



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA ZOOTÉCNICA

**“DISEÑO, CONSTRUCCION Y EVALUACION DE UN AIREADOR DE
PASTIZALES”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del título de:

INGENIERO ZOOTECNISTA

AUTOR

Juan Andrés Silva Maldonado

Riobamba – Ecuador

2016

Este Trabajo de Titulación fue aprobado por el siguiente Tribunal

Dr.C. Luis Gerardo Flores Mancheno
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. M.C. José Vicente Trujillo Villacis
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Edwin Darío Zurita Montenegro
ASESOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Riobamba, 18 de Abril de 2016.

CONTENIDO

RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
Lista de cuadros	vii
Lista de gráficos	viii
Lista de anexos	ix
I. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
II. <u>REVISIÓN DE LITERATURA</u>	3
A. LA COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS	3
1. Origen	3
2. Causas	3
3. Efectos	4
4. Prevención	5
a. La Maquinaria	5
b. Factores relacionados con el suelo	6
c. Medidas para evitar el problema	6
5. Correctivos para la compactación	7
B. LA AIREACIÓN DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS	9
1. Importancia de la aireación del suelo en pastizales	9
2. Composición Gaseosa del Aire del Suelo	9
a. Oxígeno	9
b. Dióxido de carbono	10
c. Otros gases	11
C. LA ALFALFA	11
1. Origen	11
2. Importancia económica	11
3. Descripción botánica	12
a. Raíz	12
b. Tallos	12
c. Hojas	12
d. Flores	12
e. Fruto	12
4. Requerimientos edafoclimáticos	12
a. Radiación solar	12

b.	Temperatura	13
c.	pH.	13
d.	Salinidad	13
e.	Tipo de suelos	14
D.	La compactación del suelo en la alfalfa	14
e.	Estado del arte de la tecnología mecánica de renovación de praderas	14
1.	Equipos	15
a.	Renovador de praderas con "Paratill"	15
c.	Renovador de praderas Japonés	17
d.	Renovador de praderas de acción vertical "AerWay"	18
III.	<u>MATERIALES Y METODOS</u>	20
A.	LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DE LA INVESTIGACION	20
1.	Condiciones Meteorológicas	20
B.	UNIDADES EXPERIMENTALES	20
C.	MATERIALES, EQUIPOS, E INSTALACIONES	20
1.	Materiales	21
2.	Equipos	21
3.	Maquinaria	21
D.	TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	22
E.	MEDICIONES EXPERIMENTALES	22
F.	ANÁLISIS ESTADÍSTICOS Y PRUEBAS DE SIGNIFICANCIA	22
G.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	22
H.	METODOLOGÍA DE LA EVALUACION	23
a)	Profundidad de laboreo	23
b)	Velocidad del tractor	24
c)	Resistencia del apero	24
d)	Altura del pasto	24
IV.	RESULTADO Y DISCUSIÓN	25
A.	RESULTADO OBTENIDO EN LAS PRUEBAS DEL AIREADOR DE PASTOS EN EL CAMPO	25
1.	Profundidad de laboreo.	25
2.	Velocidad del tractor	26
3.	Resistencia del apero	27
4.	Altura del pasto	29

V. <u>CONCLUSIONES</u>	31
VI. <u>RECOMENDACIONES</u>	32
VII. <u>LITERATURA CITADA</u>	33
ANEXOS	

DEDICATORIA

Ofrendo este proyecto de Trabajo de Titulación y toda mi carrera estudiantil a Dios, quien ha estado en todos los momentos buenos y malos de mi vida, brindándome fuerzas para superar las vicisitudes que se han venido presentando a lo largo de esta magnífica experiencia universitaria.

Todo mi sacrificio y dedicación depositados en mi vida estudiantil y en el presente, se las dedico a mis padres Juan Silva, y a mi madre Cecilia Maldonado que con su valentía, amor incondicional y ejemplo han sabido guiar mi vida y a quien les debo todo.

A mis hermanas Marcela y Gabriela que siempre han sabido brindarme su cariño y han sabido apoyarme incondicionalmente en todos mis proyectos, y a mi enamorada Valeria por su apoyo y ayuda en mis proyectos.

Juan Andrés Silva Maldonado

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Zootécnica, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

A los Ingenieros Vicente Trujillo y Edwin Zurita quienes sin interés alguno han sido una valiosa guía durante mi carrera y desarrollo de la Trabajo de Titulación.

Juan Andrés Silva Maldonado

RESUMEN

El constante pisoteo en el pastizal por parte de los animales y el uso de maquinaria agrícola producen que los suelos se compacten, disminuyendo la producción del pasto y generando pérdidas económicas a los productores y problemas de degradación de los suelos.

Para solucionar este problema se han planteado los siguientes objetivos: Diseñar un aireador cuya construcción sea viable, en función de la tecnología existente en nuestra región, construir el aireador de pastos, diseñado y evaluar el desempeño del aireador de pastos en, profundidad de labor, Velocidad de trabajo, resistencia del apero.

Se empleó la metodología de diseño de Pahl y Beitz para el desarrollo de este trabajo de titulación. Evaluando en el apero, profundidad de laboreo, velocidad de trabajo y resistencia del apero. Y se realizó una prueba en alfalfa para demostrar la influencia del apero en la altura alcanzada por esta a los 20 días de su aplicación.

