

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

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
MECA-ELECTRÓNICAS**

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA



GRADUACIÓN MODALIDAD DIPLOMADO

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA SURCADORA AGRÍCOLA
ADAPTADA AL MOTOCULTOR CHANGFA CF 151, PARA
MEJORAR LAS TAREAS AGRÍCOLAS DE SURCADO EN LA
COMUNIDAD DE SAN JUAN, PROVINCIA DE YAMPARÁEZ**

POSTULANTE: Ademar Saavedra Perka

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

SUCRE – BOLIVIA

2024

CESIÓN DE DERECHOS

Al presentar este trabajo, como uno de los requisitos previos para la obtención del título de Licenciado en Ingeniería Electromecánica y habiendo aprobado el diplomado en “Diseño mecánico Industrial, CAD CAE CNC Y CAM” de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, autorizo al Centro de Estudios de Posgrado e Investigación 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 con fines educativos, manteniendo mis derechos de autor hasta un periodo de 30 meses posterior a su aprobación.

Ademar Saavedra Perka

Sucre, junio de 2024

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres, Juan José Saavedra, Marina Perka por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional a lo largo de mi preparación académica, a mis hermanas Leticia y Marisol que me supieron dar fuerzas para no darme por vencido y así alcanzar mis propósitos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme permitido alcanzar este importante logro. A mis padres Juan José y Marina, así como a mis hermanas Leticia y Marisol quienes me brindaron su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera.

A la universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, por haberme abierto las puertas de este prestigioso templo del saber, cuna de buenos profesionales.

Finalmente agradezco a todos los docentes de la carrera de ingeniería electromecánica de la UMRPSFXCH, así como a los profesores del DIPLOMADO EN DISEÑO MECÁNICO INDUSTRIAL V-1 por haberme brindado todos sus conocimientos.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo realizar una propuesta de diseño de una surcadora agrícola adaptada al motocultor Changfa CF 151, para mejorar las tareas agrícolas de surcado en la comunidad de San Juan de la provincia de Yamparaez. Para lograr este objetivo, se empleó tres enfoques metodológicos principales: investigación metódica, investigación aplicada, e investigación y exposición descriptiva. El proceso comenzó con la identificación de los requisitos funcionales y técnicos necesarios para el diseño de la surcadora. Se realizó un análisis de las tecnologías existentes para el surcado de la tierra, con el propósito de fundamentar el proceso de diseño de la herramienta. Posteriormente, se procedió a diseñar cada componente de la surcadora utilizando el software de diseño Inventor. Además, se llevó a cabo una simulación mediante el Análisis de Elementos Finitos (FEA), asegurando la resistencia estructural del equipo. Para verificar la viabilidad de la surcadora, se realizó un análisis comparativo con herramientas similares disponibles en el mercado. Este análisis demostró que el diseño propuesto es más rentable que las opciones disponibles en el mercado. Además, es importante destacar que, como parte del proceso, se elaboraron los planos de diseño, los cuales son fundamentales para la fabricación e implementación de la herramienta.

ÍNDICE TEMÁTICO

CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1 Formulación del problema.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN	4
1.3.1 Justificación económica	5
1.3.2 Justificación técnica	5
1.3.3 Justificación social.....	5
1.4 METODOLOGÍA.....	6
1.4.1 Métodos.....	6
1.4.1.1 Identificación de requisitos.....	6
1.4.1.2 Análisis del motocultor	7
1.4.1.3 Análisis de la tecnología.....	7
1.4.1.4 Diseño y modelado.....	7
1.4.1.5 Análisis de elementos finitos (FEA)	7
1.4.1.6 Análisis de factibilidad técnica y económica.....	7
1.4.2 Técnicas e instrumentos	8
1.4.2.1 Software de diseño CAD.....	8
1.4.2.2 Software para evaluación de costos: Excel.....	8
1.5 OBJETIVOS.....	8
1.5.1 Objetivo general	8
1.5.2 Objetivos específicos	8
CAPITULO II.....	10
DESARROLLO	10
2.1 MARCO CONTEXTUAL.....	10
2.1.1 Clima y suelo.....	12
2.1.2 Entrevistas y consultas con los agricultores de San Juan	12
2.1.2.1 Determinación de las necesidades.....	13
2.1.3 Características principales del motocultor Changfa CF 151	13
2.1.3.1 Especificaciones técnicas del motocultor Changfa CF 151	14
2.1.3.2 Partes principales del motocultor Changfa CF 151	14
2.1.3.3 Sistema de enganche	15
2.2 MARCO TEÓRICO.....	15
2.2.1 Aspectos fundamentales de la preparación del suelo.....	15

2.2.2 Efecto de los aperos surcadores en el suelo.....	16
2.2.2.1 Fisuración	16
2.2.2.2 Corte	16
2.2.2.3 Impacto.....	16
2.2.2.4 Volteo.....	16
2.2.3 Tipos de implementos de labranza vertical.....	17
2.2.3.1 Arado de vertedera.....	17
2.2.3.2 Arado de cohecho	17
2.2.3.3 Arado de cincel.....	18
2.2.3.4 Arado subsolador	18
2.2.3.5 Arado cultivador.....	19
2.2.3.6 Arado surcador	20
2.2.4 Surcado del suelo agrícola.....	21
2.2.5 Tipos de surcadores agrícolas para motocultores.....	21
2.2.5.1 Surcador de reja.....	21
2.2.5.2 Surcador de disco	22
2.2.6 Materiales para la construcción de herramientas agrícolas.....	23
2.2.6.1 Acero al carbono estructural ASTM A36.....	23
2.3 INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS.....	24
2.3.1 Identificación de requisitos para la surcadora	24
2.3.1.1 Facilidad de ajuste	24
2.3.1.2 Resistencia estructural.....	24
2.3.1.3 Facilidad de operación	25
2.3.1.4 Capacidad	25
2.3.1.5 Mantenimiento sencillo.....	25
2.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	25
2.4.1 Análisis de la tecnología.....	25
2.4.2 Análisis comparativo.....	25
2.4.2.1 Propuesta tecnológica 1.....	26
2.4.2.2 Propuesta tecnológica 2.....	27
2.4.2.3 Matriz de ventajas y desventajas de propuestas	27
2.4.2.4 Selección de la mejor propuesta tecnológica.....	27
2.5 CONSIDERACIONES DE DISEÑO	28
2.5.1 Elementos del equipo.....	29
2.5.1.1 Bastidor.....	29
2.5.1.2 Sistema de enganche	29
2.5.1.3 Sistema de ajuste.....	29

2.5.1.4 Cuadro de ajuste	30
2.5.1.5 Reja	30
2.5.1.6 Vertederas	30
2.5.1.7 Cuchilla	30
2.5.1.8 Accesorios de anclaje y regulación de las vertederas.....	31
2.5.2 Potencia requerida por un componente surcador	31
2.5.3 Perdidas de potencia en máquinas agrícolas.....	31
2.5.4 Determinación de parámetros de diseño	32
2.5.4.1 Número de surcadores.....	32
2.5.4.2 Selección del tipo de material a utilizar	33
2.5.4.3 Dimensiones y especificaciones del bastidor	33
2.5.4.4 Longitud y espesor de la cuchilla, vertederas, reja	34
2.5.4.5 Velocidad de trabajo.....	34
CAPITULO III.....	35
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	35
3.1 CONCLUSIONES.....	35
3.2 RECOMENDACIONES	36
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Especificaciones técnicas del motocultor CF 151	14
Tabla 2-2: Matriz morfológica	26
Tabla 2-3: Ventajas y desventajas de alternativas	27
Tabla 2-4: Análisis y selección de propuestas tecnológicas	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Mapa político del departamento de Chuquisaca.....	10
Figura 2-2: Coordenadas geográficas de la comunidad de San Juan.....	11
Figura 2-3: Motocultor marca Changfa CF 151	13
Figura 2-4: Partes principales del motocultor Changfa CF 151	14
Figura 2-5: Sistema de enganche del motocultor Changfa CF 151	15
Figura 2-6: Arado de vertedera	17
Figura 2-7: Arado de cohecho.....	18
Figura 2-8: Arado de cincel	18
Figura 2-9: Arado subsolador.....	19
Figura 2-10: Arado cultivador	19
Figura 2-11: Surcador agrícola.....	20
Figura 2-12: Surcador de reja ajustable.....	22
Figura 2-13: Surcador de disco.....	23

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: SIMULACIÓN DE LA SURCADORA AGRÍCOLA.....	42
ANEXO B: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA SURCADORA.....	51
ANEXO C: PLANOS DE DISEÑO DE LA SURCADORA.....	52
ANEXO D: COSTOS DE FABRICACIÓN	53
ANEXO E: EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	56
ANEXO F: INFORMACIÓN ÚTIL PARA EL PROCESO DE DISEÑO.....	57

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo, se llevará adelante el estudio y diseño de una surcadora agrícola adaptada al motocultor Changfa CF 151, con el propósito de mejorar las actividades agrícolas de surcado en la comunidad de San Juan de la provincia de Yamparáez.

Según AGRICOLA NOROESTE (2022), durante siglos, los agricultores han utilizado animales para ayudar en tareas como el arado de la tierra, la siembra de semillas y el traslado de cosechas. Esta fue la forma tradicional de cultivar la tierra durante muchos años. A principios del año 1920, los agricultores comenzaron a mecanizar las tareas agrícolas, reemplazando el trabajo manual y el uso de animales de tiro. Esta mecanización ha permitido mejorar las actividades agrícolas de una manera más eficiente.

Según la institución U.T.N.F.R.V.M. (2017), en todos los sistemas de producción agrícola, una de las actividades más importantes es la siembra, que se debe realizar en el tiempo apropiado y con las especificaciones correspondientes al tipo de cultivo. Si no fuera así las operaciones siguientes resultarían ineficaces.

"Según la institución IICA (2021), en la actualidad la incorporación de nuevas tecnologías a la producción agrícola, ha tenido un gran impacto significativo, beneficiando a todos los agricultores."

"La mecanización agrícola es uno de los avances más importantes de la ingeniería en el desarrollo de la tecnología, ya que con ella se han logrado aumentar considerablemente los niveles de productividad en la agricultura." (JACTO, 2023)

"De acuerdo con la institución INSL (2018), la implementación de los motocultores, ha brindado numerosos beneficios a los pequeños y medianos agricultores, mejorando sus ingresos económicos y su calidad de vida."

Según I.L.G.A importadora (2022), menciona que los motocultores son herramientas esenciales en la agricultura y la jardinería. Están diseñados para preparar el terreno antes de sembrar, erradicar malezas, mezclar la tierra, airear el suelo y en general, hacer el trabajo más fácil y eficiente para los cultivadores, su diseño, dimensiones y versatilidad lo convierten en máquinas ideales, para las actividades agrícolas.

1.1 ANTECEDENTES

San Juan es una comunidad que pertenece a la provincia de Yamparáez, del departamento de Chuquisaca. Cuenta con aproximadamente 450 habitantes, quienes se dedican principalmente a la agricultura y la ganadería, tiene un tipo de clima templado y un suelo fértil, al ser una zona con estas características climatológicas tiene una gran ventaja en la producción agrícola y ganadera. Es por esta razón que los productores de esta zona se han unido para formar una asociación de agricultores. Como fuerza de esta unión han logrado que el Gobierno Municipal de Yamparáez, en colaboración con el Gobierno Autónomo Departamental de Chuquisaca les haya dotado de cinco motocultores, con el propósito de mejorar las actividades agrícolas. Los cultivos más comunes en esta región incluyen la papa, el maíz, el haba, la arveja y hortalizas como la cebolla y la zanahoria. Estas labores agrícolas se llevan a cabo en una extensión de aproximadamente 30 hectáreas de tierra fértil.

El Gobierno Autónomo Departamental de Chuquisaca y el Gobierno Municipal de la Provincia de Yamparáez, han dotado diferentes equipamientos para la agricultura de esta región. (Gobierno Autónomo Departamental de Chuquisaca, 2023)

Según Terán, (2021), menciona que, en la mayoría de las regiones del mundo, donde se dedican a la agricultura intensiva o a gran escala, se utilizan tractores equipados con arados u otros implementos especializados para realizar el surcado de tierras de manera eficiente y rápida. En zonas donde se realiza la agricultura a menor escala, se utilizan motocultores, u otros equipos motorizados más pequeños para realizar estas actividades de labranza. Además, en algunas zonas rurales, se utilizan herramientas manuales como azadones o arados traccionado por animales.

Según la compañía AGROTRAC S.A.S, (2023), en la actualidad existen diferentes tipos de herramientas agrícolas, como la surcadora agrícola, que es una herramienta esencial en la agricultura moderna, diseñada con una estructura robusta de acero o hierro fundido y equipada con cuchillas o discos giratorios ajustables para abrir surcos uniformes en el suelo. Se engancha fácilmente a tractores y otros vehículos agrícolas, lo que facilita su transporte y operación en extensas áreas de terreno.

