagaita desde una vista satelital

**Fuente:** Obtenido de Google Maps (2024).

Geográficamente, Cotagaita se halla en un territorio marcado por la presencia de los ríos Tumusla y Cotagaita, extendiéndose a lo largo de la orilla izquierda del último, en una quebrada que desciende con una pronunciada inclinación de norte a sur. Esta quebrada se bifurca cerca de la ciudad, creando límites naturales conocidos como Urac Cantu y Janac Cantu.

En cuanto a sus límites políticos, Cotagaita limita al norte con el departamento de Chuquisaca, al sur con las localidades de Tupiza y Atocha, y al oeste con Uyuni y Tomave, ubicándose estratégicamente en la ruta caminera que conecta Villazón, Tupiza, Vitichi y Potosí, la cual fue en tiempos precolombinos parte del "camino del inca".

* + 1. **Características** generales **de Cotagaita**

Cotagaita presenta una geografía diversa con una topografía mayormente ondulada. Se encuentra a 180 kilómetros de la ciudad de Potosí y está enmarcado por los ríos Tumusla y Cotagaita, que son caudalosos y vitales para la región. El clima de Cotagaita es templado, con una temperatura promedio anual de 10.5°C, lo que contribuye a un ambiente propicio para la agricultura y la vida cotidiana. Demográficamente, Cotagaita tiene una población que mantiene tradiciones ancestrales quechua, evidentes en festividades como la Feria Frutícola y las fiestas patronales de Santiago y Santa Rosa. La economía local se basa principalmente en la producción agrícola y ganadera, con cultivos andinos como la papa, trigo, cebada, maíz y haba, así como la plantación de árboles frutales como durazno y uva. Además, la actividad pecuaria se centra en el ganado ovino, vacuno, llamas y caprinos, con una importancia significativa en la artesanía textil, donde se elaboran chulos, ponchos, chalinas, chalecos y aguayos. Las potencialidades de desarrollo de Cotagaita están basadas en la producción agropecuaria y en menor medida en la producción artesanal, con proyectos para diversificar la agricultura e introducir técnicas de cultivo mejoradas. (AMDEPO, s.f.; Municipios de Bolivia, s.f.)

* + 1. **Situación actual de la** agricultura

El municipio de Cotagaita se destaca especialmente por la producción de uva y durazno. Según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2013) provenientes del Censo Agropecuario de 2013, Cotagaita lidera la producción de estas frutas en el departamento con 145.5 hectáreas dedicadas al cultivo de uva y 295.5 hectáreas a durazno, resultando en producciones de 11,984 y 14,387.9 quintales respectivamente. (INE, 2017)

Figura 2-4: Cultivo de Cotagaita afectado por riada

**Fuente:** (ALCALDIA COTAGAITA, 2023)

Además, el municipio también se destaca en la producción de maíz, siendo este el principal cultivo de verano con 1,691.1 hectáreas cultivadas y una producción de 55,945.6 quintales.

El sistema de riego es altamente eficiente en Cotagaita, abarcando el 99.1% de las 2,550.7 hectáreas cultivadas durante el verano, lo que subraya el robusto enfoque hacia la agricultura sustentable y la optimización del uso de recursos hídricos. Estas prácticas agrícolas se apoyan en una base de 5,823 Unidades de Producción Agropecuaria. (Ministerio de Comunicación, 2024)

* + 1. **Caracteristicas** generales **del** municipio **de Calazaya**
       1. **Ubicación**

La comunidad de Calazaya se encuentra en el municipio de Cotagaita, provincia Nor Chichas del departamento de Potosí, a una altitud promedio de 3.700 metros sobre el nivel del mar (Gobierno Autónomo Municipal de Cotagaita, 2016). Según datos del Censo Nacional de Población y Vivienda 2012 del Instituto Nacional de Estadística de Bolivia (INE), la comunidad contaba con una población de 374 habitantes, distribuidos en 82 hogares (Instituto Nacional de Estadística de Bolivia, 2012). La población es predominantemente quechua hablante y se dedica principalmente a actividades agropecuarias (Observatorio de Turismo Comunitario de Bolivia, 2019).

Las coordenadas de la comunidad de Calazaya es Latitud Sud -20°45’29.93” y Longitud oeste -65°48’6.00”, desde la ciudad de Potosí se accede por carretera pavimentada camino hacia la población de Cotagaita 180 km, por un tiempo de viaje de aproximadamente de 2 horas y media, pasando el puente se toma un camino carretero de tierra hacia el oeste unos 20 km donde se encuentra la comunidad de Calazaya.

* + - 1. **Organización Social y Cultural**

La organización social de Calazaya se basa en estructuras tradicionales, como el sistema de autoridades originarias (ayllus) y organizaciones comunitarias (O.T.B.). (Gobierno Autónomo Municipal de Cotagaita, 2016). Estas estructuras desempeñan un papel fundamental en la toma de decisiones y la gestión de los recursos comunitarios (Observatorio de Turismo Comunitario de Bolivia, 2019). La cultura local se manifiesta en festividades religiosas como la fiesta patronal en honor a la Virgen del Rosario, celebrada el primer domingo de octubre, y en prácticas ancestrales como la siembra y cosecha comunitaria (Observatorio de Turismo Comunitario de Bolivia, 2019).

* + - 1. **Actividades Económicas**

La economía de Calazaya se sustenta principalmente en la agricultura y la ganadería. Los principales cultivos son papa, maíz, haba, durazno y uva, destinados principalmente al autoconsumo y en menor medida a la venta en mercados locales. (Gobierno Autónomo Municipal de Cotagaita, 2016) Las especies que más se crían en las comunidades son caprinos, bovinos (para yunta y estiércol), aves de corral y porcinos, también es posible encontrar a los equinos, los mismos que tienen relevancia económica porque son utilizados como fuerza de tracción y transporte (LUNA, 2022). Además, algunas familias se dedican a la minería a pequeña escala, extrayendo minerales como estaño y wólfram. (Observatorio de Turismo Comunitario de Bolivia, 2019)

* + - 1. **Educación y Salud**

En materia de educación, Calazaya cuenta con una unidad educativa de nivel primario y un telecentro educativo que brinda acceso a internet y recursos educativos digitales. (Gobierno Autónomo Municipal de Cotagaita, 2016) Sin embargo, la infraestructura educativa es precaria y existe un déficit de docentes capacitados. (Observatorio de Turismo Comunitario de Bolivia, 2019) En cuanto a salud, la comunidad no cuenta con una posta sanitaria, los principales problemas de salud que afectan a la población son las enfermedades respiratorias agudas, las enfermedades diarreicas agudas y la desnutrición crónica infantil (Ministerio de Salud de Bolivia, 2018).

* + - 1. **Infraestructura y Servicios Básicos**

La infraestructura de Calazaya es limitada. Los caminos son de tierra y se vuelven intransitables durante la época de lluvias (Gobierno Autónomo Municipal de Cotagaita, 2016). La mayoría de las viviendas son de adobe y piedra, con techos de calamina o paja (Gobierno Autónomo Municipal de Cotagaita, 2016). El acceso a servicios básicos es deficiente: solo el 50% de los hogares cuenta con energía eléctrica y el 30% con agua potable por tubería (Instituto Nacional de Estadística de Bolivia, 2012). El saneamiento básico es prácticamente inexistente, lo que aumenta el riesgo de enfermedades infecciosas (Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia, 2020).

* + - 1. **Problemática y Desafíos**

Calazaya enfrenta una serie de desafíos que limitan su desarrollo. La pobreza es un problema estructural, agravado por la falta de acceso a servicios básicos, la baja productividad agrícola y la escasa diversificación económica (Gobierno Autónomo Municipal de Cotagaita, 2016). La migración, especialmente de jóvenes, es otro problema que debilita el tejido social y la capacidad productiva de la comunidad (Observatorio de Turismo Comunitario de Bolivia, 2019). El cambio climático se manifiesta en sequías, heladas y granizadas, que afectan la producción agropecuaria y aumentan la vulnerabilidad de la población (Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia, 2020).