Los resultados obtenidos tras las pruebas fueron: El apero alcanza una profundidad de laboreo de 12.62 cm, una velocidad de trabajo promedio de 4.2 km/h, deformación en las cuchillas debido a la excesiva presión lateral y en cuanto a la alfalfa tras la aplicación del apero, se mejoró en un 11% la altura y por ende su producción. Se concluye que la metodología de Pahl y Beitz es una gran herramienta de diseño ya que nos ayudó acertar en las variables estudiadas, la aplicación del apero aumento en 11% la altura del forraje y económicamente es viable su construcción ya que el costo es de 1821 dólares, se recomienda aumentar el contenido de carbono del acero de las cuchillas, disminuir su longitud, eliminar las aperturas de 20° y 30° de los brazos porta cuchillas, colocar una canasta porta lastre, e incrementar el número de cuchillas de 3 a 4, por disco.

ABSTRACT

The constant trampling on pasture by animals and the use of agricultural machinery produced soils are compacted, reducing the production of grass and causing economic losses to producers and problems of land degradation.

It has consequently set the following strategic objectives to solve this problem: To design an aerator, whose construction is feasible, based on existing technology in the region, to construct the designed pasture aerator and to evaluate the performance of the pasture aerator in depth of work, speed of work, resistance of the implement.

It was used the methodology of Pahl and Beitz design for the development of this degree work. The tillage depth, speed of work were evaluated in the implement as well as its resistance, and for demonstrating the influence of the implement in the height reached by this one to 20 days of its application was made a test in alfalfa. The results obtained after the tests were:

The implement reaches a tillage depth of 12,62 cm, a working speed average of 4,2 km/h, deformation in the blades due to excessive lateral pressure and with respect to alfalfa after application of the implement; the height was improved in a 11%, and therefore its production. It is concluded that the methodology of Pahl y Beitz is a great design tool because it helped to succeed in the variables studied, the application of the implement increased in 11% the height of the forage and economically its construction is viable since the cost is 1821 dollars, it is recommended to increase the carbon content of the steel of the blades, decrease its length, and remove the openings of 20° and 30° of the blade-holder arms, place holder basket ballast, and increase the number of blades of 3 to 4 per disc blade holder.

LISTA DE CUADROS

1.Condiciones meteorológicas de Riobamba	20
2.Medidas de la profundidad de trabajo (cm)	25
3.Velocidad Registrada	27
4.Resistencia del apero	28
5.Resultados obtenidos en altura de las plantas	29

LISTA DE GRÁFICOS

1.Desarrollo de un cultivo en un suelo sin restricciones físicas de suelos (a) y en un suelo compactado (b).	4
2.El subsolador	8
3. Paratill comercial.	15
4.Renovador de Praderas (Arado de Cinceles).	17
5.Renovador de pasturas Japonés.	18
6.AerWay. Modelo comercial.	19

LISTA DE ANEXOS

1. Fases de diseño de la metodología de Pahl y Beitz
2. Desarrollo de la metodología de diseño de Pahl y Beitz aplicado en el aireador de pastizales
3. Proceso Constructivo.
4. Resistencia del apero.
5. Planos
6. Resultados de Alfalfa

I. INTRODUCCIÓN

En nuestro País debido a las condiciones edafoclimáticas idóneas para el cultivo de pastos y forrajes, constituyen el principal alimento de los herbívoros destinados al consumo humano, han permitido que ciertas regiones se caractericen por su abundante y variada producción ganadera. Asimismo hasta hace no muchos años a la agricultura no se le ha sabido dar la apropiada importancia tecnológica y actualmente su interés se ha direccionado a la tecnificación de metodologías de cultivos y muy en especial al diseño de maquinaria y accesorios agrícolas que buscan mejorar la eficiencia en múltiples actividades agrarias tales como siembra, abonado, aireación, renovación, transporte de productos, cosecha entre otras.

El constante pisoteo por parte del ganado al pastizal, produce compactación del suelo, esto implica que la permeabilidad se pierda paulatinamente, impidiendo que agua, aire y nutrientes ingresen en él, reduciendo progresivamente la producción del pastizal.

La tecnología de aireadores de pastizales en nuestro país es aun escasa, ya que su costo es elevado porque en su mayoría son importados y la producción nacional es muy escasa, restringiendo su uso a los grandes productores ganaderos, que cuentan con los recursos para adquirirlos, a esto hay que añadir que la mayor parte de los productores de pastos desconocen el accionar y ventajas de este apero debido a la escasa difusión del mismo en nuestro país.

Con el diseño de un aireador de pastos, que pueda ser construido y aplicado en nuestro país, se consigue aumentar la eficiencia del proceso de producción, debido a que esta tecnología disminuye tiempo y esfuerzos.

Existen grandes problemas que ocasionan los actuales sistemas de producción de pastos como son la erosión del suelo, pérdida precoz de la producción forrajera, largos periodos de espera entre la siembra e inicio de la producción.

Los aireadores de pastizales presentan grandes ventajas tanto agrarias como económicas frente a las tradicionales técnicas de renovación, esta característica ha sido puesta al descubierto por otros países, que tratan de obtener su máximo provecho.