Según la distribuidora de maquinaria agrícola ALTRAC, (2022), menciona que la evolución de los surcadores agrícolas ha sido fundamental en el avance tecnológico, ya que han mejorado su eficiencia y rendimiento a lo largo del tiempo. Desde los surcadores manuales hechos de madera hasta los surcadores mecanizados de alta precisión de hoy en día. Este avance ha permitido a los agricultores realizar las actividades de labranza de manera más rápida, precisa y eficiente. Sin embargo, es importante seguir investigando para mejorar aún más esta tecnología.

La asociación de agricultores de la comunidad de San Juan, actualmente utilizan cinco motocultores Changfa CF 151 para llevar a cabo sus actividades agrícolas. Sin embargo, se enfrentan a un gran desafío a la hora de realizar el surcado del suelo, debido a que los motocultores no cuentan con la herramienta adecuada para el surcado de la tierra, es por esta razón que los agricultores de San Juan, aún siguen utilizando métodos tradicionales, como la tracción animal, y herramientas rudimentarias de madera, para esta labor.

El presente trabajo pretende contribuir a satisfacer las necesidades y exigencias de la asociación de agricultores de la Comunidad de San Juan, en cuanto al proceso de surcado del suelo agrícola.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, la asociación de agricultores de la comunidad de San Juan sigue realizando manualmente el surcado del suelo, a pesar de contar con cinco motocultores Changfa CF 151. La causa principal de este problema es la falta de una herramienta adecuada para el surcado de la tierra que pueda acoplarse correctamente a estos motocultores.

La falta de esta herramienta afecta negativamente en la productividad y eficiencia de las operaciones agrícolas en la región. Esto, a su vez, podría afectar en la economía local. Por lo tanto, es fundamental implementar esta herramienta para aprovechar al máximo el potencial de los motocultores y contribuir con la producción agrícola de la región.

Si bien es cierto que las concesionarias agrícolas ofrecen una variedad de implementos para motocultores, el surcador no ha sido adquirido debido a su elevado costo. Es por eso que el presente trabajo, pretende llevar adelante el diseño de una herramienta para el surcado del suelo agrícola, que sea adaptado a estos motocultores.

1.2.1 Formulación del problema

¿Es posible mejorar las tareas agrícolas de surcado en la comunidad de San Juan mediante la propuesta de diseño de una surcadora agrícola adaptada al motocultor Changfa CF 151?

1.3 JUSTIFICACIÓN

La necesidad de una herramienta surcadora, que pueda acoplarse al motocultor Changfa CF 151, es crucial para la asociación de agricultores San Juan. Sin esta herramienta, el motocultor no ayuda en las labores de surcado, por lo que es esencial disponer de este elemento, para poder mecanizar estas actividades agrícolas en la región.

El diseño de una surcadora agrícola adaptada al motocultor CF 151, ofrecerá una solución eficiente a las necesidades de los agricultores de San Juan, en cuanto al surcado del suelo agrícola. Esta innovación permitirá remplazar los métodos tradicionales de labranza, mejorando así la productividad agrícola en la región y las condiciones de trabajo para los agricultores.

Básicamente el presente trabajo pretende contribuir a satisfacer las necesidades y exigencias de la asociación de agricultores de la Comunidad de San Juan, en cuanto al proceso de surcado del suelo agrícola.

1.3.1 Justificación económica

El desarrollo de una surcadora agrícola puede traer beneficios económicos significativos para la asociación de agricultores de la comunidad de San Juan, estos beneficios se manifiestan en varias áreas.

- **Incremento de la productividad;** al ser mecanizado las labores de surcado, los agricultores de San Juan experimentarán un aumento significativo en la producción agrícola al realizar estas actividades de manera eficiente.
- **Reducción de costos de producción;** esta herramienta permitirá reducir los costos operativos, ya que optimizará el proceso de surcado de manera eficiente. Al mecanizar estas labores, se reducirá la necesidad de mano de obra, lo que a su vez disminuirá los gastos asociados a este proceso.

1.3.2 Justificación técnica

El desarrollo de una surcadora adaptada al motocultor Changfa CF 151 representa un avance significativo en la agricultura de la comunidad de San Juan.

- **Eficiencia y efectividad;** el diseño se enfocará en la eficiencia y efectividad, asegurando que la surcadora pueda acoplarse de manera fácil y segura al motocultor CF 151. Además, podrá ajustarse según las necesidades y requerimientos de los agricultores de San Juan, optimizando así las labores de surcado en la región. Esta innovación no solo mejorará la productividad agrícola, sino que también contribuirá al desarrollo económico y social de la comunidad.

1.3.3 Justificación social

- **Mejora de las condiciones laborales;** con el diseño adecuado de esta herramienta agrícola, se podrá mejorar las condiciones de trabajo reduciendo la carga física y el esfuerzo requerido por los agricultores, optimizando la salud y seguridad laboral.

En resumen, la justificación de este trabajo resalta la importancia del diseño de una surcadora agrícola, ya que tiene el potencial para aportar mejoras significativas en términos económicos, tecnológicos y sociales en la comunidad de San Juan.

1.4 METODOLOGÍA

El presente estudio empleará tres enfoques metodológicos principales: investigación metódica, investigación aplicada, e investigación y exposición descriptiva. Mediante la investigación metódica, se procederá a identificar y analizar los requisitos funcionales para el diseño de la surcadora. Este enfoque permitirá desarrollar un proceso ordenado y lógico para alcanzar los objetivos del estudio. La investigación aplicada se enfocará en el desarrollo de diseño de la surcadora agrícola adaptada al motocultor Changfa CF 151. Esto incluirá el uso de software de diseño asistido por computadora (CAD) para modelar y simular el comportamiento de la surcadora, con el fin de asegurar que el diseño propuesto sea funcional y eficiente en un contexto real. Se llevará a cabo un análisis detallado de las tecnologías actuales para el surcado del suelo agrícola, así como un estudio del motocultor Changfa CF 151 y su sistema de acople. Este enfoque permitirá describir y documentar cada fase del proyecto, proporcionando una visión completa y detallada de cada paso realizado. Además, se llevará a cabo un análisis de costos y viabilidad para evaluar la factibilidad económica del proyecto.

1.4.1 Métodos

1.4.1.1 Identificación de requisitos

Se llevará a cabo una investigación detallada de los requisitos funcionales y técnicos necesarios para el diseño de la surcadora. Esto involucra el análisis de las necesidades y exigencias actuales de los agricultores de la comunidad de San Juan, y las especificaciones técnicas requeridas para realizar de manera eficiente el surcado del suelo agrícola en la región.

1.4.1.2 Análisis del motocultor

Se llevará a cabo un análisis detallado de las especificaciones técnicas del motocultor Changfa CF 151 para diseñar adecuadamente la surcadora. Además, se realizará un estudio del sistema de acople para determinar con que mecanismo se va adaptar este implemento al motocultor.

1.4.1.3 Análisis de la tecnología

Se llevará a cabo un análisis comparativo de las tecnologías existentes para el surcado de la tierra, con el objetivo de identificar la tecnología que mejor se adecue a las necesidades de los agricultores de la Comunidad de San Juan.

1.4.1.4 Diseño y modelado

Se realizará el diseño y modelado de la surcadora agrícola utilizando software CAD (diseño asistido por computador), específicamente Autodesk Inventor.

1.4.1.5 Análisis de elementos finitos (FEA)

Se llevará a cabo un análisis de elementos finitos (FEA) utilizando el software Autodesk Inventor para evaluar el comportamiento estructural y mecánico de la surcadora agrícola bajo diversas condiciones de carga, identificando puntos débiles en el diseño para realizar ajustes y optimizaciones.

1.4.1.6 Análisis de factibilidad técnica y económica

Se efectuará un análisis detallado de la viabilidad técnica y económica del proyecto, con el fin de determinar su factibilidad para su implementación.

1.4.2 Técnicas e instrumentos

1.4.2.1 Software de diseño CAD

Para el desarrollo del diseño, modelado y simulación de la surcadora, se utilizará software CAD avanzado, lo que permitirá una modelización precisa y la posibilidad de realizar ajustes antes de la fabricación física.

1.4.2.2 Software para evaluación de costos: Excel

Para determinar los costos de fabricación del diseño de la surcadora, se realizará una evaluación de costos asociados con el diseño, mediante la herramienta (Excel). Este instrumento permitirá organizar, calcular y analizar de manera precisa los datos económicos necesarios para determinar la viabilidad financiera del proyecto.

Cada uno de estos métodos, técnicas e instrumentos serán cruciales para el desarrollo exitoso del proyecto, asegurando que el diseño de la surcadora agrícola no solo sea técnicamente eficiente, sino también económicamente rentable y socialmente beneficiosa.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Elaborar una propuesta de diseño de una surcadora agrícola adaptada al motocultor Changfa CF 151, para mejorar las tareas agrícolas de surcado en la comunidad de San Juan, provincia de Yamparáez.

1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar las necesidades y requerimientos de los agricultores de la comunidad de San Juan en cuanto al proceso de surcado del suelo agrícola.
- Analizar los métodos y tecnologías actuales para el surcado del suelo agrícola.

- Realizar el diseño, modelado y simulación de la surcadora agrícola utilizando software de diseño (Autodesk Inventor).
- Realizar un análisis de costos económicos para la implementación de esta herramienta en nuestro medio.
- Realizar una comparación económica de la surcadora diseñada con herramientas similares disponibles en el mercado para evaluar su viabilidad económica.

DESARROLLO

2.1 MARCO CONTEXTUAL

En el presente trabajo, se llevará adelante el estudio y diseño de una surcadora agrícola adaptada al motocultor Changfa CF 151, con el propósito de mejorar las actividades agrícolas de surcado en la comunidad de San Juan.

"La comunidad de San Juan, situada en la provincia de Yamparáez del departamento de Chuquisaca, se encuentra a una altitud aproximada de 2800 m.s.n.m." (BIVICA, 2009)

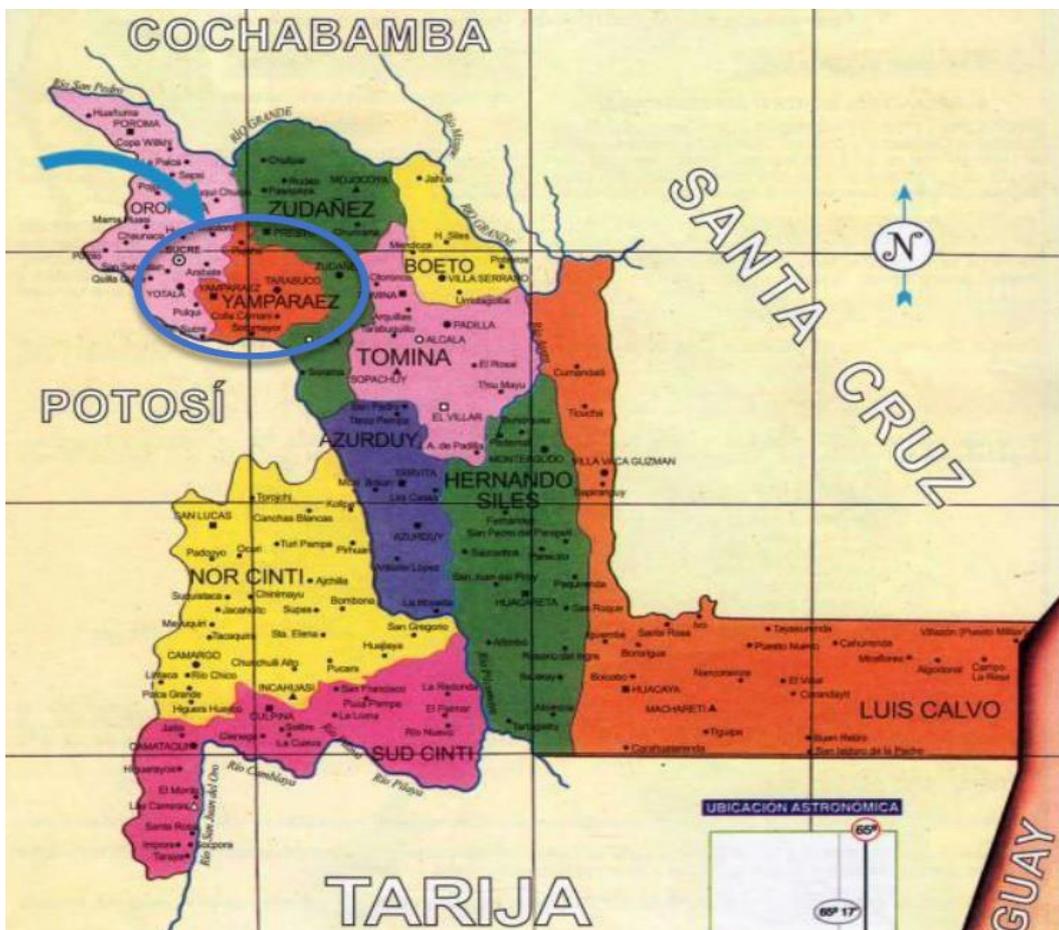


Figura 2-1: Mapa político del departamento de Chuquisaca
Fuente: <https://www.educa.com.bo/content/departamento-chuquisaca>



Figura 2-2: Coordenadas geográficas de la comunidad de San Juan

Fuente: <https://www.google.com/maps/place/19%C2%B016'14.3%22S+65%C2%B007'15.4%22W/@-19.2707942,-65.1209803,494m>

Los agricultores de San Juan emplean cinco motocultores Changfa CF 151 en sus labores agrícolas. Sin embargo, para realizar las actividades de surcado, siguen recurriendo a métodos tradicionales, como la tracción animal, utilizando bueyes y herramientas de madera. Los cultivos más comunes en esta región incluyen la papa, el maíz, el haba, la arveja y hortalizas como la cebolla y la zanahoria. Estas labores agrícolas se llevan a cabo en una extensión de aproximadamente 30 hectáreas de tierra fértil.