* 1. MARCO TEORICO CONCEPTUAL
     1. Motocultor

Un motocultor, también conocido como tractor de un solo eje, es un vehículo especial autopropulsado que se utiliza principalmente para la labor superficial del suelo en la horticultura y la jardinería. Este tipo de maquinaria agrícola es dirigible por manceras por un conductor que marcha a pie, lo que permite una mayor precisión en pequeñas superficies de terreno. Los motocultores son herramientas versátiles que pueden llevar a cabo diversas tareas como arar, sembrar, y controlar malezas, gracias a la amplia gama de aperos que se pueden acoplar a ellos, como arados, fresas, sembradoras, sistemas de riego, entre otros. Están dotados de un motor de gasolina o diésel, con varias marchas hacia adelante y hacia atrás. Algunos modelos, si tienen suficiente potencia, pueden circular con un pequeño remolque y con el conductor sentado. Los motocultores están dotados básicamente de un manubrio, un motor un eje motriz la toma de fuerza y un implemento o apero para desarrollar la labor deseada su potencia no suele superar los 19hp (Pla y Quiroz, 2020).

La importancia del motocultor radica en su capacidad para sustituir métodos tradicionales de cultivo manual, como el uso de la azada o pala, ofreciendo una alternativa más eficiente y menos laboriosa.

Ventajas del uso de un motocultor: es más económico que el uso de tractores, introduce materia orgánica al suelo, permite un mejor movimiento de tierra comparado a la labor manual, es más rápido que hacerlo manualmente y se ahorra en mano de obra durante la preparación de la tierra (López y Sanches, 2014) Se comprobó que esta máquina ahorra 5 veces en la inversión de mano de obra (Pla y Quiroz, 2020).

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Labor** | **Sin Motocultor** | | **Con Motocultor** | | **Diferencia** |
| **Personas/ha** | **Tiempo requerido** | **Personas/ha** | **Tiempo requerido** |
| **Primera escarda** | 5 jornales | 2 días | 1 jornal | 2 días | - 4 jornales |
| **Segunda escarda** | 5 jornales | 2 días | 1 jornal | 2 días | - 4 jornales |
| **Inversión total** | 10 jornales | 4 días | 2 jornales | 4 días | - 8 jornales |

Figura 2-5: Ahorro de tiempo con motocultor

**Fuent**e: Motocultor usos y beneficios, 2020.

* + - 1. **Tipos de Motocultores**

Existen varios tipos de motocultores, clasificados principalmente por su fuente de energía, estructura y funcionalidades específicas:

**Tabla 2-1:** Tipos de motocultores en el mercado

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Tipo de Motocultor** | **Fuente de Energía** | **Estructura** | **Uso Recomendado** |
| Motocultores a gasolina | Gasolina | Fresas delanteras | Trabajos en suelos superficiales, huertos pequeños |
| Motocultores a diésel | Diésel | Fresas traseras | Terrenos más grandes, suelos duros, grandes áreas |
| Mini labradores | Varía | Ligeros y compactos | Desmalezado, preparación de pequeñas áreas |

**Fuente:** datos obtenidos de la página web de máquinas y herramientas (2019).

* **Motocultores a gasolina:** Son los más comunes y se utilizan principalmente para trabajos menos exigentes como la preparación de lechos de flores y áreas pequeñas de jardín. Estos motocultores son ideales para huertos y pequeñas explotaciones debido a su eficacia en suelos a nivel superficial.
* **Motocultores a diésel:** Adecuados para terrenos más grandes, estos motocultores ofrecen mayor potencia y eficiencia en superficies extensas. Su estructura con fresas traseras los hace aptos para suelos más duros y facilita el trabajo en grandes extensiones de tierra, reduciendo el esfuerzo físico necesario.
* **Minilabradores:** Estos son más ligeros y están diseñados para tareas más específicas como desmalezado y la preparación de pequeñas áreas. Su tamaño y maniobrabilidad los hacen adecuados para trabajos en espacios reducidos.

Cada tipo de motocultor ofrece ventajas distintas como la facilidad de maniobra, eficiencia en diferentes tipos de suelo, y la posibilidad de acoplar varios implementos para funciones adicionales como quitar nieve o cortar césped.

* + - 1. **Potencia de Motocultores**

Los motocultores son herramientas agrícolas versátiles que varían en potencia, adecuadas para diferentes tipos de trabajos y tamaños de terreno. Generalmente, la potencia de los motocultores se mide en caballos de fuerza (HP) y puede variar desde modelos más pequeños y menos potentes hasta aquellos con mayor capacidad. Algunos motocultores de tamaño medio o superior pueden tener 10 HP o más de potencia, lo que les permite manejar tareas más exigentes y ofrecer una mayor maniobrabilidad gracias a su peso y al tamaño de la fresa que incorporan. Es importante considerar el tipo de suelo y las tareas específicas que se realizarán al elegir la potencia adecuada de un motocultor, ya que una mayor potencia generalmente se traduce en una mayor capacidad para manejar suelos compactos y realizar trabajos más intensivos.

Se evaluó un motocultor, con dos implementos, un arado de doble surco y un cultivador, El consumo promedio de combustible es de 19,25 L/ha para el arado de doble surco y de 11 L/ha para el cultivador. Se obtuvieron profundidades de trabajo 0,14 m para el arado de doble surco y 0,07 m en el cultivador (Yam y Santos, 2019)

* + 1. Arado

El arado es una herramienta fundamental en la agricultura, utilizada desde tiempos ancestrales para preparar la tierra para la siembra. Su función principal es la de labrar el suelo, volteándolo y rompiéndolo para facilitar la implantación de las semillas y el crecimiento de las raíces. Los primeros arados eran simples y manuales, pero con el tiempo evolucionaron a ser tirados por animales y, más tarde, por maquinaria como tractores, lo que refleja la constante innovación en las prácticas agrícolas.

La introducción de metales en su fabricación mejoró su durabilidad y eficacia, marcando un hito en la historia de la agricultura. En la actualidad, aunque aún se pueden encontrar arados tradicionales en uso, predominan los modelos mecánicos que ofrecen mayor precisión y menor esfuerzo físico.

* + - 1. **Arado de doble Surco**

El arado de dos surcos es una herramienta agrícola diseñada para incrementar la eficiencia en la preparación del terreno para la siembra. Esta variante del arado tradicional permite labrar dos surcos simultáneamente, lo que puede resultar en una reducción significativa del tiempo y el esfuerzo requerido en el proceso de arado. En la agricultura, el arado de dos surcos se utiliza principalmente en terrenos de tamaño mediano a grande, donde la economía de escala justifica su uso. La implementación de esta herramienta está alineada con prácticas agrícolas que buscan optimizar los recursos y aumentar la productividad.

El arado de dos surcos funciona mediante la creación de dos zanjas paralelas en una sola pasada. Esto no solo mejora la eficiencia, sino que también asegura una mayor uniformidad en la profundidad y el ancho de los surcos, lo cual es crucial para la siembra mecanizada y la distribución equitativa del agua de riego. Además, al permitir una mayor aireación del suelo y facilitar la incorporación de materia orgánica y fertilizantes, el arado de dos surcos contribuye a mejorar la estructura del suelo y su capacidad para retener nutrientes y agua, beneficiando así la salud de los cultivos y la sostenibilidad del terreno a largo plazo.

* + - 1. **Materiales de construcción de un Arado de Doble Surco**

Estos arados se fabrican generalmente con acero de alta resistencia debido a su durabilidad y capacidad para soportar las fuerzas mecánicas durante el surcado. Los componentes principales incluyen la reja, que es la parte que corta la tierra; la oreja, que es la sección que abre la tierra cortada; y el cincel o garra, que ayuda a abrir la tierra e iniciar el surcado. Además, se utilizan trinquetes para ajustar el ángulo de trabajo del arado y chasis robustos que proporcionan la estructura principal con posiciones ajustables para adaptarse a diferentes condiciones del terreno. Para garantizar la seguridad y el rendimiento óptimo, también se incluyen medidas de seguridad como el uso de equipos de protección personal y la implementación de procedimientos de operación seguros. La calidad de los materiales y la precisión en la fabricación son cruciales para asegurar la eficiencia y la vida útil del arado.

* + 1. **Gleba**

La gleba es la tierra usada para la agricultura, destinada a cultivos de plantas anuales y que se diferencia de la tierra para pastoreo o cultivos permanentes como olivares o viñedos. Este concepto fue destacado por el economista David Ricardo, quien identificó a la gleba como un factor productivo esencial junto al trabajo y al capital. La gleba también puede referirse a la tierra utilizada para la agricultura de subsistencia en áreas rurales, donde se cultivaban alimentos básicos para el consumo de la comunidad. Además, existía la agricultura comercial en grandes extensiones de tierra, donde la gleba se utilizaba para cultivos a gran escala con posterior venta y exportación.

* + 1. **Tipos de Suelo**

Los suelos son un factor fundamental para el desarrollo de los cultivos, y su clasificación se realiza atendiendo a características como la textura, el pH, la fertilidad, profundidad y salinidad.