Por lo expuesto anteriormente se plantearon los siguientes objetivos:

- Diseñar un aireador cuya construcción sea viable, en función de la tecnología existente en nuestra región.
- Construir el aireador de pastos.
- Evaluar el desempeño del aireador de pastos en, profundidad de laboreo, Velocidad de trabajo, resistencia del apero, y altura alcanzada por el pastizal a los 20 días, de la aplicación del aireador.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

A. LA COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS

1. Origen

Según: <http://www.abcagro.com/riego/compactacionsuelos.asp>(2012), la compactación del suelo corresponde a la pérdida de volumen que experimenta una determinada masa de suelo, debido a fuerzas externas que actúan sobre él. Estas fuerzas externas, en la actividad agrícola, tienen su origen principalmente en:

- Implementos de labranza del suelo.
- Cargas producidas por los neumáticos de tractores e implementos de arrastre.
- Pisoteo de animales.

Domínguez, J.(2012), Reporta en condiciones naturales (sin intervención antrópica) se pueden encontrar en el suelo, horizontes con diferentes grados de compactación, lo que se explica por las condiciones que dominaron durante la formación y la evolución del suelo”, sin embargo, es bajo condiciones de uso intensivo agrícola, es que este fenómeno se acelera y llega a producir serios problemas en el desarrollo de las plantas cultivadas.

2. Causas

Según: http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/r497932/es/contenidos/informacion/suelo/es_1044/compactacion.html(2009), la compactación es causada por el efecto repetitivo y acumulativo producido por la maquinaria agrícola pesada y por el pastoreo excesivo, en condiciones de humedad elevada del suelo. No es específica de suelos agrarios sino que también son susceptibles los lugares ocupados por edificios y las áreas recreativas muy frecuentadas.

Existen dos tipos principales de compactación: la que se produce a poca profundidad o la que se produce a mayor profundidad, a nivel del subsuelo. La primera tiene lugar preferentemente en las fases preparatorias de la tierra para la siembra, con la utilización de fertilizantes y pesticidas.

La compactación a nivel del subsuelo es causada por la maquinaria pesada utilizada durante la cosecha y por la diseminación de restos orgánicos de origen animal con tanques de gran capacidad que poseen ejes pesados, la compactación del suelo es potencialmente la mayor amenaza para la productividad agrícola.

La incidencia de la erosión por el viento, propia de climas áridos y semiáridos, es casi siempre debida a la disminución de la cubierta vegetal del suelo, bien por sobrepastoreo o a causa de la eliminación de la vegetación para usos domésticos o agrícolas.

3. Efectos

Para http://webpc.ciat.cgiar.org/suelos/e_internacionales/compactacion_suelo.pdf. (2011), En la actualidad, debido a un mal manejo de la maquinaria agrícola es lo que ha producido una compactación de los suelos de cultivo, observando que en nuestro medio hay un aumento de la densidad aparente, la resistencia mecánica y una destrucción de la estructura del suelo. Una baja porosidad del suelo, produce una aireación y oxigenación menor, lo que incide en una disminución de absorción de nutrientes y agua, agravándose este fenómeno cuando se da riegos excesivos, produciéndose un ahogo y muerte de las raíces.

Los efectos que la compactación produce, se traducen en un menor desarrollo del sistema radical de las plantas y, como se observa en el Gráfico 1, por lo tanto, un menor desarrollo de la planta en su conjunto, lo que redundará en una menor producción.

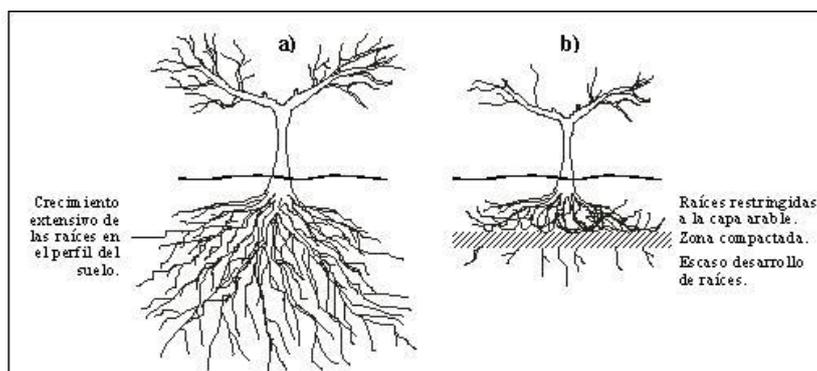


Gráfico 1. Desarrollo de un cultivo en un suelo sin restricciones físicas de suelos (a) y en un suelo compactado (b).

Según http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/r497932/es/contenidos/informacion/suelo/es_1044/compactacion.html,(2009), la compactación modifica la actividad bioquímica y microbiológica del suelo. El mayor impacto físico que se produce, es la reducción de la porosidad, lo que implica una menor disponibilidad tanto de aire como de agua para las raíces de las plantas. Al mismo tiempo, las raíces tienen más dificultad en penetrar en el suelo y un acceso reducido a los nutrientes. La actividad biológica queda de esta forma, sustancialmente disminuida. Otro efecto de la compactación es el aumento de la escorrentía, disminuye la capacidad de filtración del agua de lluvia. Esto incrementa el riesgo de erosión producida por el agua y la pérdida de las capas superficiales de suelo y la consiguiente pérdida de nutrientes. Existen cálculos estimativos sobre la pérdida de productividad de las cosechas debido a este fenómeno que en el caso de la compactación de la superficie de suelo alcanza valores de hasta el 13% mientras que la compactación del subsuelo puede ocasionar pérdidas de entre un 5-35%.