2.1.1 Clima y suelo

En la comunidad de San Juan, la temporada de lluvia dura 7 meses, desde septiembre hasta abril con un promedio de precipitación pluvial por mes de 45 milímetros. Durante este periodo es cuando se llevan a cabo las actividades agrícolas en la región. En su mayoría tiene un tipo de suelo franco muy fértil. Durante el transcurso del año la temperatura generalmente varía de 5 °C a 25 °C y rara vez baja a menos de 2 °C o sube a más de 29 °C. (BIVICA, 2009)

"Según Molina, (2013), indica que la resistencia para un suelo franco con una humedad moderada, varía entre 5 y 20 kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²), estos valores son aproximados y pueden variar considerablemente."

2.1.2 Entrevistas y consultas con los agricultores de San Juan

En la entrevista realizada al Sr. Anastacio Tango, dirigente de la asociación de agricultores de la comunidad San Juan, se destacó que una de las necesidades más importantes es la implementación de herramientas agrícolas para los motocultores CF 151. En específico una herramienta que permita realizar surcos adecuados para la siembra de cultivos, como la papa, maíz, haba, arvejas y algunas hortalizas como la cebolla y zanahorias.

La comunidad hoy en día cuenta con diferentes equipamientos agrícolas, entre ellos sistemas de riego por almacenamiento, ya que cuentan con dos represas específicamente para este propósito, bombas de agua para riego, motocultores para optimizar las labores agrícolas. Las técnicas de cultivo que se utilizan en esta zona son los cultivos a campo abierto.

2.1.2.1 Determinación de las necesidades

Es fundamental tener en cuenta los criterios y necesidades establecidos por los agricultores de San Juan en el proceso de diseño de la surcadora agrícola. Ellos requieren una herramienta adaptable al motocultor CF 151, que les permita mecanizar eficientemente las actividades agrícolas de surcado en la región. Por lo tanto, esta herramienta debe ser versátil, capaz de acoplarse de manera segura al motocultor y poder crear surcos uniformes según las necesidades de los agricultores.

2.1.3 Características principales del motocultor Changfa CF 151

El motocultor Changfa CF 151 ha sido diseñado con una construcción simple, compacta, ligera y confiable, cuenta con un motor diesel de 16 hp de potencia. Este Mini-Tractor, tiene la capacidad para realizar diferentes tareas agrícolas, con una herramienta adecuada este equipo puede convertirse fácilmente en una unidad de bombeo, riego, cosechadora, arado, surcadora, remolque entre otros. Por su tamaño compacto, puede trabajar entre parcelas haciendo trabajos de limpieza o fumigación, así como transporte de carga. Además, cuenta con un asiento integrado, para dar una conducción más confortable al operador en el proceso de la preparación del suelo. Dinatex (2022).



Figura 2-3: Motocultor marca Changfa CF 151
Fuente: AGRODALIS, (2024)

2.1.3.1 Especificaciones técnicas del motocultor Changfa CF 151

Las características técnicas de este motocultor son tomadas del catálogo del fabricante, los mismos que servirán como referencia para el diseño de la surcadora.

Tabla 2-1: Especificaciones técnicas del motocultor Changfa CF 151

FICHA TECNICA MOTOCULTOR CHANGFA CF 151	
Modelo	CF 151
Motor	16 HP, Diesel (ZS1100BN)
Arranque	Manual
Fangueador (ancho de labranza)	600mm (Rotavator 18/20 cuchillas)
Distancia suelo	185 mm
Velocidad	5,3-15,3 Km/h
Dimensiones (L-A-Alt)	2680 x 960 x 1250 mm
Peso	185 kg (con Rotavator)

Fuente: (Dinatek, 2022)

2.1.3.2 Partes principales del motocultor Changfa CF 151

El motocultor cuenta con un chasis fabricado con acero resistente, el cual proporciona una base sólida para montar componentes clave como el motor, la transmisión y los implementos agrícolas. Dispone de un motor diesel de 16 hp de potencia, palanca de velocidades con cuatro cambios, tres hacia adelante, una en reversa, y un sistema único de dos rines. (Dinatek, 2022)

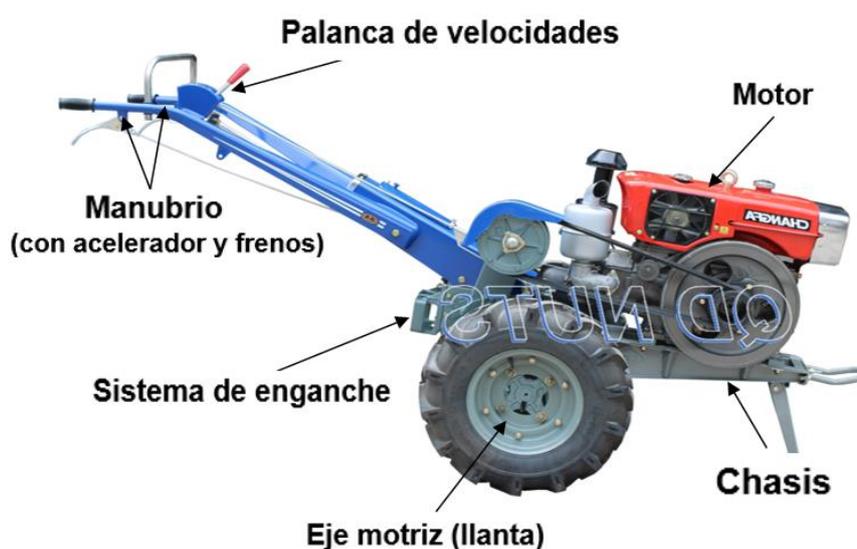


Figura 2-4: Partes principales del motocultor Changfa CF 151

Fuente: Dinatek, (2022)

2.1.3.3 Sistema de enganche

El sistema de enganche del motocultor es de tipo fijo simple, ya que establece una conexión rígida entre el motocultor y el implemento agrícola.



Figura 2-5: Sistema de enganche del motocultor Changfa CF 151
Fuente: CIFEMA s.a.m., (2024)

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Aspectos fundamentales de la preparación del suelo

Son todas aquellas actividades que se llevan a cabo directamente al terreno, con el propósito de adecuar el suelo para la siembra de las semillas, a través de herramientas manuales o mecánicas, proporcionando las condiciones óptimas para su germinación, crecimiento, nutrición y producción. Pineda, (2014)

"La preparación del suelo consiste en ejecutar las operaciones como, voltear, nivelar, soltar y cultivar los suelos, con la finalidad de proporcionar un ambiente apropiado para la óptima germinación de la semilla y el buen desarrollo del cultivo." Rodríguez, (1995)

Según Info Agrónomo (2024), menciona que estas prácticas buscan brindar una cama para las semillas, con un suelo mullido, aireado y enriquecido con la incorporación de la materia orgánica disponible, de tal forma que favorezca la

germinación de la semilla, el arraigamiento de la planta, la retención de agua, y los cambios químicos que se produzcan en la temporada.

2.2.2 Efectos de los aperos surcadores en el suelo

Los aperos o surcadores, producen modificaciones en el suelo que pueden ser de diferentes tipos:

2.2.2.1 Fisuración

La fisuración del suelo agrícola es un fenómeno que se produce cuando se forman grietas o fisuras en el suelo como resultado de la labranza, durante el proceso de surcado. En teoría, las fisuras se forman a intervalos regulares. La humedad constituye un factor importante en la formación de fisuras. (Cañavate, 2003, p. 31)

2.2.2.2 Corte

Es el proceso de fragmentación del suelo en la zona donde opera la herramienta de trabajo. Este efecto es típico de los implementos accionados que emplean cuchillas. Se observa especialmente en los arados de vertedera, donde la cuchilla principal realiza la fragmentación inicial del suelo. (Cañavate, 2003, p. 31)

2.2.2.3 Impacto

El impacto es la aplicación instantánea de una determinada carga sobre los agregados. Para que el impacto sea eficaz, dichos agregados han de tener una consistencia frágil. Los equipos accionados por la toma de fuerza son los que producen este tipo de rotura del suelo. (Cañavate, 2003, p. 31)

2.2.2.4 Volteo

Es el proceso por el cual se invierten las capas del suelo, utilizando implementos de labranza, como arados o surcadores. Durante el volteo, la capa superior del suelo se levanta, se mezcla y se invierte parcialmente, exponiendo así una nueva superficie de suelo. (Cañavate, 2003, p. 31)

2.2.3 Tipos de implementos de labranza vertical

2.2.3.1 Arado de vertedera

"Se trata de una herramienta de trabajo compleja, por su forma de uso y la cantidad de opciones que ofrece. Estos aperos mullen, desmenuzan y mezclan los restos vegetales, enterrándolos con profundidad. Se utilizan principalmente para realizar labores de labranza primaria " (LISTE, 2021)



Figura 2-6: Arado de vertedera
Fuente: (AGROTRAC S.A.S, 2023)

2.2.3.2 Arado de cohecho

Es una herramienta, que cuenta con la posibilidad de hacer trabajos a poca profundidad, hasta 20-30cm. Estos aperos envuelven los restos vegetales que han quedado en la superficie. No obstante, dado su número de cuerpos, cuenta con una mayor anchura de trabajo. Estas dos características hacen que este arado pueda trabajar a mayor velocidad y disminuyendo el consumo de combustible. (LISTE, 2021)



Figura 2-7: Arado de cohecho
Fuente: (LISTE, 2021)

2.2.3.3 Arado de cincel

Es un tipo de implemento agrícola utilizado para labores de labranza primaria o secundaria en suelos con vegetación abundante o en condiciones de labranza mínima. Su conjunto de brazos produce una vibración, que pulveriza el suelo con una profundidad de 20-40cm. (Inostroza y Méndez, 2022)



Figura 2-8: Arado de cincel
Fuente: (Inostroza y Méndez, 2022)

2.2.3.4 Arado subsolador

Estas herramientas, se utilizan principalmente para romper capas compactadas del suelo que se encuentran a mayor profundidad de la capa arable; con ello se facilita

la penetración de las raíces y se consigue mejorar los rendimientos de las cosechas. (Inostroza y Méndez, 2022)



Figura 2-9: Arado subsolador
Fuente: (AGRIEURO, 2024)

2.2.3.5 Arado cultivador

Es una herramienta diseñada para labores de preparación del suelo y control de malezas en cultivos agrícolas. Están constituidos por una serie de brazos en cuyo extremo llevan unas rejas que pueden ser formadas muy diversas y que en general se pueden montar a distancias variables sobre un bastidor constituido fundamentalmente por 2 o 3 barras transversales. (Cañavate, 2003, p. 63)



Figura 2-10: Arado cultivador
Fuente: (AGRIEURO, 2024)

2.2.3.6 Arado surcador

Según Pérez y Colmenarez (2015), el surcador es un implemento utilizado para la siembra de cultivos, su principal labor consiste en que la punta de hierro permite romper la capa de suelo denominada pie de arado o capa compactada. La profundidad del surco dependerá del tipo de semilla a sembrar. Esta herramienta se utiliza, para hacer surcos de plantaciones de tabaco, papa, caña de azúcar, hortalizas, y entre otros vegetales. Puede ser totalmente ajustado para obtener el perfecto perfil de surcado y mantener el flujo del terreno. El surcador puede ser utilizado también para recalzar los cultivos sembrados en hileras y realizar zanjas para riego.