Tabla 2-2: Tipos de suelos

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tipo de Suelo** | **Textura** | **pH** | **Fertilidad** | **Profundi-dad** | **Salinidad** | **Funcionalidad** |
| Arcilloso | Fina y compacta | Generalmen-te ácido | Alta | Profunda | Baja | Bueno para cultivos que requieren suelos ricos y retención de agua |
| Arenoso | Gruesa y ligera | Generalmen-  te alcalino | Baja | Variable, a menudo poco profunda | Variable | Adecuado para cultivos de raíces profundas y tolerantes a la sequía |
| Franco | Equilibra-  da | Neutro | Media a alta | Profunda | General-  mente baja | Versátil para la mayoría de los cultivos, buena aireación y drenaje |
| Limoso | Fina y suave | Neutro a ligeramente ácido | Muy alta | Profunda | Baja | Ideal para la mayoría de los cultivos, excelente retención de nutrientes |
| Turba | Orgánica y porosa | Ácido | Alta en materia orgánica | Variable | Puede ser alta | Bueno para cultivos que requieren suelos ácidos y ricos en humus |
| Salino | Variable | Alcalino | Baja | Variable | Alta | Limitado a cultivos tolerantes a la sal, como algunas gramíneas |
| Calizo | Variable | Alcalino | Media | Variable | Baja | Adecuado para cultivos que toleran altos niveles de calcio |

**Fuente:** datos obtenidos de ULPGC (2019).

* **Textura:** Describe cómo se siente el suelo y cómo está compuesto, afectando la aireación y la capacidad de retención de agua.
* **pH**: Determina la acidez o alcalinidad del suelo, influyendo en la disponibilidad de nutrientes para las plantas.
* **Fertilidad:** Refleja la cantidad y disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.
* **Profundidad:** Afecta el espacio disponible para el desarrollo de las raíces y la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes.
* **Salinidad:** Indica la concentración de sales en el suelo, que puede inhibir la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas.

Estos factores son esenciales al elegir el tipo de cultivo más adecuado para un suelo particular, y deben considerarse cuidadosamente para optimizar la producción agrícola.

* 1. **DIAGNOSTICO**
     1. Información y Datos obtenidos

Con el fin de recabar datos reales para la realización del presente trabajo, se realizó una encuesta para conocer la situación actual de los agricultores del municipio de Calazaya. El muestreo esta detallada en la siguiente tabla:

Tabla 2-3: Muestreo del municipio de Calazaya

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| MUESTREO | | |
| TOTAL, HABITANTES EN CALAZAYA | PERSONAS DEDICADAS A LA AGRICULTURA | PERSONAS QUE REALIZARON LA ENCUESTA |
| 374 | 50 | 30 |

**Fuente:** Elaboración Propia

Para el diseño de un arado de doble surco compatible con el motocultor Fusinda 9 HP, se realizó un análisis exhaustivo que incluyó revisión de especificaciones técnicas del motocultor y encuestas a agricultores de Calazaya. Este análisis proporcionó una comprensión profunda de desafíos actuales, limitaciones y oportunidades de mejora. Los datos recopilados fundamentan el diseño propuesto, asegurando que sea eficiente y viable para las necesidades de los agricultores locales.

* + 1. **Características del Motocultor FUSINDA** 
       1. **Datos generales del Motocultor 9HP (MODELO FG1050F)**

Las características técnicas de este motocultor son tomadas del catálogo del fabricante, las mismas servirán como referencia para el diseño del arado de doble surco.

* Marca: FUSINDA
* Tipo: Cultivador rotatorio
* Modelo: FG1050F
* Modelo del motor: FD210
* Cilindrada: 270 CC.
* Max. Potencia de salida (kW/HP): 9 HP
* Revoluciones del motor: 3600 rpm
* Capacidad del tanque de combustible: 3.6 L
* Sistema de arranque: Inicio de retroceso
* Ancho de labranza (mm): 900-1350
* Profundidad de labranza (mm): 150-300
* Palanca de cambios: ,2,1,0,-1
* Transmisión: Engranaje
* Llantas: 4.0-8
* Cuchillas: 4 Piezas x 4 Grupos
* Peso aproximado: 120kg.
* Dimensiones (L x A x Alt cm): 80X90X115
* Fuente de alimentación: Gasolina
* Consumo de combustible: 1,57 km/h
* Productividad: 400 m^2/h
* Operación: Maquinaria de preparación de suelos, funcionamiento continuo
* Campo de aplicación: Agricultura
* Política agrícola: Maquinaria de cultivo en seco
* Fabricación: 2019
* Color: Naranja



Figura 2-6: Motocultor FUSINDA 9 HP y sus implementos

**Fuente:** Made in China, 2024 https://es.made-in- china.com/co\_fusinda/product\_Fusinda-9HP-Gasoline-Motocultor-Power-Tiller-with-177f-Gasoline-Engine\_eueeghhyy.html.

* + 1. **Resultados de encuestas**

La encuesta esta detallada en el anexo D, a continuación, se presentan los resultados de dicha encuesta:

Figura 2-7: Tamaño de terreno

**Fuente:** elaboración propia (Excel)

Como se ve en la **figura 2-7,** en Calazaya, la mayoría de los agricultores poseen terrenos pequeños: el 53% tiene menos de 0.5 hectáreas y el 33% entre 0.5 y 1 hectárea. Solo el 13% dispone de terrenos de 1 a 2 hectáreas, y ninguno posee más de 2 hectáreas. Esta distribución indica que la comunidad está compuesta mayormente por pequeños agricultores, subrayando la necesidad de implementos adecuados para maximizar la productividad en espacios limitados y con topografía irregular.

Figura 2-8: Tamaño de terreno cultivado

. **Fuente:** Elaboración propia (Excel)

Los datos de la **figura 2-8** muestran que en Calazaya, la mayoría de los agricultores cultivan terrenos pequeños: el 53% usa menos de 0.5 hectáreas y el 33% cultiva entre 0.5 y 1 hectárea. Solo el 13% utiliza terrenos de entre 1 y 2 hectáreas, y ninguno cultiva más de 2 hectáreas. Estos datos indican que la mayoría de los terrenos pequeños están en uso activo para la agricultura.

Figura 2-9: Tipos de cultivo

**Fuente:** Elaboración propia (Excel)

La **figura 2-9**, muestra que el maíz constituye el 40% de los cultivos, seguido por la papa con el 33%. El haba y el durazno son cultivados por el 13% y el 7% de los agricultores respectivamente, mientras que la uva y otros cultivos representan cada uno el 3%. Estos datos subrayan la predominancia de cultivos básicos como el maíz y la papa, indicando que mejoras en la eficiencia agrícola, como la adopción de un arado de doble surco, podrían incrementar significativamente la producción.

Figura 2-10: Posesión de motocultores

**Fuente:** Elaboración propia (Excel)

En la **figura** **2-10**, se observa que el 100% de los agricultores poseen una motocultora Fusinda de 9 HP. La posesión universal de los motocultores sugiere la viabilidad para implementar el arado de doble surco.

Figura 2-11: Uso de motocultor en terrenos mayores a 0.5 hectáreas

**Fuente:** Elaboración propia (Excel)

En la **figura 2-11,** del 47% de los agricultores con terrenos mayores a media hectárea, el 27% usa sus motocultores mientras que el 20% no los utiliza. El 53% de los agricultores no tiene terrenos mayores a media hectárea y, por lo tanto, no usan motocultores en esas extensiones. Esto muestra que, aunque la mayoría encuentra útiles los motocultores para parcelas más grandes, una proporción significativa aún no los utiliza en terrenos mayores.

Figura 2-12: Estado del motocultor

**Fuente**: Elaboración propia (Excel)

En la **figura 2-12** el 50% de agricultores reportan que sus motocultores Fusinda de 9 HP están en buen estado y en uso, mientras que el 30% indica que están en buen estado, pero no en uso. Un 13% requiere mantenimiento y 7% están deteriorados. Esto refleja una alta tasa de buen estado general (80%) de los motocultores, pero también señalan la necesidad de mantenimiento y la posible falta de utilización efectiva debido a la carencia de implementos específicos.

Figura 2-13: Limitaciones

**Fuente:** Elaboración propia (Excel)

En la **figura 2-13**, la principal limitación que enfrentan los agricultores al usar las motocultoras Fusinda de 9 HP es la falta de implementos adecuados, mencionada por el 46% de los encuestados. Otros problemas incluyen diversos inconvenientes (17%), dificultad en el manejo (17%) y alto consumo de combustible (13%). Esto sugiere que la mayor barrera para el uso eficiente de las motocultoras es la carencia de implementos específicos, como un arado de doble surco.