4. Prevención

Querol, A.(2013), Reporta, uno de los mayores problemas es el remediar la compactación del suelo, ya que implica altos costos, por lo tanto es mejor evitar con un adecuado manejo de suelos y de la maquinaria agrícola. Entre los factores para que este fenómeno no llegue a niveles que afecten la productividad de la especie cultivada, están los siguientes:

a. La Maquinaria

Los factores que se describen, deben ser controlados, para mitigar los efectos que por mal uso de Maquinaria en las labores agrícolas se dan:

- **Peso de la maquinaria:** a mayor lastre de la maquinaria se presenta un mayor riesgo de compactar el suelo alcanzando profundidades mayores de tupimiento.
- **Ancho y Presión de inflado de los neumáticos:** A mayor área de los neumáticos (neumáticos más anchos) y menor presión de inflado, la compactación sobre el suelo es menor.

- Patinaje de las ruedas: Mientras exista tracción a los implementos de parte del tractor, el fenómeno del patinaje siempre va estar presente, lo que es necesario minimizarlo en función de su peso, estado de suelo, dando como valores permisibles del 15 – 18 % para suelos compactos y del 25 – 30% para suelos friables.
- Velocidad de trabajo: cuando la presión sobre el suelo es mantenida por un mayor tiempo el fenómeno de compactación tiene una mayor posibilidad de producirse, por lo que sería adecuado realizar las labores a una velocidad lo más alta posible. Además el número de pasadas que se planifique, deberán ser las mínimas necesarias, ya que un mayor tiempo de permanencia de la maquinaria en el campo contribuye a una mayor compactación.
- Profundidad de trabajo del implemento de laboreo de suelos: se recomienda variar la profundidad de laboreo y/ o aireación utilizando implementos afines para dichas labores.

b. Factores relacionados con el suelo

Los factores o propiedades físicas que se relacionan directamente con la condición de un suelo, la textura, tipo y estabilidad de la estructura, densidad aparente, carga histórica, resistencia a la deformación. El Contenido de humedad del suelo se relaciona con un mayor contenido de agua, el suelo puede deformarse y compactarse con menores presiones recibidas. Por lo tanto, las labores deben realizarse con el suelo lo más seco posible.

c. Medidas para evitar el problema

Es necesario recurrir a ciertas recomendaciones que ayuden a minimizar el problema de compactación en pastizales, de manera que los rendimientos se mantengan en niveles de productividad y no afecten a mermas significativas de disponibilidad de alimento para el ganado y entre estas se citan las siguientes:

- Incorporación de materia orgánica al suelo: la materia orgánica incorporada al suelo actúa directa e indirectamente favoreciendo la formación y la estabilidad de la estructura del suelo, lo que puede ayudar a prevenir la compactación.

- Uso de cubiertas vegetales: la penetración de las raíces y su posterior muerte producen poros continuos que ayudan al movimiento del aire y el agua en el suelo. Por medio de la cubierta vegetal, se incorpora también materia orgánica.
- Uso de camellones para la huella del tractor: al construir camellones para el paso de las ruedas de la maquinaria se evita que el efecto de la compactación llegue a mayor profundidad.
- Uso de pistas de circulación: al ubicar pistas exclusivas para el tránsito de la maquinaria se puede evitar el paso innecesario de maquinaria por la superficie del suelo.
- Ajustar maquinaria a una misma trocha: esta medida está orientada a reducir el área que es usada por la maquinaria, manteniendo una sola huella para el paso de las ruedas.

5. Correctivos para la compactación

Rico, A. (1991), asevera que para mitigar la compactación de un suelo, se pueden dar medidas correctivas como: el subsolado, aireado y medidas complementarias, que tienen efectos en el suelo, a mediano y largo plazo. El primero es una labor que va de 30 a 70 cm de profundidad y se lo realiza con un subsolador o Cíncel, en caso de labores de mantenimiento y roturas superficiales de zonas compactadas se recurre a aireadores, cuya profundidad de corte puede llegar a los 20cm, teniendo como implementos a sistemas de corte vertical mediante cuchillas rotativas y para complementar se incorpora restos vegetales, con el fin de suministrar materia orgánica al suelo.

Según:http://www.pioneer.com/CMRoot/International/Argentina_Intl/AGRONOMIA/boletines/Compactacion_de_suelo.pdf.(2002), Si la compactación que existe en un lote es superficial se puede solucionar relativamente fácil con roturación del suelo en los primeros 5 cm. usando rodillos aireadores o rastras rotativas. Si la compactación es en profundidad se deben realizar roturaciones hasta por lo menos 40cm., de profundidad usando principalmente escarificadores o subsoladores con los que se va rompiendo la capa endurecida para permitir la

infiltración del agua y el paso de las raíces a través de los agrietamientos producidos. Hoy en día las descompactaciones por debajo de la profundidad normal del arado son difíciles de resolver y de alto costo económico. Antes de utilizar el subsolador se debe identificar a qué profundidad está la compactación y pasarlo 5 a 10 cm. por debajo de la misma, y con el suelo lo suficientemente seco. Si se hace un subsolado cuando el lote tiene la humedad del suelo a capacidad de campo se puede crear más compactación en vez de eliminarla. El subsolador visto en el Gráfico 2, es la herramienta que utilizada convenientemente afloja el suelo y va soltando las capas compactadas, levantándolas y disgregándolas, formándose una red de macroporos interconectados, algunos de los cuales van desde el subsuelo suelto hasta la superficie, actuando como vías para la penetración de raíces y el flujo de agua y aire. Los subsoladores normalmente trabajan a profundidades de 30-70 cm.