Características del surcador:

- El surcador ofrece buena adaptabilidad, y permite fácil ajuste de espaciado de surcos, así como su altura, filas y ángulos.
- Puede ser acoplado a cualquier maquina agrícola de diferentes potencias.
- El surcador se caracteriza por su fácil movimiento, tamaño, y precisión de proceso.
- Puede romper, pulverizar y surcar en un solo paso. (Pérez y Colmenarez, 2015, p. 1)



Figura 2-11: Surcador agrícola

Fuente: <https://www.swissmex.com/PortalWeb/media/7301524/219060.pn>

2.2.4 Surcado del suelo agrícola

"El surcado del suelo es una técnica agrícola que consiste en trazar surcos paralelos dentro de un lote espaciados a una misma distancia donde se siembra la semilla o material vegetativo." Cenicaña, (2014)

La profundidad de los surcos depende del tipo de semilla o planta a sembrar, puede ser de 10 a 15 cm en la siembra de hortalizas y de 15 a 20 cm en la plantación de posturas y siembra de granos. La distancia entre surcos varía en dependencia del marco de siembra utilizado, que generalmente es de 45 a 90 cm. En tracción animal se usan surcadores de una sola cuchilla, pero las versiones para tractor tienen generalmente 3 o más elementos surcadores montados en un bastidor, ya que el surcado es una labor de bajo consumo de energía. (Pérez y Colmenarez, 2015)

La forma del surco tiene importancia, se recomienda una V adecuada al tamaño de la semilla considerada, que evite el rebote y la rodadura. La punta de la V, en la zona de caída de la semilla, debe ser lo suficiente mente ancha para que la semilla se apoye en el fondo del surco, garantizando, de esta manera, la profundidad de siembra uniforme. (Pérez y Colmenarez, 2015, p. 4)

2.2.5 Tipos de surcadores agrícolas para motocultores

2.2.5.1 Surcador de reja

"Se trata de una herramienta con punta de reja que se fija a un brazo rígido o flexible unido al bastidor de la máquina. Su parte delantera es recambiable, lo que permite abrir los surcos." (Pérez y Colmenarez, 2015, p. 3)

Según la tienda de implementos agrícolas (Croper Ltda., 2024), menciona que la surcadora de reja es una herramienta agrícola diseñada para la creación de surcos en el suelo. Este implemento es utilizado principalmente en la siembra de cultivos y permite realizar surcos de profundidad y anchura ajustables según las necesidades del agricultor. Cuenta con una estructura robusta y resistente, fabricada con materiales de calidad que garantizan su durabilidad y rendimiento en condiciones de trabajo exigentes. Una de las características principales de esta herramienta, es su capacidad de ajuste. Permite regular tanto la profundidad como

la anchura del surco a través de sistemas de regulación. Esto brinda flexibilidad al agricultor para adaptar los surcos a las necesidades de siembra de diferentes cultivos.



Figura 2-12: Surcador de reja ajustable
Fuente: CIFEMA s.a.m., (2024)

2.2.5.2 Surcador de disco

El surcador de disco es un implemento agrícola diseñado para crear surcos en el suelo de manera uniforme. Consiste en un conjunto de discos afilados montados en un bastidor horizontal de alta resistencia. Estos discos cortan el suelo a medida que avanza el equipo al cual este acoplado. Este implemento, es especialmente utilizado en suelos poco preparados o medianamente compactos, ya que los discos pueden penetrar fácilmente en el suelo sin requerir mucha potencia, se utiliza mayormente en la preparación del suelo para la siembra y en la siembra directa. AgriExpo, (2024)

Una de las desventajas de esta herramienta es que no garantiza una gran precisión en la profundidad de siembra, ya que el surco producido se asemeja a una W. Por lo tanto, se recomienda preferentemente para operaciones de siembra directa. (Pérez y Colmenarez, 2015, p. 5)



Figura 2-13: Surcador de disco
Fuente: AgriExpo, (2024)

2.2.6 Materiales para la construcción de herramientas agrícolas

El acero es uno de los materiales ampliamente empleados en la fabricación de implementos agrícolas debido a su durabilidad y resistencia. El acero es una aleación de hierro con carbono en una proporción que oscila entre 0,03 y 2%. Sin embargo, se le pueden añadir otros elementos para mejorar su dureza, maleabilidad u otras propiedades. Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen sobre todo de la cantidad de carbono y de su distribución. (Tandazo y Freire, 2017, p. 20)

2.2.6.1 Acero al carbono estructural ASTM A36

El acero ASTM A36 es un tipo de acero estructural de uso general que cumple con las especificaciones establecidas por la American Society for Testing and Materials (ASTM). Es uno de los aceros más comunes y versátiles utilizados en una amplia gama de aplicaciones, incluida la construcción de estructuras, puentes, maquinaria, herramientas y demás ya que su contenido de carbono es de un máximo de 0.29%, lo que se considera acero suave. Se caracteriza por su buena soldabilidad, resistencia y facilidad de mecanizado. Es un material rentable y reciclable fácil de pintar o perforar, debido a que no requiere de una fabricación laboriosa. Está

compuesta por hierro y carbono. Además, se le pueden adicionar otros elementos como silicio, fósforo, azufre y oxígeno para mejorar sus propiedades mecánicas. Tiene una tensión que varía de 58 a 80 (ksi), y un límite de fluencia de 36 (ksi). Estas propiedades son fundamentales para el diseño, ya que proporcionan información sobre cómo se comporta el material bajo cargas aplicadas y su capacidad para resistir deformaciones y fracturas. Aceromafe, (2024)

2.3 INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS

2.3.1 Identificación de requisitos para la surcadora

En el presente trabajo, se llevará adelante el estudio de diseño de una surcadora agrícola adaptada al motocultor Changfa CF 151, que permita mecanizar las actividades agrícolas de surcado en la comunidad de San Juan.

Para lograr un mecanizado eficiente y satisfacer las necesidades de los agricultores de la comunidad de San Juan, la surcadora debe cumplir con los siguientes requisitos fundamentales:

2.3.1.1 Facilidad de ajuste

La surcadora debe ser capaz de permitir regular la profundidad, altura y ancho del surco mediante sistemas de ajuste. Según las necesidades de los agricultores de San Juan, la surcadora debe permitir el ajuste del ancho del surco en tres niveles: 20, 25 y 30 cm. De la misma manera, la altura de trabajo debe ser ajustable en tres niveles: 40,45 y 50 cm. Además, la surcadora debe ser capaz de realizar surcos con una profundidad de 15 a 20 cm.

2.3.1.2 Resistencia estructural

La surcadora debe ser lo suficientemente resistente, para poder soportar las fuerzas y tensiones que surgen al momento de realizar las actividades agrícolas de surcado.

2.3.1.3 Facilidad de operación

El equipo debe ser fácil de operar, capaz de acoplarse al motocultor Changfa CF 151, de manera adecuada y segura.

2.3.1.4 Capacidad

La surcadora debe ser versátil, capaz de trabajar en un suelo franco de aproximadamente 30 hectáreas.

2.3.1.5 Mantenimiento sencillo

La surcadora debe ser fácil de mantener y reparar, para que los agricultores no tengan ningún inconveniente a la hora de realizar estas actividades.

2.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Con el objetivo de proporcionar una información adecuada y fundamentada para el diseño óptimo de la surcadora agrícola, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de las tecnologías disponibles para el surcado del suelo agrícola.

2.4.1 Análisis de la tecnología

En la actualidad, existen diversos tipos de surcadoras agrícolas, cada una diseñada para adaptarse a diferentes tipos de máquinas agrícolas.

Al analizar la tecnología existente se ha determinado que para máquinas agrícolas de menor potencia como los motocultores, existen dos tipos de surcadores principales, las de reja y de disco los cuales trabajan de diferente manera.

2.4.2 Análisis comparativo

Para comparar las opciones de diseño del implemento surcador, se utilizará una matriz morfológica. Esta herramienta permitirá evaluar las alternativas en función de las necesidades y requerimientos de los agricultores de la comunidad de San Juan.

Tabla 2-2: Matriz morfológica

IMPLEMENTO	OPCIONES	
	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2
TIPO DE SURCADORA	 Disco	 Reja/Vertedera
TIPO DE CUCHILLA	 Disco cóncavo	 Fijación con pernos en V
MATERIAL ESTRUCTURAL	Acero bajo contenido de carbono AISI 1020	Acero con medio contenido de carbono ASTM A36
CAPACIDAD	Surcador simple	Surcador doble
ACCIONAMIENTO	 Autopropulsado	

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Matriz-morfologica-que-muestra-las-diversas-alternativas-en-los-componentes-y_fig1_355859173

2.4.2.1 Propuesta tecnológica 1

La surcadora de disco ofrece una mayor eficiencia en terrenos poco preparados o medianamente compactos, ya que los discos pueden penetrar fácilmente en el suelo sin requerir mucha potencia. Una de las desventajas de esta herramienta es que no garantiza una gran precisión. debido a que realiza surcos irregulares similar a una W. por lo tanto, se recomienda preferentemente para operaciones de siembra directa donde la precisión de la profundidad de trabajo no es crítica. AgriExpo, (2024)

2.4.2.2 Propuesta tecnológica 2

En términos de funcionamiento y diseño, la surcadora de reja ofrece una mayor versatilidad, permitiendo ajustes precisos de la profundidad y anchura del surco según las necesidades del agricultor. Además, su diseño robusto y adaptable permite un mantenimiento más sencillo y una mayor durabilidad, lo que la convierte en una herramienta esencial para los agricultores que buscan mejorar la productividad y la calidad de sus cultivos. (Croper Ltda., 2024)

2.4.2.3 Matriz de ventajas y desventajas de propuestas tecnológicas

Tabla 2-3: Ventajas y desventajas de alternativas

Alternativas	Ventajas	Desventajas
propuesta 1	<ul style="list-style-type: none">➤ Material existente en el mercado➤ Costos de construcción aceptables➤ Alta resistencia al desgaste➤ Alta resistencia al impacto del disco	<ul style="list-style-type: none">➤ Poca precisión (surcos irregulares)➤ Pérdida de apriete de los pernos➤ No permite el ajuste de los surcos
propuesta 2	<ul style="list-style-type: none">➤ Material existente en el mercado➤ Costos de construcción aceptable➤ Elementos de fácil construcción➤ Alta resistencia al desgaste➤ Alta resistencia al impacto➤ Ajustable (surcador doble)	<ul style="list-style-type: none">➤ Pérdida de apriete de los pernos

Fuente: Elaboración propia

2.4.2.4 Selección de la mejor propuesta tecnológica

Para identificar la mejor propuesta tecnológica, se evaluarán las opciones en una escala de 1 a 4, donde:

- 1 = Malo o muy costoso
- 2 = Bueno o costo alto
- 3 = Muy bueno o costo medio
- 4 = Excelente o costo bajo

Tabla 2-4: Análisis y selección de propuestas tecnológicas

Características	Propuesta 1	propuesta 2
Costo del implemento	3	4
Versatilidad	3	3
Seguridad	4	4
Mantenimiento	4	4
Costos de reparaciones	2	4
Facilidad de operación	4	4
Capacidad	3	3
Eficiencia	1	4
Total	24	30

Fuente: Elaboración propia

En base a este análisis se ha determinado que la mejor tecnología que se adapta a las necesidades y requerimientos de los agricultores de San Juan es la propuesta tecnológica 2. Por lo tanto, el diseño estará fundamentado en base a esta tecnología.

Por lo expresado anteriormente, en este estudio se llevará adelante el diseño de una surcadora de reja adaptada al motocultor Changfa CF 151, ya que esta tecnología permitirá alcanzar los objetivos propuestos.

2.5 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

A fin de satisfacer los objetivos propuestos, se realizará el estudio de diseño de una surcadora agrícola bajo las siguientes consideraciones.

- La surcadora debe diseñarse de manera que sea adaptado al motocultor Changfa CF 151, esto incluye de que el sistema de acople sea adecuado y seguro.
- La surcadora debe ser diseñada para realizar las labores de surcado de manera eficiente, que sea versátil, ajustable según las necesidades de los agricultores de San Juan.
- Que tenga una durabilidad y resistencia adecuada.
- Que sea de fácil operación y mantenimiento.

Para este efecto el equipo estará provisto de los siguientes elementos:

2.5.1 Elementos del equipo

2.5.1.1 Bastidor

"Es la estructura principal, que cumple con la función de sostener todas las partes de la surcadora, generalmente está construido en acero de sección cuadrada o rectangular para facilitar el enganche de los elementos surcadores y evitar que giren en su anclaje." (Cañavate, 2003)

En el diseño y selección del material del bastidor se debe tener en cuenta lo siguiente: el material debe ser resistente, (acero) de sección rectangular con un espesor mayor o igual a 3 mm.

2.5.1.2 Sistema de enganche

"Es la parte que permite conectar la surcadora a la maquinaria agrícola que la va a arrastrar, como un tractor o un motocultor. Consiste en una estructura diseñado para acoplar de forma segura y estable la herramienta a la máquina." (Correa, 2013)

El sistema de enganche de la surcadora será de tipo fijo, lo que significa que estará integrado directamente en la estructura (bastidor) del equipo y contará con: un pasador, que permitirá un acoplamiento seguro y estable entre la surcadora y el motocultor.

2.5.1.3 Sistema de ajuste

"Es un mecanismo que controla la profundidad a la que se realizan los surcos en el suelo. Permiten al agricultor ajustar la profundidad según las necesidades del cultivo y las condiciones del suelo." (Cañavate, 2003)

El sistema de ajuste será del tipo manual, el cual contará con un mecanismo que estará compuesto de: una manivela con rosca en su extremo y de dos ejes tipo pasador que permitirán el ajuste adecuado de la profundidad de trabajo. Este mecanismo debe ser de un material resistente, (acero).