Figura 2-14: No uso de Motocultor debido a limitaciones

**Fuente:** Elaboración propia (Excel)

En la **figura 2-14**, el 40% de los agricultores encuestados ha dejado de utilizar sus motocultores debido a alguna limitación, mientras que el 60% sigue utilizándolos a pesar de las dificultades. Esto sugiere que casi la mitad de los agricultores encuentran las limitaciones lo suficientemente significativas como para dejar de usar sus motocultores. Esta alta tasa de desuso subraya la importancia de abordar estas limitaciones para aprovechar al máximo sus motocultores.

Figura 2-15: Eficiencia del motocultor con arado de doble surco

**Fuente:** Elaboración propia (Excel)

En la **figura 2-15** se puede observar que todos los agricultores encuestados (100%) consideran que un arado de doble surco mejoraría la eficiencia del uso de sus motocultores Fusinda de 9 HP. Este resultado muestra un consenso claro y fuerte entre los agricultores sobre la necesidad y el potencial beneficio de contar con un arado de doble surco.

Figura 2-16: Interés para adquirir un arado de doble surco

**Fuente:** Elaboración propia (Excel)

En la **figura 2-16** se puede observar que el 80% de los agricultores encuestados estarían dispuestos a adquirir un arado de doble surco si estuviera disponible, mientras que el 20% no lo estarían. Estos resultados indican una alta demanda potencial para este implemento agrícola entre los agricultores de la comunidad de Calazaya.

Figura 2-7: Característica más importante del arado de doble surco

**Fuente:** Elaboración propia (Excel)

En la **figura 2-17** la característica más importante para los agricultores al adquirir un arado de doble surco es el precio accesible (50%), seguida de la durabilidad (40%), y solo el 10% considera la fácil operación como el factor más importante. Estos resultados indican que el factor económico es crucial y probablemente decisivo, seguido por la durabilidad, aspectos que deben considerarse en el diseño del arado.

* 1. ANÁLISIS DE LA INFORMACION

La revisión bibliográfica y las encuestas revelaron la necesidad de tecnología adaptada a las restricciones económicas y operativas de los agricultores en Calazaya. Estudios previos demostraron que adaptaciones similares mejoran la eficiencia en la labranza en distintos contextos agrícolas, subrayando la importancia de la mecanización. Este trasfondo teórico proporcionó una base sólida para el desarrollo del proyecto.

La encuesta a los agricultores de Calazaya reveló que, aunque todos conservan los motocultores adquiridos, muchos están inutilizados o infrautilizados por diversas razones. Además, la mayoría mostró interés en adquirir un arado de doble surco, indicando una demanda insatisfecha de herramientas que aumenten la productividad y reduzcan el tiempo y esfuerzo en la preparación del suelo.

La caracterización técnica de los motocultores Fusinda destacó limitaciones en la compatibilidad con ciertos tipos de arados, crucial para establecer los parámetros de diseño del arado de doble surco. Esto garantiza que el diseño sea adecuado para las capacidades operativas específicas de los motocultores Fusinda disponibles en el mercado. La propuesta final del diseño del arado de doble surco se basó en datos de investigación que destacaron la durabilidad y el costo como prioridades para los agricultores encuestados. Además, se abordaron desafíos específicos como la eficiencia en suelos variados de Calazaya, adaptando el diseño para diferentes texturas y profundidades de labranza necesarias.

* 1. PROPUESTA DE DISEÑO

La propuesta incluirá el diseño de un arado de doble surco compatible con el Motocultor FUSINDA de 9HP, basado en una investigación exhaustiva y una encuesta que identificó las necesidades clave. Se destacarán especificaciones técnicas, mejoras ergonómicas y funcionales, asegurando la adecuada integración y eficiencia del arado con el motocultor específico. A continuación, se presenta el arado de doble surco y sus partes principales, que están detalladas en la siguiente imagen:

Dibujo de video juego

Descripción generada automáticamente con confianza baja

4

3

2

9

8

7

6

5

1

Figura 2-8: Partes del arado de doble surco

**Fuente:** Elaboración propia

DONDE:

1) Sistema de acople al motocultor

2) Regulador vertical de altura

3) Surcadora

4) Garra

5) Regulador de inclinación

6) Soporte principal (apoyo horizontal)

7) Brazo vertical

8) Porta garra

9) Oreja

* + 1. Determinación de Parámetros de diseño

Como resultado del análisis previo, se presenta la siguiente tabla con los parámetros de diseño:

Tabla 2-4: Parámetros de diseño

|  |  |
| --- | --- |
| **PARAMETROS DE DISEÑO** | |
| **ARADO DOBLE SURCO** | |
| Cantidad de surcadores | 2 |
| Profundidad de surcado | 20-30cm (regulable) |
| Ancho de surcado | 80° (regulable) |
| Dimensiones | A900mm H760mm L740mm |
| Material | ASTM A-36 |
| **MOTOCULTOR** | |
| Potencia de funcionamiento | 9 HP |
| Maquina a la que se acopla | Fusinda |
| MOTOCULTOR |
| Acople | L180mm H55mm |

**Fuente:** Elaboración propia

* + 1. **Principales apreciaciones**

Los equipos agrícolas están concebidos para ser utilizados en una amplia variedad de suelos agrícolas, y están especialmente adaptados para suelos arcillosos, que son conocidos por presentar una mayor resistencia a la labranza. Un ejemplo concreto es el caso de las ruedas de pendiente, las cuales están diseñadas principalmente para permitir que los motocultores se adapten a terrenos inclinados. Por esta razón, son un accesorio muy útil en regiones interandinas.

Para calcular la fuerza generada en el arado debido al motocultor, tenemos la siguiente relación que nos ayudara a determinarlo:

**Potencia Mecánica**

Donde:

es la potencia del motocultor

es la velocidad movimiento

es la fuerza que se genera debido al movimiento

Otra manera de determinar la fuerza generada en el arado es utilizando una ecuación que cuantifica la fuerza que se necesita vencer, que está en base a los diferentes tipos de suelos:

**Fuerza Estática**

Dónde:

𝐹=Fuerza generada por el suelo

𝐴= Área de corte

𝐶= Rango de Requerimiento

Tabla 2-5: Requerimiento de fuerzas, energía y potencia de las herramientas agrícolas

|  |  |
| --- | --- |
| **Máquina** | **Rango típico de requerimiento** |
| Arado de doble surco | 2.1-9.7 KN/𝑐𝑚2 |
| Surcadora | 1.8 – 3.6 KN por cuerpo |
| Disco Cultivador | 2.6 – 5.8 KN/𝑚 |
| Rastra de discos | 0.7 – 1.5 KN/𝑚 |
| Tandem | * 1. – 2.9 KN/𝑚 |

**Fuente:** (Ashburner, y otros, 1984)

* + 1. **Necesidad de uso de los equipos**

El surcador es un implemento utilizado en el proceso de **surcado** que consiste en abrir surcos o canales en la tierra con el objetivo de preparar el suelo para la siembra o plantación de cultivos, además facilitan una disposición ordenada de las semillas o plantas, lo que puede mejorar la eficiencia del uso del terreno y aumentar el rendimiento de los cultivos. El motocultor está diseñado para el trabajo en terrenos de difícil acceso, las ruedas están diseñadas con el objetivo específico de permitir el trabajo en pendientes.

**Arado de doble surco**

El procedimiento del análisis se basará en las secciones del método de elementos finitos.

**Brazo de arado**

Como diseño previo, se obtendrá el análisis de los brazos de arado que son los principales elementos que soportan la carga.

**Datos del problema**

Los brazos de arado al ser libres en un extremo y sujetos en el otro, se ajustan a un modelo de estudio de una viga en voladizo, cuyo punto más crítico será cuando la carga aplique en el punto más distante del apoyo fijo (empotramiento).