El subsolado es una labor de elevado costo y por lo tanto debe hacerse sólo cuando las características del suelo lo justifican. Por lo tanto, antes de tomar la decisión de hacer esta labor debe estudiarse con detención el perfil del suelo, determinando la presencia de estratos de suelo compactados, analizando su ubicación y distribución espacial en el lote.



Gráfico 2.El subsolador

B. LA AIREACIÓN DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS

Según:<http://araucarias.blogspot.com/2005/09/aireacindelsuelolaaireacidel.html>. (2005), indica, la aireación del suelo se refiere al abastecimiento de oxígeno para el buen desarrollo de los microorganismos y de las raíces de las plantas que posee el suelo. En otras palabras, es el cambio que se produce entre los gases del suelo y los gases de la atmósfera. Entre los factores importantes para un buen desarrollo de las plantas, está la aireación del suelo, ya que los poros de este contienen una mezcla de agua y gases, constituyendo la atmósfera del suelo.

1. Importancia de la aireación del suelo en pastizales

http://www.ehowenespanol.com/airear-tierra-labranza-como_289692/.(2010), indica que, la aireación periódica de la tierra es fundamental para mantener sanas las tierras de cultivo La salud de las cosechas o pastizales para el ganado depende de permitir a las plantas y hierbas formar redes de raíces profundas y fuertes. La tierra compactada es el resultado del paso de tractores y animales grandes que la aplastan, lo que inhibe el crecimiento de las raíces y la formación de microorganismos benéficos al colapsar las bolsas de aire necesarias. La formación de paja tiene los mismos efectos. En consecuencia, el proceso de reinsertar de agujeros de aire al hacer orificios en la tierra tiene un efecto saludable en el crecimiento de la flora agrícola al promover el crecimiento de las raíces y la mejora del riego. Los momentos óptimos para airear la tierra dependen del cultivo y de su temporada de crecimiento habitual.

2. Composición Gaseosa del Aire del Suelo

<Http://www.edafologia.com.ar/Descargas/Articulos%20de%20interes/Brady%20and%20Weil%20-%20Aireación%20y%20Temperatura%20.pdf>.(2012), explica, la composición gaseosa del suelo es la siguiente:

a. Oxígeno.

Por encima de la superficie del suelo, la atmósfera contiene cerca de 21% de O₂, 0,035% de CO₂ y más de 78 % de N₂.

En comparación, el aire del suelo tiene más o menos el mismo nivel de N, pero siempre tiene menos O y más CO₂. En las capas superiores de un suelo con una estructura estable y abundancia de macroporos, el contenido de O₂ puede estar sólo ligeramente por debajo de 20%. En los horizontes inferiores de un suelo pobremente drenado, con pocos poros, puede caer a menos de 5%, o incluso hasta cerca de cero. Cuando la provisión de O₂ está virtualmente agotada, se dice que el ambiente del suelo es anaeróbico.

Los contenidos bajos de O₂ son típicos de los suelos mojados. Aunque en los suelos bien drenados, después de lluvias fuertes, el contenido de O₂ del aire del suelo puede disminuir marcadamente, especialmente si está siendo consumido rápidamente por raíces de plantas en crecimiento muy activo o por microorganismos que descomponen materiales orgánicos convenientemente disponibles. Así, cuando el suelo está caliente el oxígeno se agota más rápidamente.

Afortunadamente, en muchos suelos el agua contiene cantidades pequeñas, pero significativas, de O₂ disuelto. Cuando todos los poros del suelo están llenos de agua, los microorganismos pueden extraer, para su metabolismo, la mayor parte del oxígeno disuelto.

Sin embargo, esta pequeña cantidad de O₂ disuelta se agota rápido, por lo que si no se quita el exceso de agua peligran la actividad aeróbica de los microorganismos y el crecimiento de las plantas.

b. Dióxido de carbono

Debido a que el contenido de N₂ del aire del suelo es relativamente constante, hay una relación general inversa entre los contenidos de los otros dos componentes principales –O y CO–decreciendo el O a medida que el CO₂ aumenta. A pesar de que las diferencias absolutas de las cantidades de CO₂ pueden no ser considerables, al compararlas son significativas. Así, cuando el aire del suelo contiene sólo 0,35% de CO₂, este gas está alrededor de 10 veces más concentrado que en la atmósfera. Cuando la concentración de CO₂ se hace tan alta como 10%, puede resultar tóxica para algunos procesos de las plantas.

c. Otros gases

Usualmente el aire del suelo tiene contenidos mayores de vapor de agua que la atmósfera, en los hechos, está saturada, salvo en la superficie o en su proximidad inmediata. En condiciones de anegamiento, las concentraciones de ciertos gases que se forman por la descomposición de la materia orgánica, como el metano (CH₄) y el sulfuro de hidrógeno (H₂S) son también notablemente más altas en el aire del suelo. Otro gas producido por el metabolismo microbiano anaeróbico es el etileno (CH₂). Este gas es particularmente tóxico para las raíces de las plantas, aunque esté en concentraciones más bajas que 1µL/L (0,0001%). Se ha demostrado que cuando las velocidades de intercambio gaseoso entre el suelo y la atmósfera son demasiado lentas, la acumulación de etileno inhibe el crecimiento de las raíces de numerosas plantas.