2.5.1.4 Cuadro de ajuste

"Es el elemento que permite el fácil ajuste de espaciado de surcos y la altura de trabajo." (Carranza, 2023)

2.5.1.5 Reja

"La reja es la parte principal de la surcadora donde se fijan las vertederas, la cuchilla y los elementos de anclaje. Su función principal es romper la tierra y direccionarla hacia a las vertederas." (Castillo, 2018)

2.5.1.6 Vertederas

"Es la parte del cuerpo de la surcadora que se encargan de voltear el suelo que ha sido cortado por la reja, cuchilla y dirigirlo la tierra hacia a los lados del surco." (Cañavate, 2003)

En el diseño y selección de material de las vertederas se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos: el material debe ser resistente (acero). Las vertederas deben tener una forma de arco para permitir que los sedimentos se orienten hacia los extremos y no exista derramamiento de tierra hacia el interior de las vertederas. Deben ser desmontables y disponer de elementos de anclaje que posibiliten su movimiento o ajuste.

2.5.1.7 Cuchilla

"Es una pieza fundamental, que está situada en la parte frontal de la surcadora, se encarga de cortar longitudinalmente el suelo, dando lugar a la solera del surco." (Cañavate, 2003)

En el diseño y selección de material de la cuchilla, se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos: el material debe ser muy resistente (acero). La cuchilla debe ser desmontable para facilitar su reemplazo cuando se desgaste o ya no sea funcional.

2.5.1.8 Accesorios de anclaje y regulación de las vertederas

Son las piezas que permiten asegurar y ajustar las vertederas según las necesidades del operador. Estos elementos son fundamentales para garantizar un funcionamiento eficiente y preciso de la surcadora.

2.5.2 Potencia requerida por un componente surcador

Según la tienda de implementos agrícolas CIFEMA s.a.m., (2024), una surcadora de dos cuerpos de labranza, específicamente para un motocultor de 16 hp de potencia, requiere una fuerza de 10 hp.

Analizando esta información, se estima que una surcadora de un cuerpo o elemento surcador, requiere 5 hp de fuerza aproximadamente.

2.5.3 Pérdidas de potencia en máquinas agrícolas

Según Camacho y Vera, (2017) mencionan que las máquinas agrícolas como los motocultores, tienden a perder fuerza debido a diversos factores. Entre estos factores destacan la altitud, la temperatura y las pérdidas mecánicas. Por lo tanto, es fundamental considerar estas pérdidas, para determinar de manera correcta la capacidad del diseño de la surcadora.

Las pérdidas mecánicas son comunes en las máquinas agrícolas, afectando aproximadamente el 13,5% de su rendimiento total. Por altura sobre el nivel del mar, los motores diesel pierden el 1% de su potencia por cada 300 metros sobre el nivel del mar después de los primeros 300 m. Por temperatura los motores diesel pierden el 1% de su potencia por cada 5 °C después de los 15 °C de temperatura ambiental. Por pendiente del terreno, la fuerza efectiva en la barra de tiro de un tractor se disminuye en 1% por cada grado de pendiente del terreno. (Camacho y Vera, 2017, P.42)

La comunidad de San Juan, se encuentra a una altitud de 2800 m.s.n.m. en cuanto a las condiciones climáticas ronda en una temperatura promedio de 18°C, por lo tanto, podemos determinar que, debido a la altitud, el motocultor tendría una pérdida aproximada de 8% que equivale a 1,28 hp, y por temperatura 0%.

Considerando las pérdidas mecánicas, el motocultor tendría una pérdida aproximada de 2,16 hp.

Por lo tanto, considerado estas pérdidas de potencia, el motocultor Changfa CF 151 de 16 hp de potencia nominal, sufrirá una pérdida total aproximada de 3,44 hp, quedando con una potencia efectiva disponible de 12,56 hp aproximadamente. Este valor se tomará en cuenta para determinar la capacidad de la surcadora.

2.5.4 Determinación de parámetros de diseño

Para el diseño y simulación de la surcadora es preciso contar con algunos datos de partida, tales como:

- Número de surcadores
- Tipo de material a utilizar
- Dimensiones y especificaciones del bastidor
- Longitud y espesor de la cuchilla, vertederas, reja
- Velocidad de trabajo

2.5.4.1 Número de surcadores

La determinación del número de surcadores para el diseño, se ha realizado tomando en cuenta los siguientes aspectos:

Potencia efectiva disponible del motocultor Changfa CF 151, (12,56 hp) aproximado.

"Potencia requerida por una surcadora de un cuerpo de labranza, (5 hp). CIFEMA s.a.m., (2024)"

Considerando estas potencias, me permite diseñar una surcadora equipada con dos cuchillas. Esto significa que será capaz de realizar dos surcos a la vez.

Por lo tanto, el diseño de la surcadora contara con dos surcadores.

2.5.4.2 Selección del tipo de material a utilizar

Según Tandazo y Freire, (2017), mencionan que uno de los materiales más utilizados en la construcción de herramientas agrícolas es el acero estructural ASTM A36.

El Acero ASTM A36, se caracteriza por su buena soldabilidad, resistencia y facilidad de mecanizado. Es un material rentable y reciclable fácil de pintar o perforar. Tiene una tensión que varía de 58 a 80 (ksi), y un límite de fluencia de 36 (ksi). Estas propiedades son fundamentales para el diseño, ya que proporcionan información sobre cómo se comporta el material bajo cargas aplicadas y su capacidad para resistir deformaciones y fracturas. Aceromafe, (2024)

En cuanto a la disponibilidad, la mayoría de las tiendas proveedores de materiales de construcción y aceros, en la ciudad de sucre ofrecen este tipo de material (Acero ASTM A36).

Por lo tanto, para el diseño de la surcadora, optaremos por el uso del acero ASTM A36.

2.5.4.3 Dimensiones y especificaciones del bastidor

"Según Cañavate (2003), menciona que el bastidor o chasis de implementos agrícolas, como la surcadora está construido en acero de sección rectangular o cuadrada para facilitar el enganche de los elementos surcadores y evitar que giren en su anclaje."

El bastidor debe estar diseñado de manera que permita el acople y ajuste de los surcadores, además debe ser capaz de acoplarse de manera segura al motocultor.

Por lo tanto, el bastidor contara de dos partes principales:

Barra porta implementos; es la parte donde se acoplarán los surcadores mediante un mecanismo de ajuste. En función al número de surcadores y según las necesidades de los agricultores de San Juan, la barra porta implementos será de un perfil de sección cuadrada de (40x3) milímetros, con una longitud de 90 cm.

Brazo de enganche; es la parte que permitirá el acople de la surcadora al motocultor. El cual será de un perfil rectangular de (66x55x3) mm, de una longitud

de 45 cm. Este brazo contará con un sistema de enganche fijo para acoplarse al motocultor de manera fácil y segura, el cual estará diseñado en función de las dimensiones del sistema de acople del motocultor Changfa CF 151, ver figura F1.

2.5.4.4 Longitud y espesor de la cuchilla, vertederas, reja

En función de los requerimientos de los agricultores de San Juan, y el tipo de suelo a labrar, la cuchilla tendrá un largo de aproximadamente 12 cm, un espesor de 5 mm, además la cuchilla estará diseñada para ser fácilmente intercambiable, utilizando un sistema de fijación con dos pernos.

"Según Tandazo y Freire, (2017), mencionan que el largo recomendable de las vertederas de una surcadora debe ser aproximadamente de 30 cm."

Por lo tanto, las vertederas tendrán un largo aproximado de 30 cm, y un espesor de 3 mm. Además, permitirá el ajuste del ancho de surcos en tres niveles: 20, 25 y 30 cm. Estas dimensiones se han establecido en función del tipo de cultivos que se siembran en la comunidad de San Juan y según los requerimientos de los agricultores de esta región.

La reja es la estructura principal de la surcadora, por lo tanto, tendrá un espesor de 8 mm, y estará diseñado de forma que pueda permitir regular la altura de trabajo, el cual contará de tres niveles de altura: 40,45,50 cm.

2.5.4.5 Velocidad de trabajo

"Según Aingla y Quiroz, (2012), mencionan que un arado de disco o vertedera, puede trabajar a una velocidad de, 5 a 10 km/h."

"Según Restrepo (2019), la velocidad de operación para mecanizar el surcado del suelo, varía entre 6 y 8 km/h, con una eficiencia que oscila entre el 80 y el 90 por ciento."

Por lo tanto, para el diseño de la surcadora se tomará en cuenta una velocidad de operación de 6 km/h. En base a estas consideraciones y parámetros de diseño, se ha realizado el diseño del implemento surcador de dos cuchillas ajustable, según las necesidades de los agricultores de la comunidad de San Juan.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 CONCLUSIONES

- Se ha realizado con éxito la propuesta de diseño de una surcadora agrícola adaptada al motocultor Changfa CF 151, según las necesidades y requerimientos de los agricultores de la comunidad de San Juan.
- Se determinaron las necesidades y requerimientos específicos de los agricultores de la comunidad de San Juan respecto al proceso de surcado del suelo agrícola mediante una encuesta detallada, que permitió recopilar información directamente de los agricultores.
- Se llevó a cabo un análisis, sobre las diversas tecnologías y métodos existentes para el surcado del suelo agrícola, con el objetivo de proporcionar una información adecuada y fundamentada para el diseño óptimo de la surcadora agrícola.
- Se realizó con éxito el diseño, modelado y simulación de la surcadora utilizando el software CAD (Autodesk Inventor). De la misma manera se llevó a cabo un análisis de elementos finitos (FEA), para garantizar la resistencia y la seguridad del diseño de la surcadora. Como resultado del análisis, se concluye que el diseño propuesto es lo suficientemente resistente, además de mantener un factor de seguridad dentro de los niveles aceptables.
- Es factible implementar una surcadora agrícola, para los agricultores de la comunidad de san juan. Esto se debe a que el costo de fabricación del implemento diseñado, es más bajo en comparación con las surcadoras de características similares ofrecidas por las tiendas agrícolas.

3.2 RECOMENDACIONES

- Como todo proyecto de diseño requiere de un desarrollo experimental, se sugiere la posibilidad de llevar adelante el proceso de fabricación del implemento para validar el diseño en condiciones reales de uso y realizar ajustes finales si fueran necesarios.
- Para mantener la surcadora agrícola en óptimas condiciones, se recomienda seguir las siguientes pautas de mantenimiento:
 - Realizar una limpieza adecuada después de cada uso para evitar la acumulación de tierra.
 - Lubricar regularmente las partes móviles para asegurar un funcionamiento suave.
 - Utilizar las herramientas apropiadas para ajustar los pernos.
 - Almacenar la surcadora en un lugar limpio y seco cuando no esté en uso.
- La surcadora se ha diseñado específicamente para trabajar en un suelo franco. Además, es importante destacar que la velocidad máxima a la que puede trabajar la surcadora acoplada al motocultor es de 6 km/h. Por lo tanto, se recomienda considerar estos aspectos para prevenir posibles inconvenientes.
- Se recomienda continuar investigando nuevas tecnologías y métodos que puedan mejorar aún más la eficiencia y la productividad de las actividades agrícolas en la comunidad de San Juan.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRICOLA NOROESTE. (2022). *Soluciones integradas*. Jurídicas Agrícola Noroeste. Consultado el 9 de febrero de 2024.
<https://agricolanoroeste.com/2022/12/21/la-evolucion-de-la-agricultura-de-la-traccion-animal-a-la-agricultura-digital/>
- AGROTRAC S.A.S. (2023). *Surcadora (CAT I)*. Consultado el 16 de marzo de 2024. <https://agrotraconline.com/producto/implementos-agricolas-nuevos/camellon-y-drenajes/surcadora/surcadora-categoria-i/>
- AGRIEURO. (2024). *Maquinas agrícolas para la labor del terreno*. Jurídicas AGRIEURO. Consultado el 28 de febrero de 2024, de:
<https://blog.agrieuro.es/subsolador-agricola-guia-de-compra/>
- Aingla Silva Cristian Rolando, Q. O. (febrero de 2012). *Diseño y construcción de un equipo de labranza con tracción accionada por un motor de combustión interna para el tallado de un surco de siembra a la vez [PDF]*. Consultado el 12 de marzo de 2024, de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4511/1/CD-4130.pdf>
- Aceromafe. (2024). *Propiedades y especificaciones del acero ASTM A36*. Consultado el 30 de abril de 2024, de <https://www.aceromafe.com/placa-a36-especificaciones/>
- AgriExpo. (2024). *Aporcador 2 hileras*. Consultado el 30 de abril de 2024, de <https://www.agriexpo.online/es/prod/dasmesh-mechanical-works-amargarh/product-182438-87999.html>
- ALTRAC. (11 de abril de 2022). *Evolución de las herramientas agrícolas*. Consultado el 17 de abril de 2024, de <https://www.altrac.es/evolucion-herramientas-agricolas-antiguas-y-modernas/>
- BIVICA. (2009). *Atlas de potencialidades productivas del estado plurinacional de Bolivia [PDF]*. Jurídicas BIVICA. Consultado el 24 de febrero de 2024. <https://www.bivica.org/files/atlas-potencialidades-Chuquisaca.pdf>BIVICA