* + 1. **Cálculo de la fuerza resistiva del suelo**

El primer cálculo se basa en la **potencia del motocultor**, que tiene una potencia de 9 HP9 (equivalente a 6711.3 Watts). Utilizamos la ecuación de potencia, que relaciona la fuerza con la velocidad:

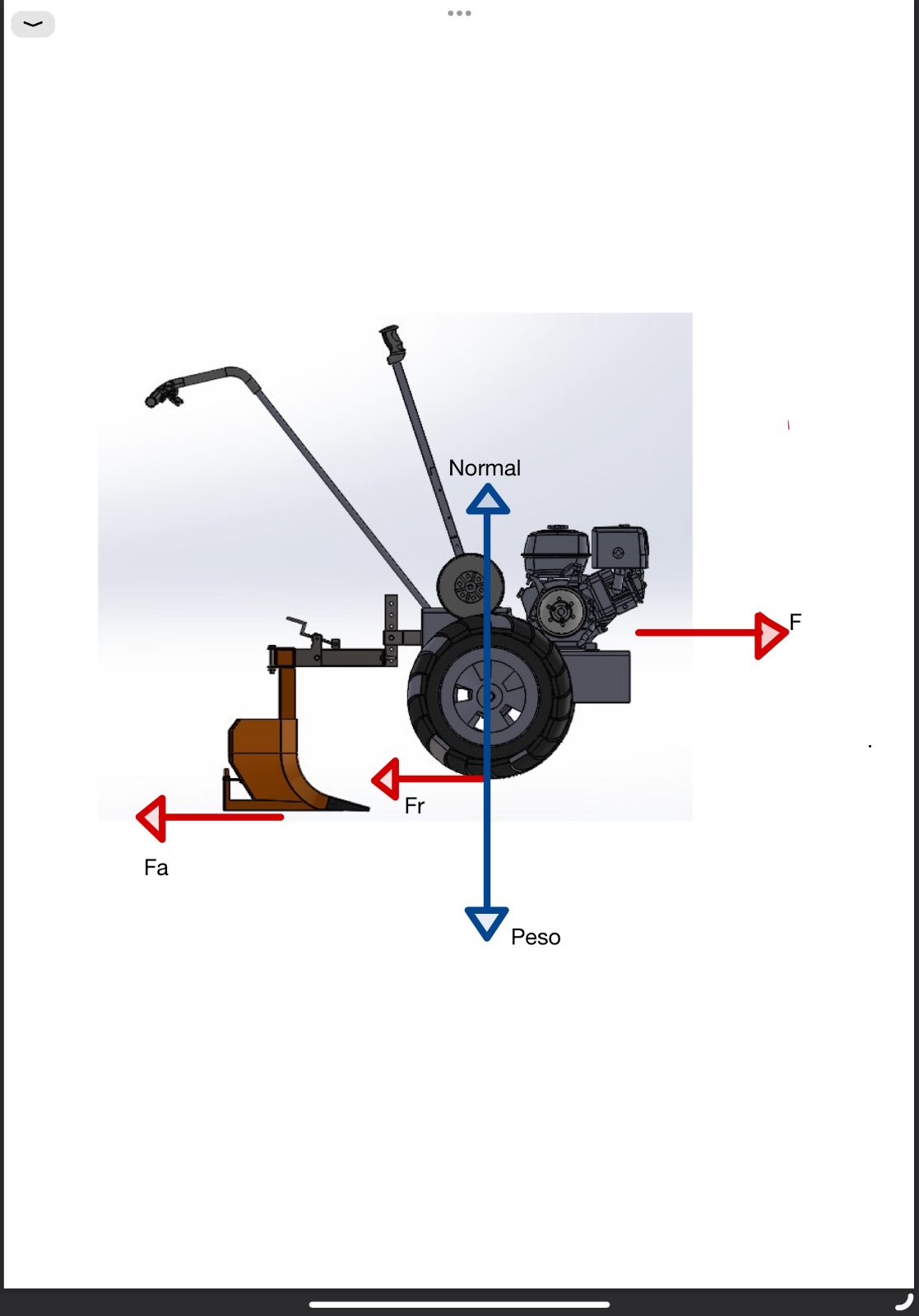
Donde:

* **P** es la potencia, en este caso **6711.3** Watts
* **v** es la velocidad del sistema, que es de 3.5 km/h (0.97 m/s)
* **F** es la fuerza que queremos determinar.

Despejamos la fuerza F de la ecuación:

Esta fuerza determinada está dividida entre la fuerza que se aplica al arado y la fuerza necesaria para el transporte. Por lo tanto, para calcular la fuerza aplicada al cuerpo de arado realizamos los siguientes cálculos:

Figura: Diagrama de cuerpo libre



Fuente: Elaboración propia

Donde:

es la fuerza total otorgada por el motocultor

es la fuerza de reacción que se ejerce en la sección del arado.

es la fuerza de fricción debido al contacto de las ruedas con el suelo

Peso es la fuerza total del peso del equipo

Normal es la fuerza normal

Ahora realizamos una sumatoria de fuerzas en los distintos ejes:

Sumatoria de fuerzas en el eje vertical.

Sumatoria de fuerzas en el eje horizontal

es el coeficiente de fricción entre las ruedas y el suelo, el cual puede obtener los distintos valores según la siguiente tabla:

Tabla Coeficientes de Fricción

|  |  |
| --- | --- |
| Condición | Coeficiente de fricción |
| Neumáticos agrícolas en tierra arada seca | 0.5- 0.7 |
| Neumáticos agrícolas en tierra arada húmeda | 0.3 - 0.5 |

Fuente: ASABA (American Society of Agricultural and Biological Engineers)

Como las condiciones del terreno pueden cambiar, se tomará un valor promedio de coeficiente de fricción de 0.5.

Entonces despejando el valor de Fa, tenemos:

El primer parámetro de diseño, es el cálculo de la fuerza resistiva del suelo que resulta como reacción al paso de la herramienta de corte del arado, esta fuerza depende del tipo del suelo y las dimensiones de la herramienta, considerando que nuestro arado es una herramienta de diente delgado con inclinación hacia delante.

Utilizando la ecuación:

**C** toma un valor de 9,7 (valor más desfavorable tomado de la Tabla 2-5) que es el valor máximo para arado, correspondiente a suelos de tipo arcilloso.

El área es la correspondiente al área de corte que serán la profundidad de trabajo y el ancho de la cuchilla de corte, así tenemos:

Reemplazando en la ecuación de la fuerza

Se aplicará una fuerza de 1455 Newtons por lado, lo que en total sería una fuerza de 2910 N

Una vez determinada la carga que será aplicada en cada una de las cuchillas, se comprobará la resistencia de la misma.

* + 1. **Selección del Material**

Para la selección del material se tomaron aspectos como resistencia, disponibilidad en el mercado y costo.

* + - 1. **Resistencia**

El material utilizado debe ser metálico, y más específico un acero al carbono debido a que no existen condiciones excesivas de desgaste, o ambientes con fuertes agentes corrosivos que requieran aceros con elementos de aleación.

Los aceros al carbono cuentan con valores de resistencia a la fluencia (Sy) desde 180 MPa hasta 800 MPa, proporcionando un alto grado de resistencia dependiendo de la necesidad presentada en el campo.

* + - 1. **Disponibilidad en el mercado**

El acero al carbono es uno de los aceros que se puede encontrar con facilidad en el mercado local, dentro de estos aceros al carbono podemos encontrar dos tipos de aceros, los estructurales y aceros de construcción. Los aceros estructurales se encuentran disponibles hasta un máximo valor de 24,5 mm de diámetro, al contrario de los aceros de construcción que llegan hasta valores dimensionales de 32 mm de diámetro.

* + - 1. **Costo**

Los aceros al carbono son los aceros más económicos que podemos encontrar en mercado. El acero más apropiado para los brazos de arado es un acero de construcción (varilla lisa), debido especialmente que en mercado existe varilla con diámetros por encima de una pulgada de diámetro, mientras que los demás elementos se construirán en acero estructural A36.

* + 1. **Solución analítica de algunos componentes**
       1. **Análisis de la sección de tubo cuadrado utilizado para soportar el arado de doble surco**

En este estudio, se llevará a cabo un análisis estático analítico del perfil de 60x60 mm (un perfil comercial) con el objetivo de determinar el espesor mínimo requerido para garantizar su resistencia adecuada bajo cargas de torsión y flexión. Se revisan los conceptos fundamentales de torsión y flexión en elementos estructurales, destacando las ecuaciones y principios básicos involucrados en el cálculo de esfuerzos y deformaciones.

Se presentan las ecuaciones analíticas pertinentes para el cálculo de los esfuerzos máximos y las deflexiones en un perfil sometido a cargas de torsión y flexión.