C. LA ALFALFA

1. Origen

https://es.wikipedia.org/wiki/Medicago_sativa.(2011), explica que la alfalfa procede de Persia, donde probablemente fue adoptada para el uso por parte del humano durante la Edad del Bronce para alimentar a los caballos procedentes de Asia Central. Según Plinio el Viejo, se introdujo en Grecia alrededor del 490 a. C., durante la Primera Guerra Médica, posiblemente en forma de semillas llegadas con el pienso de la caballería persa. Pasó a ser un cultivo habitual destinado a la alimentación de los caballos.

2. Importancia económica

Según: <http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/alfalfa.htm>.(2009), la importancia del cultivo de la alfalfa va desde su interés como fuente natural de proteínas, fibra, vitaminas y minerales; así como su contribución paisajística y su utilidad como cultivo conservacionista de la fauna. Además de la importante reducción energética que supone la fijación simbiótica del nitrógeno para el propio cultivo y para los siguientes en las rotaciones de las que forma parte. Por ser una especie pratense y perenne, su cultivo aporta elementos de interés como limitador y reductor de la erosión y de ciertas plagas y enfermedades de los cultivos que le siguen en la rotación.

3. Descripción botánica

Amezquita, E.(1998), reporta que la alfalfa pertenece a la familia de las leguminosas, cuyo nombre científico es *Medicago sativa*. Se trata de una planta perenne, vivaz y de porte erecto.

a. Raíz

La raíz principal es pivotante, robusta y muy desarrollada (hasta 5 m. de longitud) con numerosas raíces secundarias. Posee una corona que sale del terreno, de la cual emergen brotes que dan lugar a los tallos.

b. Tallos

Son delgados y erectos para soportar el peso de las hojas y de las inflorescencias, además son muy consistentes, por tanto es una planta muy adecuada para la siega.

c. Hojas

Son trifoliadas, aunque las primeras hojas verdaderas son unifoliadas. Los márgenes son lisos y con los bordes superiores ligeramente dentados.

d. Flores

La flor característica de esta familia es la de la subfamilia Papilionoidea. Son de color azul o púrpura, con inflorescencias en racimos que nacen en las axilas de las hojas.

e. Fruto

Es una legumbre indehisciente sin espinas que contiene entre 2 y 6 semillas amarillentas, arriñonadas y de 1,5 a 2,5 mm. de longitud.

4. Requerimientos edafoclimáticos.

Plasentis, I. (1994), explica que los principales requerimientos edafoclimáticos que la alfalfa necesita son:

a. Radiación solar.

Es un factor muy importante que influye positivamente en el cultivo de la alfalfa, pues el número de horas de radiación solar aumenta a medida que disminuye la latitud de la región.

La radiación solar favorece la técnica del presecado en campo en las regiones más cercanas al ecuador, y dificulta el secado en las regiones más hacia el norte.

b. Temperatura.

La semilla germina a temperaturas de 2-3° C, siempre que las demás condiciones ambientales lo permitan. A medida que se incrementa la temperatura la germinación es más rápida hasta alcanzar un óptimo a los 28-30° C.

Temperaturas superiores a 38°C resultan letales para las plántulas.

Al comenzar el invierno detienen su crecimiento hasta la llegada de la primavera cuando comienzan a rebrotar.

Existen variedades de alfalfa que toleran temperaturas muy bajas (-10°C). La temperatura media anual para la producción forrajera está en torno a los 15° C. Siendo el rango óptimo de temperaturas, según las variedades de 18-28° C.

c. pH.

El factor limitante en el cultivo de la alfalfa es la acidez, excepto en la germinación, pudiéndose ser de hasta 4.

El pH óptimo del cultivo es de 7,2, recurriendo a encalados siempre que el pH baje de 6,8, además los encalados contribuyen a incrementar la cantidad de iones de calcio en el suelo disponibles para la planta y reducir la absorción de aluminio y manganeso que son tóxicos para la alfalfa.

Existe una relación directa entre la formación de nódulos y el efecto del pH sobre la alfalfa. La bacteria nodulante de la alfalfa es *Rhizobium meliloti*, esta especie es neutrófila y deja de reproducirse por debajo de pH 5, por tanto si falla la asimilación de nitrógeno la alfalfa lo acusa.

d. Salinidad.

La alfalfa es muy sensible a la salinidad, cuyos síntomas comienzan con la palidez de algunos tejidos, la disminución del tamaño de las hojas y finalmente la parada vegetativa con el consiguiente achaparrado.

El incremento de la salinidad induce desequilibrios entre la raíz y la parte aérea.

e. Tipo de suelos.