- Camacho Jhonnatan, V. E. (2017). *Diseño y construcción de un apero bifuncional de motocultor YTO-DF15L para el MAGAP de la Provincia de Chimborazo*. Consultado el 28 de febrero de 2024. https://www.academia.edu/105932448/Dise%C3%B1o_y_construcci%C3%B3n_de_un_apero_bifuncional_de_motocultor_YTO_DF15L_para_el_MAGAP_de_la_Provincia_de_Chimborazo
- Cañavate, O. J. (2003). *LAS MAQUINAS AGRICOLAS y su aplicación [PDF]*. Consultado el 27 de febrero de 2024. <https://www.scribd.com/document/528841172/322571994-Las-Maquinas-Agricolas-y-Su-Aplicacion-Escrito-Por-Jaime-Ortiz-Canavate-PDF>
- Carranza, F. D. (2023). *Partes principales de un: Arado, Rastra y Surcadora*. Consultado el 8 de mayo de 2024. file:///C:/Users/Usuario/Downloads/pdf-partes-arado-rastra-y-surcadora_compress.pdf
- Cenicaña. (24 de noviembre de 2014). *Surcado de precisión con sistema autoguía*. Consultado el 17 de abril de 2024. <https://www.cenicana.org/surcado-de-precision-con-sistema-autoguia/>
- CIFEMA s.a.m. (2024). *IMPLEMENTOS Y EQUIPOS AGRICOLAS*. Consultado el 30 de abril de 2024. <https://www.cifema.org/products.html>
- Correa, C. G. (2013). *SISTEMA DE ENGANCHE AL TRACTOR CON LOS IMPLEMENTOS AGRICOLAS*. Consultado el 8 de mayo de 2024. <https://www.studocu.com/co/document/universidad-de-la-sabana/maquinaria-y-equipo/sistema-de-enganche-al-tractor-con-los-i/34793674>
- Croper Ltda. (2024). *Surcador Ajustable - BCS*. Jurídicas Croper Ltda . Consultado el 15 de abril de 2024. <https://croper.com/products/8219-surcador-ajustable-bcs>
- Castillo, M. (abril de 2018). *Diseño y manufactura de un prototipo de arado de vertedera para motocultor [PDF]*. Consultado el 11 de febrero de 2024. file:///C:/Users/Usuario/Downloads/DISENO_Y_MANUFACTURA_DE_UN_PROTOTIPO_DE_ARADO_DE_V.pdf

- Dinatek. (2022). *Motocultores (CHANGFA)*. Jurídicas Dinatek. Consultado el 11 de febrero de 2024. <https://dinatek.ec/brand/changfa/>
- Molina, D. G. (2013). *Resistencia a la penetración en un suelo franco arcilloso a dos años de manejo con tres sistemas de labranza*. Consultado el 26 de abril de 2024. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v22s1/rcta12513.pdf>
- Gobierno Autónomo Departamental de Chuquisaca. (22 de mayo de 2023). *Más de un centenar de familias de Yamparáez se benefician con politubos y herramientas*. Consultado el 16 de marzo de 2024. <https://chuquisaca.gob.bo/portal/2023/05/22/mas-de-un-centenar-de-familias-de-yamparaez-se-benefician-con-politubos-y-herramientas/>
- I.L.G.A. (2022). *Funciones y Características de un Motocultor*. Jurídicas I.L.G.A. Consultado el 9 de febrero de 2024. <https://ilgaimportadora.com/funciones-y-caracteristicas-de-un-motocultor/#:~:text=Los%20motocultores%20son%20herramientas%20esenciales,y%20eficiente%20para%20los%20cultivadores.>
- Iglesias Diezma B, G. R. (2006). *TÉCNICA LABOREO [PDF]*. Consultado el 28 de febrero de 2024. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Vrural%20FVrural_2006_232E_26_34.pdf
- IICA. (2021). *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura*. Jurídicas IICA. Consultado el 9 de febrero de 2024. <https://iica.int/es/prensa/noticias/incorporar-los-pequenos-y-medianos-productores-las-nuevas-tecnologias-es>
- Info Agrónomo. (2024). *Preparación del suelo, importancia, objetivos, tipos de implementos*. Jurídicas Info Agrónomo. Consultado el 27 de febrero de 2024. <https://infoagronomo.net/nutricion-vegetal-libro-pdf/>
- Inostroza Juan, M. P. (2022). *Preparación del suelo [PDF]*. Consultado el 27 de febrero de 2024. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7275/NR36478.pdf?sequence=8&isAllowed=y>

- INSL. (2018). *Instituto Navarro de Salud Laboral [PDF]*. Jurídicas INSL. Consultado el 9 de febrero de 2024. <http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/3DB3FB4C-51AF-43E8-8E48-81C632265A97/0/04unidad4.pdf>
- IPAC. (2024). *Catálogo de productos (Aceros) [pdf]*. Consultado el 23 de mayo de 2024, de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/pdf-catalogo-ipac-nuevo_compress.pdf
- JACTO. (2023). *Tecnología Agrícola*. Jurídicas JACTO. Consultado el 9 de febrero de 2024. <https://bloglatam.jacto.com/mecanizacion-agricultura/>
- LISTE. (27 de Julio de 2021). *Tipos de Aperos Agrícolas*. Consultado el 28 de febrero de 2024. <https://www.liste.es/2021/07/27/tipos-aperos-agricolas/>
- Pérez Diego, C. J. (noviembre de 2015). *Surcadora [PDF]*. Consultado el 28 de febrero de 2024. <https://pdfcoffee.com/surcadora-8-pdf-free.html>
- Pineda, J. (2014). *T.S.U En Evaluación Ambiental*. Consultado el 26 de febrero de 2024. <https://encolombia.com/economia/agroindustria/agronomia/labranza/>
- Restrepo, L. A. (2009). *Selección de la maquinaria agrícola [PDF]*. Consultado el 7 de marzo de 2024. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/20991/23867_5744.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- René, T. C. (2021). *Medios técnicos de labranza, su tenencia, uso y fuente de energía para la agricultura familiar en el municipio de Pucarani*. Consultado el 13 de abril de 2024. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182021000300099
- Rodriguez, C. A. (1995). *preparación de suelos [PDF]*. Obtenido de https://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seridados/libro_el_cultivo_cana/libro_p109-114.pdf
- Tandazo, A. J. (2017). *Diseño y construcción de surcadora para motocultor YTO DF 15L para uso de parcelas de Magap en la provincia de chimborazo [PDF]*. Consultado el 29 de febrero de 2024. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6998/1/65T00231.pdf>

U.T.N.F.R.V.M. (2017). *plantadora de papas de dos surcos [PDF]*. Jurídicas U.T.N.

Consultado el 9 de febrero de 2024.

<https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.1227/2825/PLANTADORA%20ODE%20PAPA>

ANEXOS

ANEXO A: SIMULACIÓN DE LA SURCADORA AGRÍCOLA

Para la simulación del diseño, utilizaremos el software Autodesk Inventor, mediante el uso del módulo de análisis de elementos finitos (FEA), por sus siglas en inglés).

Para iniciar la simulación, es fundamental establecer las principales propiedades clave necesarias para simular el modelo. Como las características mecánicas del material y las fuerzas aplicadas durante el proceso de mecanizado.

Cálculo de la fuerza de tracción de la surcadora

La fuerza de tracción del implemento surcador, se refiere a la cantidad de fuerza que requiere la surcadora para ser trabajado de manera eficiente. Para determinar la fuerza de tracción de la surcadora, se empleará la siguiente ecuación. (Cañavate, 2003)

$$F = \mu \times S \quad (1)$$

Donde:

F: fuerza de tracción del implemento, en newton [N]

μ : resistencia específica del terreno [N/cm²]

S: sección de laboreo [cm²]

"Para un arado de vertedera como la surcadora, la sección del laboreo se calcula mediante la ecuación siguiente." (Cañavate, 2003)

$$S = n \times a \times p \quad (2)$$

Donde:

n: número de cuerpos del surcador

a: anchura de cada cuerpo [cm]

p: profundidad de trabajo [cm]

Según los requisitos de los agricultores de San Juan, la profundidad de trabajo es de 15 a 20 cm. El cual es un valor promedio para cultivar diferentes productos.

Por lo tanto, para determinar la profundidad de trabajo se tomará el valor máximo de 20 cm.

Datos:

n: número de cuerpos del surcador, 2

a: anchura del surcador, 30 [cm]

p: profundidad de trabajo, 20 [cm]

$$S = 2 \times 30 \times 20$$

$$S = 1200 \text{ cm}^2$$

Tabla A1: Resistencia específica según el tipo de suelo

Tipo de suelo	Resistencia específica [N/cm ²]
Arcillo-limoso	$\mu = 7 + 0,049 * V^2$
Franco-arcilloso	$\mu = 6 + 0,049 * V^2$
Franco-arcilloso-limoso	$\mu = 4,8 + 0,024 * V^2$
Franco	$\mu = 3 + 0,020 * V^2$
Limo-arenoso	$\mu = 3 + 0,032 * V^2$
Franco-arenoso	$\mu = 2,8 + 0,013 * V^2$
Arenoso	$\mu = 2 + 0,013 * V^2$

Fuente: (Cañavate, 2003, p. 67)

Para determinar la resistencia específica del terreno, se tomará el valor de suelo franco de la tabla A1, debido a que, en la comunidad de San Juan, es el tipo de suelo más predominante.

Donde V, es la velocidad de trabajo del implemento. Para el cálculo se tomará el valor de 6 km/h.

Remplazando estos datos a la ecuación (1) tenemos:

$$F = (3 + 0,020 \times 6^2) \frac{N}{\text{cm}^2} \times 1200 \text{ cm}^2$$

$$F = 4464 \text{ N}$$

Para corroborar la potencia requerida de la surcadora se realizará el cálculo, utilizando la siguiente ecuación.

Según Restrepo (2019) para determinar la potencia requerida de un implemento surcador se utiliza la siguiente ecuación:

$$P (W) = F \times V \quad (3)$$

Donde:

P (W): potencia en vatios

F: fuerza de tracción en [N]

V: velocidad de trabajo [m/s]

Convirtiendo la velocidad de trabajo a m/s, tenemos:

$$V = 6 \frac{km}{h} \times \frac{1000 m}{1 km} \times \frac{1 h}{3600 s} = 1,67 m/s$$

Reemplazando a la ecuación (3).

$$P (W) = 4464 N \times 1,67 m/s = 7454,88 W$$

Convirtiendo la potencia de vatios (W) a caballos de fuerza (HP), tenemos:

$$P = 7454,88 W \times \frac{1 hp}{745,7 W} \approx 10 hp$$

Considerando las pérdidas de potencia, el motocultor Changfa CF 151 ofrece una potencia efectiva disponible de aproximadamente 12,56 hp. Por lo tanto, el motocultor podrá operar la surcadora sin ningún problema.

Cargas aplicadas al diseño de la surcadora

Las principales cargas a las que estará sometida la surcadora son:

Fuerza de tracción: 4464 N

Fuerza de presión, ejercida por la resistencia del suelo: 4 N

Peso del implemento: 31,22 (kg)

Para determinar la fuerza de presión, ejercida por la resistencia del suelo, se utiliza la siguiente ecuación. (Cañavate, 2003)

$$F = Cs \times A \quad (4)$$

Donde:

Cs: es el coeficiente de resistencia específica del suelo (N/m²) = (37,2 N/ m²)

A: es el área de contacto del implemento con el suelo (m²)

Para determinar el área de contacto del implemento con el suelo (A):

$$A = W \times L \quad (5)$$

Donde:

W: es el ancho de trabajo del implemento (m)

L: longitud de contacto de la cuchilla (m)