Esfuerzo a flexión

Donde:

es el esfuerzo de fluencia del material (Acero A36 )

M es el momento flector

I es el momento de inercia de la sección transversal (Tubo cuadrado )

Y es la distancia del extremo del tubo hacia su centro de masa (30(mm))

Esfuerzo a torsión para tubo cuadrado

Donde:

es el esfuerzo de corte por torsión (Acero A36 ).

es el momento de torsión.

t es el espesor del tubo.

b es su longitud de ancho y altura (60 mm).

Imagen que contiene tabla, colgando, firmar

Descripción generada automáticamente

Figura 2-19: Sección del tubo

**Fuente:** Engineers corner by Michael Samuels

Ahora se analiza el sistema y las fuerzas que actúan.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura 2-20: Simplificación de las fuerzas

**Fuente:** elaboración propia

Se realiza un diagrama de cuerpo libre para determinar los momentos de flexión y torsión máximos.

Interfaz de usuario gráfica

Descripción generada automáticamente

Figura 2-21: Diagrama de esfuerzo cortante y flexión

**Fuente:** Elaboración propia

Del diagrama se obtiene un momento de flexión máximo de 356.4750(N-m)

Gráfico

Descripción generada automáticamente con confianza media

Figura 2-22: Diagrama de momento de torsión

**Fuente:** Elaboración propia

Del diagrama se obtiene un momento de torsión máximo de 509.25(N-m)

Ahora en base a los momentos de flexión y torsión máximas, se halla el espesor mínimo del perfil cuadrado.

Análisis del espesor por flexión

En este caso el esfuerzo de fluencia del material se divide entre un factor de seguridad que garantice su resistencia.

Resolviendo el sistema se obtiene un espesor mínimo de:

Análisis del espesor por torsión

En este caso el esfuerzo de corte del material se divide entre un factor de seguridad que garantice su resistencia.

Resolviendo el sistema se obtiene un espesor mínimo de:

Tras realizar los cálculos pertinentes, se determinó que el valor mínimo del espesor requerido es de 1.48 mm. Sin embargo, con el fin de garantizar márgenes adecuados de seguridad y resistencia estructural, se ha decidido emplear un perfil de tubo cuadrado con dimensiones de 60x60 mm y un espesor de 2 mm.

* + - 1. **Análisis de diámetros de pernos del equipo**

Esfuerzo por tracción:

Donde:

es el esfuerzo de fluencia del material (Acero A36 )

F es la fuerza aplicada

A es el área de sección transversal del tornillo

Esfuerzo por corte:

Donde:

es el esfuerzo de corte del material (Acero A36 )

F es la fuerza aplicada

A es el área de sección transversal del tornillo

Tenemos este primer caso donde se puede simplificar la unión a una acción de esfuerzo normal.

Diagrama, Dibujo de ingeniería

Descripción generada automáticamente

Figura 2-23: Diagrama de fuerzas en

el perno de unión principal

**Fuente:** Elaboración propia

Se determina el diámetro mínimo:

Algunos autores recomiendan utilizar un factor de seguridad de 3 para la tracción y el corte en pernos, dividiendo el esfuerzo de tracción entre ese valor.

D=4.72 (mm)

En el segundo caso podemos simplificar la unión a un esfuerzo de corte:

Imagen que contiene Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura 2-24: Diagrama de fuerzas del perno

que sostiene el arado

**Fuente:** Elaboración propia

Se determina el diámetro mínimo para este caso:

D=3.72 (mm)

Tras realizar un análisis detallado, se determinó que el diámetro mínimo requerido para los pernos en el proyecto es de 4.72 mm, basado en consideraciones técnicas y cálculos específicos. Sin embargo, con el objetivo de garantizar un margen de seguridad adecuado y robustez estructural en el diseño, se ha optado por seleccionar pernos con un diámetro de 10 mm(M10).

* + 1. **Solución de análisis por elementos finitos**

Para la solución lo primero es agregar el modelo al entorno del MEF.

Dibujo de video juego

Descripción generada automáticamente con confianza baja

Figura 2-25: Modelo del Equipo

**Fuente:** Elaboración propia (Solidworks)

El mallado se lo utilizará con la opción de mallado del tipo tetraédrico basado en curvatura.

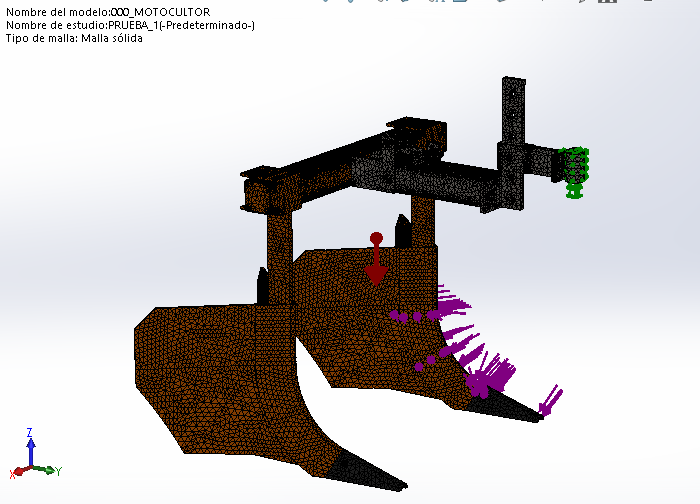


Figura 2-26: Enmallado de aplicación de cargas en la

superficie de contacto

**Fuente:** Elaboración propia (Solidworks)

Como siguiente paso, se hace necesaria la definición de parámetros de condiciones de contorno tales como fuerzas actuantes y puntos de apoyo.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura 2-27: Aplicación de cargas en la superficie de contacto

**Fuente**: Elaboración propia (Solidworks)

* **Post-Proceso**

**Resultados:**los dos principales obtenidos como resultados, que nos ayudarán a evaluar el diseño, estos son: el coeficiente de seguridad y la deformación máxima.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura 2-28: Tensión de Von Mises

**Fuente:** Elaboración propia (Solidworks)

Tabla 2-6:Tensión de Von Mises

| Nombre | Tipo | Mín. | Máx. |
| --- | --- | --- | --- |
| **Tensiones1** | VON: Tensión de von Mises | 3,39e-07 N/mm^2 (MPa)  Nodo: 239070 | 129 N/mm^2 (MPa)  Nodo: 247620 |

**Fuente:** Elaboración Propia

Diagrama

Descripción generada automáticamente Figura 2-29: Desplazamientos

**Fuente:** Elaboración propia (Solidworks)

Tabla 2-7: Desplazamientos

| Nombre | Tipo | Mín. | Máx. |
| --- | --- | --- | --- |
| **Desplazamientos** | URES: Desplazamientos resultantes | 0 m  Nodo: 541 | 0,00312 m  Nodo: 26378 |

Fuente: Elaboración Propia

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura 2-30: Factor de Seguridad

**Fuente:** Elaboración propia (Solidworks)

Tabla 2-8: Factor de Seguridad

| Nombre | Tipo | Mín. | Máx. |
| --- | --- | --- | --- |
| **Factor de seguridad** | Automático | 1,49  Nodo: 283791 | 7,38e+08  Nodo: 239070 |

**Fuente:** Elaboración Propia

El análisis realizado con el software confirma que el material, los componentes y los accesorios no presentan riesgo de fallo, por lo que la selección es adecuada. Se espera un funcionamiento óptimo de las piezas y componentes.

# CAPITULO III

1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
   1. CONCLUSIONES

* La evaluación mediante encuestas y observación directa mostró que, aunque el 100% de los agricultores poseen motocultores Fusinda de 9 HP, una proporción significativa no los utiliza en terrenos mayores a media hectárea por falta de implementos adecuados, la mayoría de los agricultores tienen terrenos menores a media hectárea en los que se requiere optimización del proceso de surcado, al igual que en terrenos de mayor extensión. El 80% de los motocultores están en buen estado, pero el 30% de estos no se utilizan, reflejando la necesidad de herramientas como el arado de doble surco adaptado a estas máquinas para aumentar su eficiencia y uso en la preparación del suelo (en el surcado). Esto disminuirá el esfuerzo físico, costos en mano de obra, combustible y mantenimiento, ahorrando tiempo y mejorando la vida útil de los motocultores. La encuesta proporcionó datos cruciales para diseñar el arado según las necesidades de los agricultores de la comunidad de Calazaya.
* Se diseñó un arado de doble surco ajustado a las especificaciones técnicas de los motocultores FUSINDA de 9 HP. Utilizando SolidWorks, se visualizó detalladamente el arado, identificando componentes clave como los mecanismos de ajuste de profundidad y regulación de ángulo, características únicas respecto a otros arados. Esta representación gráfica permitió prever problemas de ensamblaje y optimizar el diseño para mejorar funcionalidad y ergonomía. El arado fue optimizado para los tipos de suelo de Calazaya, mejorando la productividad y reduciendo el esfuerzo físico necesario para la preparación del terreno.
* Mediante el análisis de elementos finitos, se evaluó y seleccionó el material adecuado para el arado, considerando el coeficiente de seguridad, la deformación máxima y el desplazamiento. El diseño resultó en un factor de seguridad de 1.5, dentro de los rangos establecidos, verificando que los componentes y accesorios no fallarán y asegurando un funcionamiento óptimo de las piezas.
* El análisis económico confirmó la viabilidad financiera de fabricar el arado de doble surco. Se estimaron los costos de producción y se compararon con el precio de mercado de arados similares, destacando la dificultad de encontrar arados compatibles con los motocultores FUSINDA 9HP. Los resultados mostraron que es posible producir y comercializar el arado a un precio competitivo, asegurando una buena relación costo-beneficio para los agricultores de Calazaya.