La alfalfa requiere suelos profundos y bien drenados, aunque se cultiva en una amplia variabilidad de suelos.

Los suelos con menos de 60 cm. de profundidad no son aconsejables para la alfalfa.

D. LA COMPACTACIÓN DEL SUELO EN LA ALFALFA

[\(http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572011000-200011\)](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572011000-200011).(2011), explica que, la disminución de espacios porosos (macro poros) ocasionada por el incremento en la densidad aparente del suelo tuvo efectos negativos en el desarrollo fenológico del cultivo de la alfalfa al propiciar la abscisión foliar, la reducción de altura en plantas y el incremento en el diámetro de los tallos, reduciendo la producción de forraje verde y de materia seca en más de un 30%.

[\(http://www.buscagro.com/detalles/Produccion-de-alfalfa-en-suelo-compactado-a-varias-intensida_69292.html\)](http://www.buscagro.com/detalles/Produccion-de-alfalfa-en-suelo-compactado-a-varias-intensida_69292.html).(2012), la compactación del suelo por tránsito vehicular ocasiona la formación de capas que limitan o demoran el proceso de aireación; la penetración radical e infiltración; las capacidades de absorción y retención de agua; el movimiento de nutrientes; la transferencia de calor, y la emergencia de plántulas. Las consecuencias son el desarrollo de plantas de menor altura y de hojas con coloraciones no características y el aumento de la demanda energética para trabajar ese suelo.

E. ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA MECÁNICA DE RENOVACIÓN DE PRADERAS

Cascajosa, M. (2005), dice que: La intervención mecánica para renovar praderas degradadas puede desarrollarse mediante varias operaciones, las cuales dependen de la condición de la pastura, del suelo y de las condiciones agroclimáticas del lugar. Aunque se han usado rastras de discos y otros implementos tradicionales para la renovación, algunos implementos que no

invierten el perfil del suelo, y que están basadas en herramientas verticales consiguen mejores resultados.

1. Equipos

[http://www.maquinariamontana.com/index.php/articulos-de-interes/10-es/articulos/27-excelentes-resultados-en-renovacion-de-potreros.\(2009\)](http://www.maquinariamontana.com/index.php/articulos-de-interes/10-es/articulos/27-excelentes-resultados-en-renovacion-de-potreros.(2009)), explica que en el mercado internacional se han desarrollado máquinas e implementos para la renovación de praderas, las cuales pueden realizar solo el corte del suelo y del céspedón o incluir aplicación de abonos y semillas.

a. Renovador de praderas con “Paratill”

[https://www.researchgate.net/publication/267693640_nuevos_conceptos_y_estrategias_para_la_renovacion_de_praderas_degradadas_en_el_tropico_alto_colombiano.\(2011\)](https://www.researchgate.net/publication/267693640_nuevos_conceptos_y_estrategias_para_la_renovacion_de_praderas_degradadas_en_el_tropico_alto_colombiano.(2011)), explica que la herramienta consiste en pares de brazos estacionarios que se ajustan en la barra de tiro. En frente de estos tiene un cortador que pasa a través del césped y de los residuos vegetales. Las observaciones han mostrado que este deja una superficie de suelo aún más suave que un arado de cinchas o un subsolador parabólico.

El paratill visto en el gráfico 3, levanta el suelo en vez de presionarlo y da mejor resultado cuando hay un contenido de humedad cercano al 50% o menos de la capacidad de campo, con un suelo bien drenado pero no muy seco. En estas condiciones el césped queda casi intacto y el suelo estalla a lo largo de los planos de deslizamiento naturales produciéndose pocos terrones sueltos. Con un suelo más seco habrá terrones más grandes, Pero si está muy húmedo, habrá acumulación de rastrojo frente al paratill y no habrá estallido del suelo.



Gráfico 3. Paratill comercial.

<http://www.jircas.affrc.go.jp>.(2005), reporta el paratill incrementa en 13% el rendimiento de materia seca en el primer corte, pero no afecta significativamente los rendimientos después de esto

b. Renovador de praderas con cinceles

Según https://es.wikipedia.org/wiki/Arado_cinzel.(2010), El arado cinzel es una herramienta de labranza vertical que permite labrar el suelo, sin invertirlo entremezclando superficialmente los restos vegetales. El arado de cinceles es una herramienta óptima que permitirá efectuar labores conservacionistas, además de favorecer ciertos procesos como la mejor infiltración del agua de lluvia, reducción del planchado, mejor conservación de la humedad, reducción de la erosión, etc.

Consta de una determinada cantidad de arcos de acero (cada cinzel insume entre 7 y 10 HP para ser traccionado), separados generalmente a 35 cm uno de otro, y en sus extremos inferiores se les coloca una púa de acero endurecido.

Este implemento se pasa por el campo a una profundidad de entre 18 y 25 cm, se estima conveniente su uso a una velocidad de entre 7 y 10 km/h. Son herramientas de fácil regulación, de mantenimiento mínimo.

<http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR24497.pdf>.(2013), menciona el equipo especializado en Colombia para la renovación de praderas es un arado de cinceles, montado de tal forma que no permite que el cespedón se levante. Su objetivo principal es romper las capas compactas de suelo a diferentes profundidades y airearlo atravesando la capa de pasto, sin invertir el perfil.