Reemplazando a la ecuación (5):

$$A = 0,9 \times 0,12 = 0,108 \text{ m}^2$$

Reemplazando a la ecuación (4):

$$F = 37,2 \frac{N}{m^2} \times 0,108 \text{ m}^2 \approx 4 \text{ N}$$

Resultados del análisis de esfuerzos

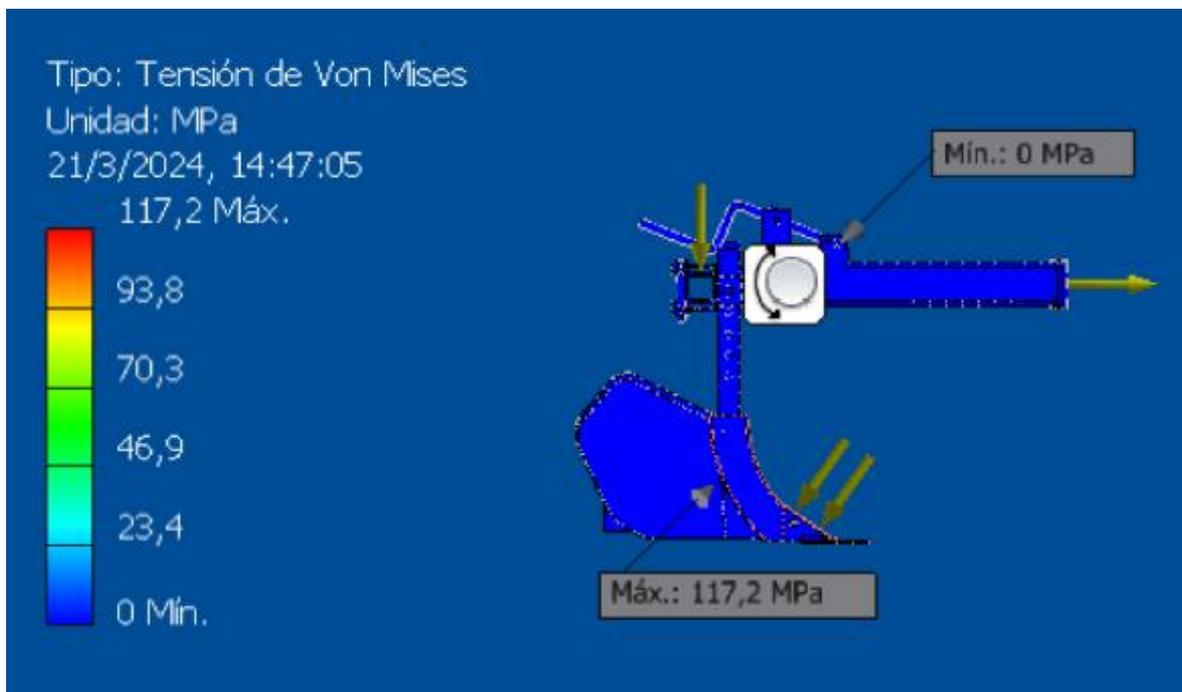


Figura A1: Análisis de esfuerzo Von Mises

Fuente: Elaboración propia

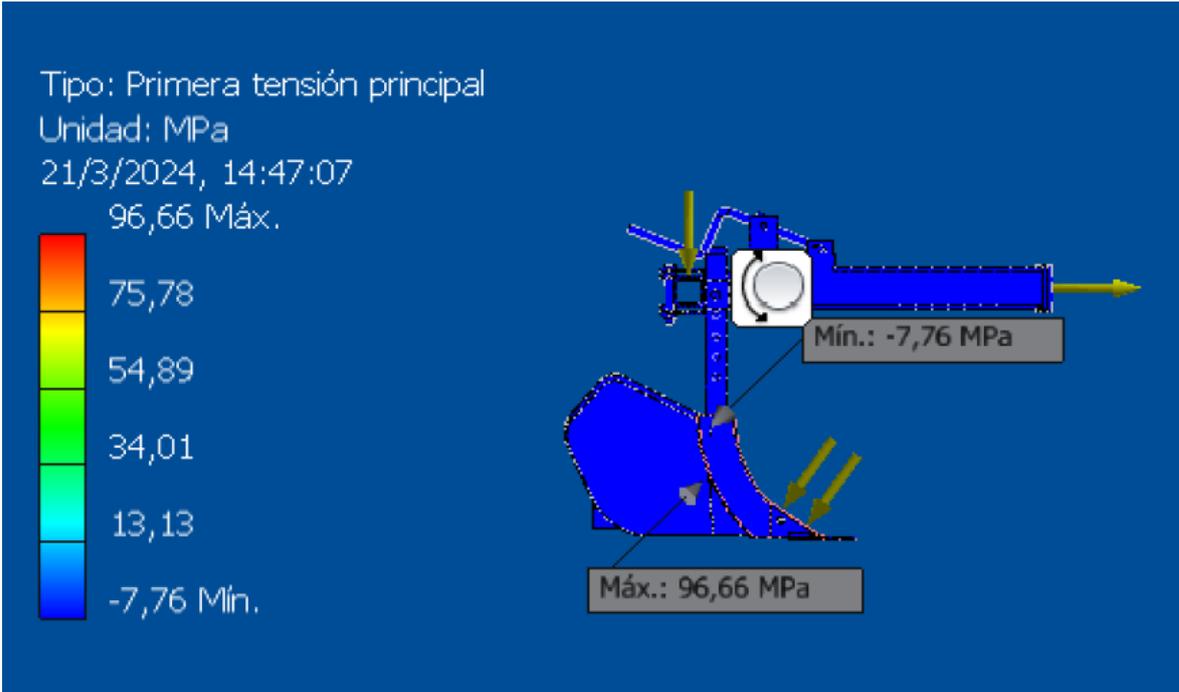


Figura A2: Análisis de la primera tensión principal
Fuente: Elaboración propia

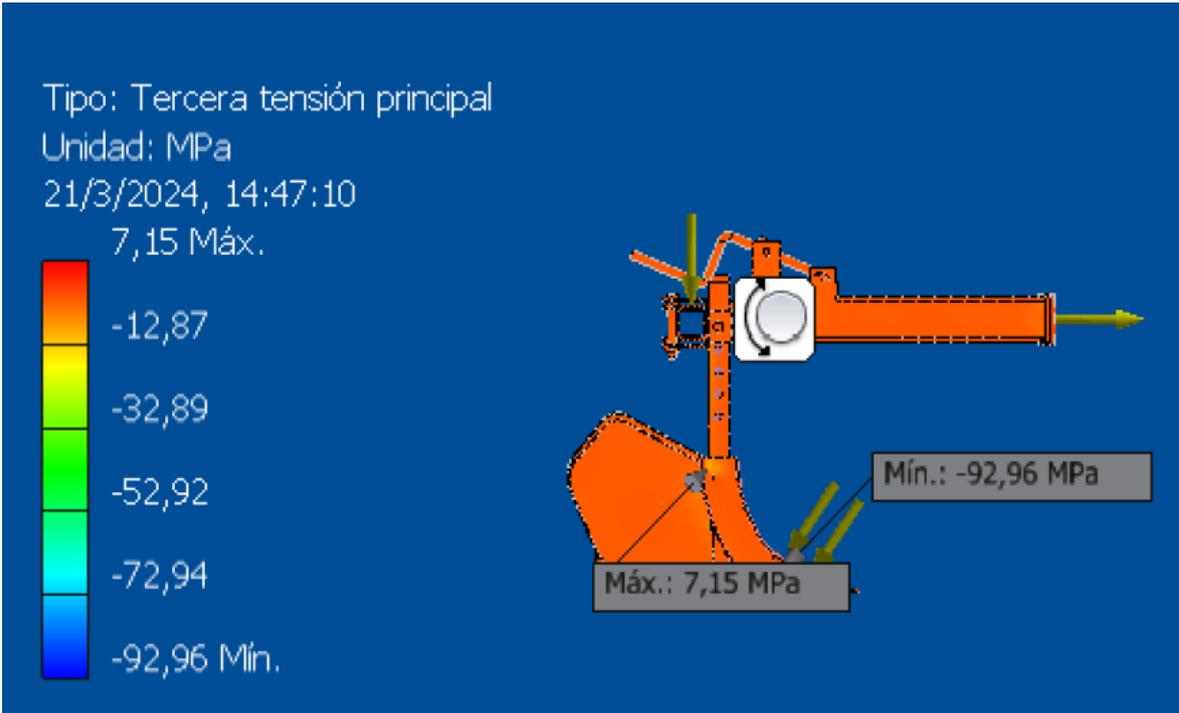


Figura A3: Análisis de la tercera tensión principal
Fuente: Elaboración propia

La figura A1, A2 y A3 nos muestra el análisis de esfuerzos de implemento surcador. Dando como resultados, que el máximo esfuerzo que sufre es la reja que tiene un valor de 117,2 MPa (tracción) y un esfuerzo mínimo de -92,96 MPa (compresión), en la cuchilla. El implemento es totalmente confiable ya que el acero ASTM A36 tiene una resistencia a la tracción de 400 MPa y una resistencia mecánica de 250 MPa.

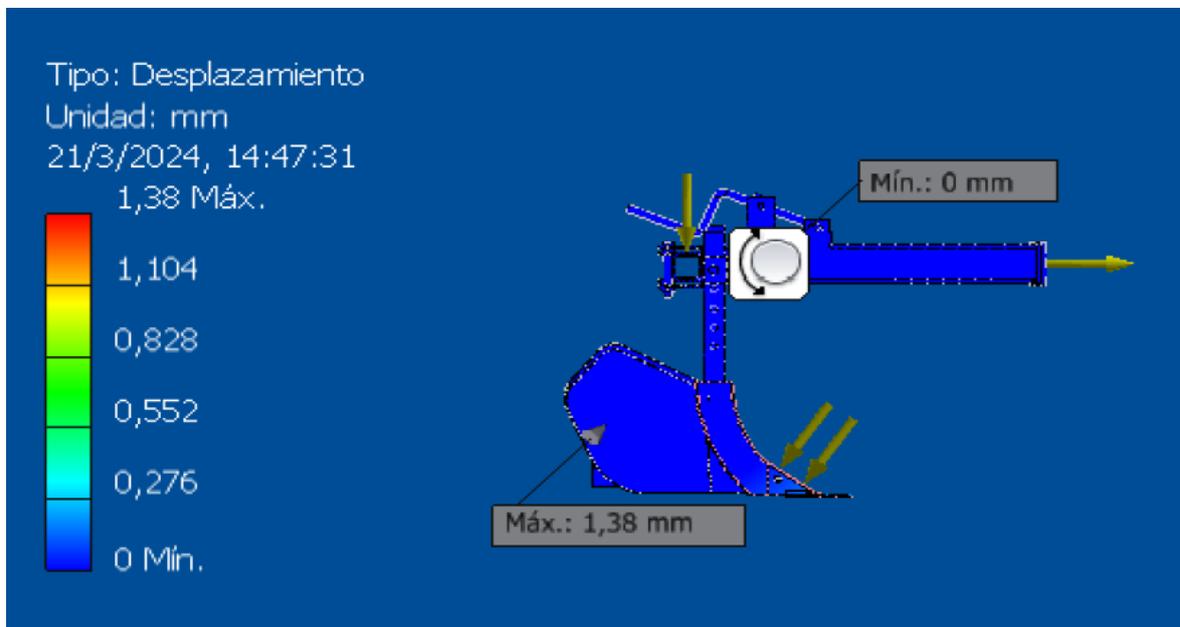


Figura A4: Análisis de desplazamiento
Fuente: Elaboración propia

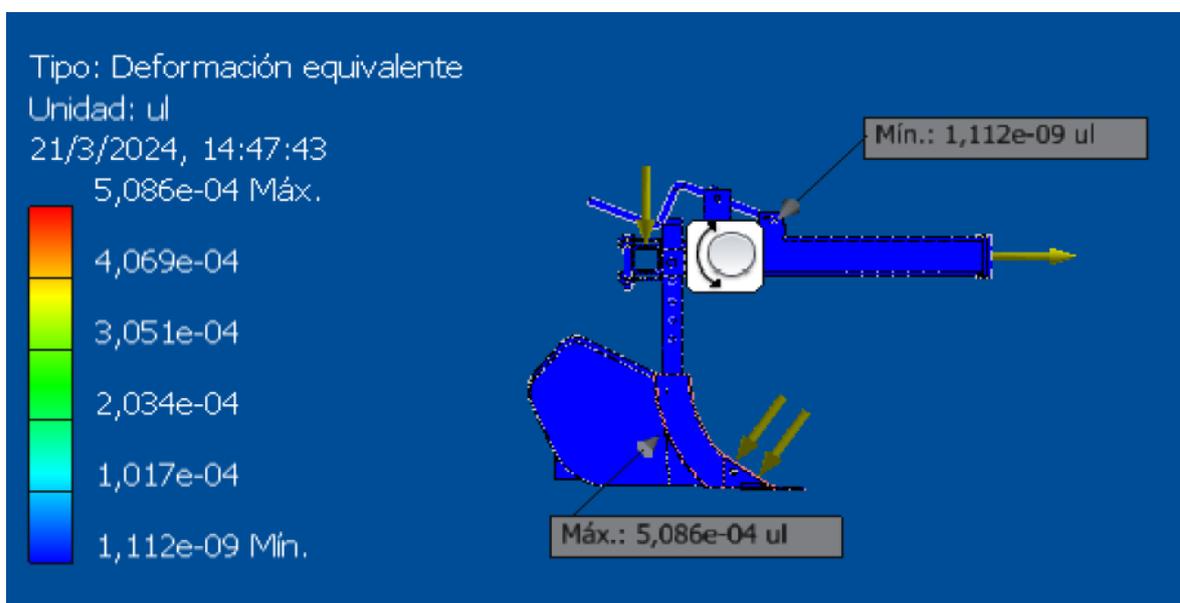


Figura A5: Análisis de la deformación
Fuente: Elaboración propia



Figura A6: Coeficiente de seguridad
Fuente: Elaboración propia

La figura A4, A5 y A6, nos muestra que el diseño del implemento surcador, es totalmente confiable, ya que presenta una deformación máxima de 1,38 mm y un coeficiente de seguridad en el punto más crítico (cuchilla), de 2,46 el cual está dentro del rango recomendable.