El desarrollo del arado de doble surco demostró ser una solución técnica viable y necesaria para mejorar la eficiencia de las motocultoras Fusinda de 9 HP en Calazaya. Este arado aborda las limitaciones actuales y puede transformar las prácticas agrícolas locales. La fabricación local reducirá significativamente los costos en comparación con los arados importados, haciéndolos más accesibles para los agricultores y promoviendo el desarrollo económico sostenible.

* 1. RECOMENDACIONES
* Continuar con encuestas periódicas para capturar necesidades y expectativas, e involucrar a los agricultores en el desarrollo continuo del arado para asegurar que futuras modificaciones se ajusten a sus necesidades prácticas.
* Implementar un programa de pruebas continuas para evaluar el rendimiento del arado en diversas condiciones climáticas y de suelo y analizar los comentarios para identificar áreas de mejora, como el rediseño del mecanismo de ajuste de profundidad si fuera necesario.
* Realizar estudios periódicos sobre durabilidad y desgaste de materiales, evaluar nuevas tecnologías para mejorar eficiencia y vida útil e implementar un programa de mantenimiento preventivo para reducir costos de reparación.
* Revisar periódicamente el análisis económico para ajustar costos y precios, buscar financiamiento y subsidios para reducir costos iniciales, y evaluar modelos de financiamiento con pagos a plazos cómodos para los agricultores.
* Organizar talleres para agricultores sobre manejo y mantenimiento de motocultores y arados de doble surco para mejorar la eficiencia y prolongar la vida útil del equipo. Se recomienda realizar mantenimiento preventivo y correctivo. (Anexo F)
* Consultar el manual del fabricante para obtener instrucciones específicas de mantenimiento para su modelo de surcadora.
* Realizar el mantenimiento de la surcadora de forma regular para prolongar su vida útil y garantizar un buen rendimiento.
* Guardar la surcadora en un lugar seco y protegido cuando no esté en uso.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

# ALCALDIA COTAGAITA. 2023. Agencia de Noticias Fides. *ANF.* [En línea] 11 de diciembre de 2023. [Citado el: 1 de mayo de 2024.] https://www.noticiasfides.com/nacional/sociedad/riada-en-cotagaita-arrasa-con-viviendas-cultivos-y-se-cobra-la-vida-de-dos-ninas-y-una-adulta-mayor.

* AMDEPO. AMDEPO. *AMDEPO.* [En línea] WordPress. [Citado el: 20 de abril de 2024.] https://amdepo.org.bo/cotagaita/.
* ARIAS, F. 2012. *El proyecto de investogacion, introduccion a la metodologia cientifica.* Caracas : Editorial Episteme, 2012. 980-07-8529-9.
* CHAFLA, Jessica y GUAÑUNA, Alexis. 2023. Diseñar y construir una maquina aradora para zonas agricolas con una capacidad de 6.5 HP con un motor a gasolina. *Trabajo de titulacion previo a la obtencion del titulo de Ingeniero Mecanico.* Quito : s.n., 2023.
* DE LA CRUZ, Julio. 2020. Diseño de un arado portatil para eliminar maleza en surcos de pan llevar caserío Cachinche. *Tesis para obtener el titulo profesional de ingeniero Mecanico Electricista.* Chiclayo : s.n., 2020.
* Dices.net. DICES.NET. *Dices.net.* [En línea] [Citado el: 20 de abril de 2024.] https://mapasamerica.dices.net/bolivia/mapa.php?nombre=Calasaya&id=15544.
* DICES.NET. Dices.net. *Dices.net.* [En línea] [Citado el: 20 de abril de 2024.] https://mapasamerica.dices.net/bolivia/mapa.php?nombre=Calasaya&id=15544.
* *Evaluación de factores técnicos y de operación de un motocultor con arado y cultivador.* YAM, J. A. y SANTOS, A. 2019. 1, Mexico : Revista Ciencias Tecnicas Agropecuarias, 2019, Vol. 28. 2071-0054.
* GOOGLE MAPS. Google Maps. *Google Maps.* [En línea] [Citado el: 20 de abril de 2024.] https://www.google.com/maps/place/Cotagaita/@-20.8178808,-65.6704546,3310m/data=!3m2!1e3!4b1!4m6!3m5!1s0x9407582174ba44a5:0xd4495bfe321c1351!8m2!3d-20.8161791!4d-65.6599142!16s%2Fm%2F0b6h76j?entry=ttu.
* GRANADOS, Luis y GRANADOS, Yosmer. 2023. Diseño y prototipado de una cosechadora de papa para la variedad diacol capiro en la comunidad de Lastay, provincia de concepcion, departamento de Junín. *Tesis para optar el Titulo profesional de Ingeniero Mecanico.* Huancayo : s.n., 2023.
* HERNANDEZ, R. y MENDOZA, C. 2018. *Metodologia de la investigacíon, las rutas cuantitativa cualitativa y mixta.* Mexico : Editorial Mc Graw Hill Education, 2018. 978-1-4562-6096-5.
* INE. 2013. Censo Nacional Agropecuario. *Ficha resumen Censo Nacional Agropecuario 2013.* 2013.
* LOPEZ, G. y SANCHEZ, C. 2014. Optimización y operacionalidad del motocultor para mejorar la producción. *Optimización y operacionalidad del motocultor para mejorar la producción del cultivo de arroz.* Guayaquil : s.n., 2014.
* LUNA, G. 2022. Repositorio institucional Universidad Mayor Real de San Andres. *Repositorio institucional Universidad Mayor Real de San Andres.* [En línea] 2022. [Citado el: 16 de abril de 2024.] http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/35458.
* MDRyT. 2019. Erbol, educacion radiofonica de Bolivia. *Erbol, educacion radiofonica de Bolivia.* [En línea] Periodico digital Erbol, 9 de diciembre de 2019. [Citado el: 5 de Mayo de 2024.] https://erbol.com.bo/gente/productores-agropecuarios-de-cotagaita-reciben-equipos-tecnol%C3%B3gicos.
* PLA, A. y QUIROZ, A. 2020. Motocultor uso y beneficios. Mexico : s.n., 2020.

ANEXOS

## **ANEXO A: CARACTERISTICAS TECNICAS DEL EQUIPO**

**Dimensiones:**

* **Longitud:** 740 mm.
* **Ancho:** 850 mm.
* **Altura:** 760 mm.

**Componentes:**

* **Orejas:** Fabricada en acero de alta resistencia, con dimensiones que varían según el modelo.
* **Brazos** Proporciona soporte a la hoja y la conecta al bastidor del arado.
* **Manivela** Gira el surco y lo deposita a un lado.
* **Brazo** Regula la profundidad de trabajo y facilita el manejo del arado.
* **Acople:** Permite acoplar el arado al tractor o motocultor. Los más comunes son el enganche de tres puntos y el enganche universal.

**Especificaciones técnicas:**

* **Número de cuerpos:** Se refiere a la cantidad de surcos que el arado puede abrir simultáneamente. Los arados de doble surco suelen tener dos cuerpos.
* **Ancho de trabajo:** Es la distancia entre los dos surcos que abre el arado.
* **Profundidad de trabajo:** Es la profundidad máxima a la que el arado puede labrar el suelo.
* **Potencia requerida:** Depende del modelo y las condiciones del suelo. En general, se recomienda un tractor o motocultor con una potencia de entre 9 y 10 Hp.