Capacidad de trabajo

La capacidad de trabajo se refiere a la cantidad de terreno que la maquinaria puede cubrir en un determinado período de tiempo, expresada en hectáreas por hora (ha/h). Este cálculo es fundamental para evaluar la eficiencia operativa de la surcadora y determinar su efectividad en la mecanización de las tareas agrícolas de surcado en la comunidad de San Juan. Para ello, se consideraran factores como el ancho de trabajo, la velocidad de operación, y la eficiencia de campo.

Factores que influyen en la capacidad de trabajo:

- **Ancho de trabajo (W):** El ancho efectivo que cubre la surcadora en cada pasada.
- **Velocidad de trabajo (V):** La velocidad a la que se desplaza el motocultor mientras opera la surcadora.

- **Eficiencia de campo (Ef):** Un factor que ajusta la capacidad teórica para reflejar pérdidas de tiempo debido a maniobras, tiempos muertos, o condiciones no ideales.

Según Restrepo (2019), menciona que la eficiencia de campo se puede considerar en un 85%.

Datos:

- Ancho de trabajo (W): 0.9 metros
- Velocidad de trabajo (V): 6 km/h
- Eficiencia de campo (Ef): 85% (0.85)

Capacidad Teórica de Trabajo:

$$Capacidad\ Teorica\ \left(\frac{ha}{h}\right) = \frac{V \times W}{10} \quad (6)$$

donde:

- V: es la velocidad de trabajo en km/h.
- W: es el ancho de trabajo en metros.
- El factor 10 es para convertir (m²/h) a (ha/h).

Reemplazando a la ecuación (6):

$$Capacidad\ Teorica\ \left(\frac{ha}{h}\right) = \frac{6 \times 0.9}{10} = \frac{5,4}{10} = 0,54\ ha/h$$

Capacidad real de trabajo:

$$Capacidad\ Real\ de\ trabajo\ \left(\frac{ha}{h}\right) = Capacidad\ Teorica\ \left(\frac{ha}{h}\right) \times Ef \quad (7)$$

Reemplazando a la ecuación (7):

$$Capacidad\ Real\ de\ trabajo\ \left(\frac{ha}{h}\right) = 0,54\ \frac{ha}{h} \times 0,85 \approx 0,5\ ha/h$$

Con un ancho de trabajo de 90 cm y una velocidad de trabajo de 6 km/h, la surcadora junto al motocultor podría labrar aproximadamente 0,5 hectáreas por hora en condiciones reales de operación, asumiendo una eficiencia de campo del 85%.

ANEXO B: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA SURCADORA

Tabla B1: Características técnicas de la surcadora

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
SURCADORA DE REJA		
CARACTERÍSTICAS	VALOR	UNIDAD
Fuerza requerida	10	hp
Ancho de trabajo (regulable)	90	cm
Largo	50	cm
Alto (regulable de tres niveles)	40-45-50	cm
Ancho de surco (regulable de tres niveles)	20-25-30	cm
Profundidad de trabajo: (regulable)		
Numero de surcadores: 2		

Fuente: Elaboración propia

ANEXO C: PLANOS DE DISEÑO DE LA SURCADORA

ANEXO D: COSTOS DE FABRICACIÓN

Para el análisis de los costos de fabricación del implemento surcador, es importante considerar los siguientes aspectos:

Costos directos

Hace referencia a los recursos que intervienen directamente en la implementación de la herramienta, tales como: mano de obra, materiales, equipos y maquinaria.

Costo de materiales

Tabla D1: Costo de materiales

DESCRIPCIÓN	CANT.	COSTO (SUS)
Tubo cuadrado ASTM A36 (40x3) mm	1,5 m	10,71
Tubo rectangular ASTM A36 (60x40x3) mm	50 cm	5
Tubo redondo ASTM A36 9/15''	6 cm	1,71
platina ASTM A36 (30x8) mm	65 cm	8,57
Eje ASTM A36 de 1/2''	35 cm	3,57
Plancha ASTM A36 (60x60) espesor de 3 mm	3 m2	217,47
Varilla de hierro lisa 1/2 in	48 cm	2,86
Pasador 1x16	3	3,43
Perno hexagonal M10	2	1,7
Perno hexagonal M8	4	3,57
Perno hexagonal M3	1	0,15
Perno hexagonal M4	2	0,57
Perno cónico de cabeza plana M6	4	1,16
Tuerca hexagonal M10	2	0,42
Tuerca hexagonal M8	4	0,86
Tuerca hexagonal M3	1	0,14
Tuerca hexagonal M4	2	0,35
Total, costos materiales		262,24

Fuente: Elaboración propia

Costos de herramientas

Se realizó una estimación de costos de herramientas en base al tiempo y potencia de consumo.

Tabla D2: Costo de herramientas

Herramienta	Costo/hora	Horas utilizadas	Costo (USD)
Amoladora	0,71	15,00	10,65
Taladro	2,00	3,00	6,00
Torno	5,71	2,00	11,42
Soldadora	2,00	8,00	16,00
Sierra circular	1,50	2,00	3,00
Prensa mecánica	1,40	2,00	2,80
costo total de herramientas utilizadas			49,87

Fuente: Elaboración propia

Costos mano de obra

Se realizó una estimación de los costos adicionales de mano de obra.

Tabla D3: Costo de mano de obra

Detalle	Costo hora	Horas hombre	Total (USD)
Soldador	3,50	16,00	56,00
Tornero mecánico	5,00	2,00	10,00
Costo total de mano de obra			66,00

Fuente: Elaboración propia

Resumen de costos directos

Tabla D4: Costos directos

DETALLE	VALOR (USD)
Materiales	262,24
Herramientas	49,87
Mano de obra	66,00
Total, de costos directos	378,11

Fuente: Elaboración propia

Costos indirectos

Los costos indirectos son todos aquellos costos, que no están directamente relacionados con la producción del implemento. Esto se calculará dándole un valor porcentual y en función del costo total directo.

Tabla D5: Costos indirectos

Detalle	Cantidad (%CD)	Valor (USD)
Transporte de materiales	3%	11,34
Ajustes adicionales	3%	11,34
Imprevistos	2%	7,56
Total, de costos indirectos		30,24

Fuente: Elaboración propia

Costos totales

Tabla D6: Costos totales de la surcadora

Detalle	Valor (USD)
Costos directos	378,11
Costos indirectos	30,24
TOTAL	408,35

Fuente: Elaboración propia

ANEXO E: EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para la evaluación económica de nuestro diseño, emplearemos el método de análisis comparativo. Compararemos nuestra surcadora con herramientas similares disponibles en tiendas agrícolas en Sucre, así como en tiendas en línea. Esto con el fin de determinar la viabilidad económica de nuestra propuesta en relación con las alternativas disponibles en el mercado.

Según la tienda de implementos agrícolas AGRODALIS (2024), ofrece una surcadora tipo japones de una cuchilla, el cual está diseñada específicamente para un motocultor Changfa CF 151, de 16 hp de potencia, esta herramienta cuenta con un sistema de ajuste el cual permite regular la profundidad y el ángulo de trabajo, tiene la capacidad de trabajar en suelos poco preparados. Esta herramienta tiene un costo de Bs3.800,00 (tres mil ochocientos con 00/100 bolivianos).

Según la tienda de implementos agrícolas CIFEMA s.a.m., (2024), ofrece una surcadora de dos cuerpos de labranza, específicamente para un motocultor de 16 hp de potencia, esta herramienta tiene la capacidad de realizar dos surcos a la vez, cuenta con un sistema de ajuste que permite regular la profundidad y el tamaño de los surcos. El cual tiene un costo de Bs3.900,00 (tres mil novecientos con 00/100 bolivianos).

Tabla E1: Comparación de costos

COMPARACIÓN DE COSTOS		
Tienda	Descripción	Costo (SUS)
AGRODALIS	Surcadora tipo japones de una cuchilla	543
CIFEMA s.a.m.	Surcadora de dos cuchillas	557
Costo total del diseño de la surcadora		408,35

Fuente: Elaboración propia

Realizando esta comparación de costos, se puede evidenciar que el diseño propuesto tiene un costo inferior. Por lo tanto, el diseño de la surcadora de dos cuerpos de labranza es factible implementar en nuestro medio.

ANEXO F: INFORMACIÓN ÚTIL PARA EL PROCESO DE DISEÑO

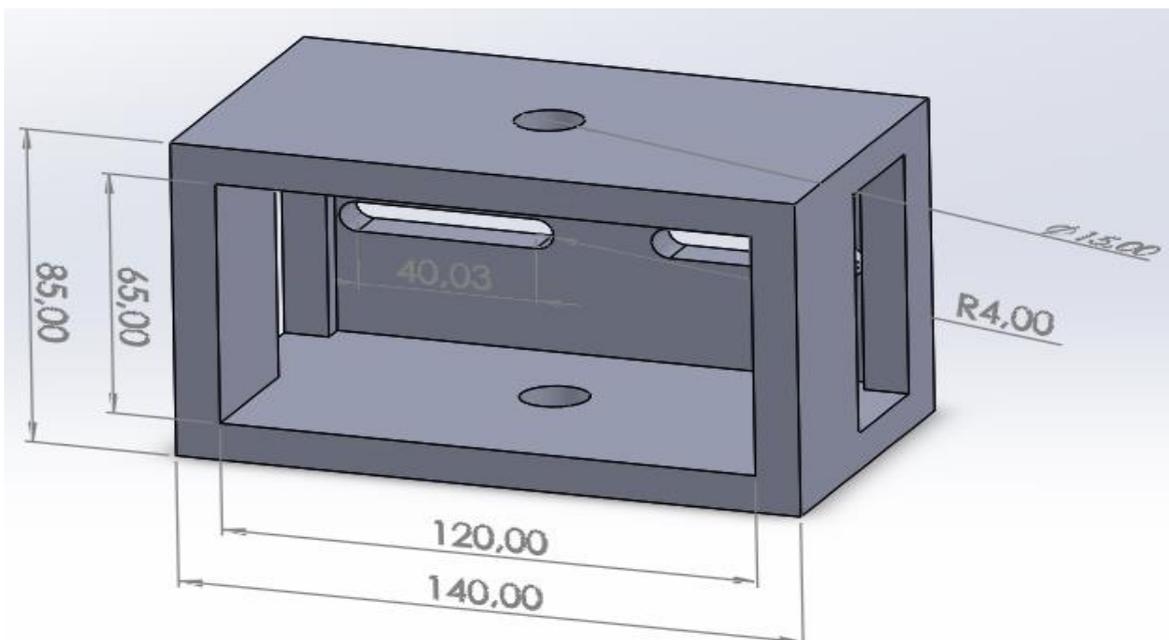


Figura F1: Dimensiones del sistema de acople del motocultor CF 151

Fuente: AGRODALIS (2024)

Cuadro II. Características técnicas de los aperos de labranza superficial.

	Cultivador	Grada de discos	Rodillos	Fresadoras	Rotocultores de formones
Peso por metro lineal (kg)	100-220	350-700	20-60 (jaula) 150-350	140-200	300-380
Anchura de trabajo (m)	2,5-6	2-5,5	1,5-12	1-3	1,5-4
Velocidad de trabajo (km/h)	5-10	5-8	5-10	2-6	2-6
Potencia necesaria del tractor (kw/m)	13-17	15-22	1-3 (jaula) 4-12	25-35	25-40

Figura F2: Características técnicas de los aperos de labranza superficial

Fuente: (Iglesias et al, 2006)

Propiedades Mecánicas	
Límite de Fluencia (mín.)	2530 Kg/cm ² (250 Mpa)
Resistencia a la Tracción (mín.)	4080 Kg/cm ² (400 Mpa)
Para espesores:	Elongación (mín. en 200 mm)
3mm y 1/8"	12.50%
3/16"	15.00%
1/4"	17.50%
Composición Química	
Carbono (% máx.)	0.26
Silicio (% máx.)	0.40
Fósforo (% máx.)	0.04
Azufre (% máx.)	0.05

Figura F3: Propiedades mecánicas del acero ASTM A36
Fuente: (TRAMONTINA ACEROS, 2019)

Tabla F1: Velocidad de trabajo típicas para diversas maquinas agrícolas

	Intervalo (Km/h)	Velocidad (Km/h)
LABOREO		
Subsolador	4 a 8	6
Cultivador Rotativo Accionado	2 a 8	6
Cultivador en línea	5 a 11	8
Grada de discos	5 a 10	9
Arado (Discos o Vertedera)	5 a 9	7
Cilindro Desterronador	7 a 12	10
Grada Rotativa de Estrella	8 a 16	13
Cultivador de Púas	8 a 13	11
Fresadora	2 a 7	5
ABONADORA		
Abonadora Centrifuga	8 a 16	11
Distribuidor de Estiércol	5 a 8	7
SIEMBRA		
A chorrillo	6 a 10	8
MONOGRANO		
Maíz	5 a 9	7
Resto, incluido hortícolas	4 a 7	6
TRATAMIENTOS		
Pulverizador	5 a 11	9
RECOLECCIÓN		
Segadora Rotativa	8 a 16	11
Segadora Acondicionadora	6 a 10	8
Rastrillo	5 a 11	8

Fuente: (Tandazo y Freire, 2017, p. 90)