**Materiales:**

* **Acero:** El material más común para la fabricación de arados, debido a su resistencia y durabilidad en este caso se ha utilizado el acero AISI A36, AISI 1020

**Características adicionales:**

* **Regulable:** Permite ajustar el ángulo de trabajo y la profundidad de trabajo.
* **Desmontable:** Facilita el transporte y almacenamiento.

## **ANEXO B: PLANOS DE FABRICACIÓN**

**PLANOS**

## **ANEXO C: COSTOS DE FABRICACION Y EVALUACION ECONOMICA**

**Evaluación Económica y costos de fabricación**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| N.º DE  ELEMENTO | N.º DE PIEZA | CANTIDAD | COSTO (Bs) |
| 1 | ACOPLE DE MOTOCULTOR | 1 | 100 |
| 2 | REGULADOR VERTICAL | 1 | 30 |
| 3 | PASADOR DE ACOPLE | 1 | 20 |
| 4 | CONECTOR DE MOTOCULTOR | 1 | 40 |
| 5 | PIVOTE 1 | 1 | 25 |
| 6 | CONECTOR DE PIVOTE1 | 1 | 45 |
| 7 | EJE PIVOTE 1 | 1 | 20 |
| 8 | MANIJA | 1 | 40 |
| 9 | APOYO HORIZONTAL | 1 | 60 |
| 10 | AGARRE MOTOCULTOR | 2 | 100 |
| 11 | PORTAGARRA | 2 | 60 |
| 12 | OREJA | 1 | 70 |
| 13 | GARRA | 2 | 70 |
| 14 | Pieza2^000 | 1 | 10 |
| 15 | REGULADOR | 4 | 50 |
| 16 | OREJA | 1 | 70 |
| 17 | OREJA1 | 1 | 70 |
| 18 | OREJA | 1 | 70 |
| 19 | B18.2.3.5M - Hex bolt M10 x 1.5 x 90 --26N | 4 | 10 |
| 20 | B18.2.4.2M - Hex nut, Style 2, M10 x 1.5, with 16mm WAF  --D-N | 4 | 10 |
| 21 | B18.2.3.2M - Formed hex screw, M10 x 1.5 x 90 --26WN | 1 | 3 |
| 22 | B18.2.3.2M - Formed hex screw, M10 x 1.5 x 40 --26WN | 1 | 3 |
| 23 | B18.3.5M - 10 x 1.5 x 20 Socket FCHS -- 20N | 4 | 10 |
| 24 | B18.2.3.5M - Hex bolt M10 x 1.5 x 45 --26N | 2 | 5 |
| 25 | B18.2.4.5M - Hex jam nut, M10 x 1.5, with 16mm WAF -- D-N | 4 | 10 |
|  |  | TOTAL | 1001 |

**Fuente:** Elaboración propia

El valor total entre los materiales y accesorios para el arado de doble surco es de: 1001 bolivianos.

**Costos de equipos y maquinaria utilizados**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Descripción | Costo por hora (Bs) | Horas de equipo | Valor (Bs) |
| Cizalla | 35 | 1 | 40 |
| Taladro | 100 | 0.3 | 35 |
| Soldadora Eléctrica | 28 | 5 | 140 |
| Equipo de pintura | 45 | 1 | 45 |
| Esmeril | 10 | 4 | 40 |
| Prensa de banco | 5 | 2 | 10 |
| Cortadora | 12 | 3 | 40 |
|  |  | Total | 350 |

**Fuente:** Elaboración propia

**Costos por mano de obra**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Trabajador | Precio por Hora (Bs) | Hora | Valor (Bs) |
| Maestro mecánico | 35 | 10 | 350 |
| Soldador | 30 | 4 | 120 |
| Tornero | 25 | 2 | 50 |
| Herrero | 20 | 3 | 60 |
|  |  | Total | 580 |

**Fuente:** Elaboración propia

**Costos directos**

|  |  |
| --- | --- |
| Detalle | Valor total (Bs) |
| Materiales y accesorios | 1001 |
| Maquinaria y equipo | 350 |
| Mano de obra | 580 |
| TOTAL | 1931 |

**Fuente:** Elaboración propia

El valor total de los costos directos para el arador de doble surco es igual a 1931 bolivianos.

**Costos indirectos**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Detalle | Cantidad | Valor (Bs) |
| Supervisión | 15% de costos directos | 290 |
| Imprevistos | 5% de costos directos | 97 |
|  | TOTAL | 387 |

**Fuente:** Elaboración propia

El valor total de los costos indirectos para el arador de doble surco es de 387 bolivianos.

**Costo total**

|  |  |
| --- | --- |
| Detalle | Valor (Bs) |
| Costos directos | 1931 |
| Costos indirectos | 387 |
| TOTAL | **2318** |

**Fuente:** Elaboración propia

## **ANEXO D: COMPARACION DE COSTOS**

**Comparación de costos**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **MARCA** | **CAPACIDAD** | **PRECIO (Bs)** |
| CIFEMA | 2 SURCOS | 3500 |
| HERRAMIENTA DISEÑADA | 2 SURCOS | 2318 |

**Fuente:** elaboración propia

## **ANEXO E: ENCUESTA**

1. **¿Cuál es el tamaño total de su terreno agrícola?**
   * Menos de 0.5 hectáreas
   * Entre 0.5 y 1 hectárea
   * Entre 1 y 2 hectáreas
   * Más de 2 hectáreas
2. **¿Cuánto de su terreno utiliza actualmente para el cultivo?**
   * Menos de 0.5 hectáreas
   * Entre 0.5 y 1 hectárea
   * Entre 1 y 2 hectáreas
   * Más de 2 hectáreas
3. **¿Qué cultivos siembra periódicamente en su terreno?**

* Maíz
* Papa
* Haba
* Durazno
* Uva
* Otros

1. **¿Posee un motocultor Fusinda de 9 HP?**

* Sí
* No

1. **¿Usa el motocultor en terrenos mayores a 0,5 hectáreas?**
   * Sí
   * No
   * No tiene terreno mayor a 0.5 hectáreas
2. **¿Cuál es el estado actual de su motocultor?**
   * En buen estado y en uso
   * En buen estado, pero no en uso
   * Necesita mantenimiento
   * Está deteriorada

7. **¿Qué limitaciones ha encontrado al usar el motocultor?**

* Falta de implementos adecuados (como arado de doble surco)
* Dificultad en el manejo
* Alto consumo de combustible
* Otros

1. **¿Ha dejado de utilizar el motocultor debido a alguna limitación?**
   * Sí
   * No
2. **¿Considera que un arado de doble surco mejoraría la eficiencia del uso de su motocultor?**

* Sí
* No

1. **¿Estaría dispuesto a adquirir un arado de doble surco si estuviera disponible y a un precio accesible?**
   * Sí
   * No
2. **¿Qué característica considera importante en un arado de doble surco?**

* Durabilidad
* Precio accesible
* Fácil operación

**ANEXO F: MANTENIMIENTO DEL ARADO**

**Inspección previa:**

1. **Revisar el estado general de la surcadora doble:** Asegurarse de que no haya daños estructurales, como grietas, soldaduras rotas o piezas desgastadas.
2. **Comprobar el apriete de las tuercas y tornillos:** Asegurar que todas las tuercas y tornillos estén bien apretados para evitar que se aflojen durante el trabajo.
3. **Lubricar las partes móviles:** Aplicar aceite o grasa a las articulaciones, cojinetes y engranajes para garantizar un funcionamiento suave y reducir el desgaste.

**Mantenimiento preventivo:**

1. **Afilar las cuchillas:** Las cuchillas deben estar afiladas para que puedan cortar el suelo de manera eficiente y evitar un esfuerzo excesivo en el tractor.
2. **Ajustar la profundidad de trabajo:** Asegurar que la surcadora esté ajustada a la profundidad de trabajo deseada para obtener un surco uniforme.
3. **Verificar la presión de los neumáticos del motocultor:** Los neumáticos deben tener la presión correcta para garantizar una buena tracción y estabilidad.
4. **Limpiar la surcadora:** Eliminar la tierra, el barro y otros residuos que puedan acumularse en la surcadora para evitar la corrosión y el mal funcionamiento.

**Mantenimiento correctivo:**

1. **Reemplazar las piezas desgastadas o dañadas:** Si se encuentran piezas desgastadas o dañadas, deben reemplazarse por repuestos nuevos y de buena calidad.
2. **Soldar las grietas o roturas:** Si se encuentran grietas o roturas en la estructura de la surcadora, deben soldarse por un profesional calificado.
3. **Ajustar los frenos:** Asegurar que los frenos funcionen correctamente para garantizar la seguridad durante el trabajo.