La profundidad de operación de los cinceles puede ser hasta de 60 cm. Esta depende de la profundidad a la que se encuentren, si hay, capas compactas. Además los cinceles ayudan a oxigenar el suelo, haciendo estallar los terrones en frente de la herramienta.

El corte hecho al cespedón ayuda a su renovación, este se desarrolla limpiamente gracias a los discos cortadores que van delante de los cinceles.

Estos rebanan la pradera y permiten que los cinceles penetren sin levantar la capa de pasto.

Los renovadores de praderas comerciales están provistos con un mecanismo dosificador de agroquímicos como se observa en el Gráfico 4. Este se acciona por una rueda guía en contacto con el suelo que transmite el movimiento por una cadena al dosificador de la tolva de almacenamiento. El agroquímico es depositado en el surco abierto por los cinceles según la calibración.



Gráfico 4. Renovador de Praderas (Arado de Cinceles).

Bravo, D. (2000), destaca el uso de cinceles, los cuales aumentan la porosidad del suelo y rompen estratos impermeables compactos, debido al estallado del suelo en capas profundas.

c. Renovador de praderas Japonés

Ortiz, J. (2012), indica que en 1993 desarrollaron un equipo que incluye varias operaciones: Prepara una banda angosta sobre la cual aplica fertilizantes, resiembra y cubre el suelo, compactándolo. La preparación se hace hasta 10 cm mediante un mecanismo de cuchillas rotativas fijas a un eje rotativo.

Los elementos activos son 4 cuchillas en forma de L y 2 cuchillas rectas, con las cuales se logra un perfil en el suelo en forma de T de 6 cm de ancho por 10 cm de profundidad.

- Mientras la cuchilla recta ablanda el suelo cortando la raíz, la cuchilla en forma de L hace un hueco suficientemente ancho para la cama de la semilla. La potencia para las unidades de siembra y fertilización provienen de una rueda que va al suelo.

- La rueda compactadora actúa solo sobre el agujero debido a la acción de un resorte independiente, como podemos observar en el (Gráfico 5).

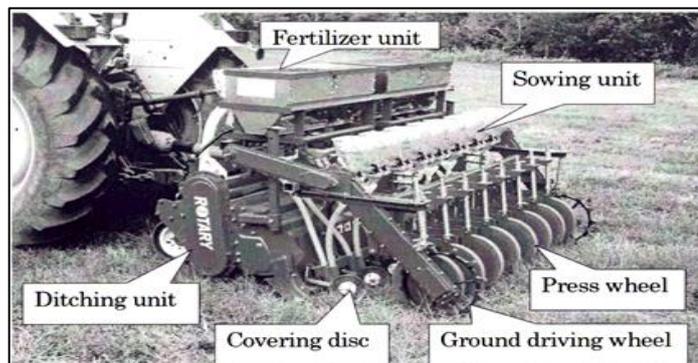


Gráfico 5. Renovador de pasturas Japonés.

http://www.unperiodico.unal.edu.co/uploads/tx_flstaticfilecache/www.agenciadenoticias.unal.edu.co/var/www/web/agencia/nc/ndetalle/pag/3/article/con-labranza-minima-se-recuperan-pasturas-degradadas.htmlcache.html.(2010), explica que la máquina, de montaje integral, opera a un ancho de 2,16 m y es halada por un tractor de 60 HP. La unidad rotativa labra un ancho de cerca de 5 cm cada 27cm. Posee 2 mecanismos de siembra para cada fila para sembrar diferentes tamaños de semilla.wq

Tiene 8 ruedas de presión con resortes independientes para presionar los surcos de la semilla.

La calibración de la semilla se hace igual que en una sembradora de grano fino. Además se pueden sembrar diferentes tamaños de semillas, desde leguminosas hasta forrajes.

Esta consiste en el uso de implementos con cuchillas rotativas para hacer la cantidad necesaria de escarificación y sembrar leguminosas sobre una pradera existente. Las cuchillas cortan surcos a través de la hierba en el suelo. Los puntos de corte de las cuchillas tienen una superficie de carburo de tungsteno para trabajo en suelos pesados o pedregosos.

d. Renovador de praderas de acción vertical “AerWay”

Ortiz, J.(2012), expone que una máquina interesante es el llamado “AerWay” usada ampliamente en Norteamérica y varios países europeos.

Consiste básicamente en una estrella de cuchillas que giran libremente alrededor de un eje. Su movimiento se origina al avanzar sobre el suelo. Las cuchillas están dobladas un pequeño ángulo en el sentido perpendicular al avance. Con esta herramienta se hace aireación y escarificación al mismo tiempo.

Algunos modelos comerciales permiten una barra de herramienta para alojar desde 1 hasta 4 filas de discos, además puede tener anchos desde 3,60 m hasta 7,9 m. Como se ilustra en el gráfico 6. Las cuchillas penetran más de 20 cm en el suelo, creando una red de fracturas que incrementan la aireación y el flujo de agua y nutrientes. Como los dientes alternan sobre el eje, no hay un corte continuo que sirva como canal al agua.



Gráfico 6. AerWay. Modelo comercial.

III. MATERIALES Y METODOS

A. LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DE LA INVESTIGACION

La presente investigación se desarrolló en el taller mecánico SILVA, ubicado en la Parroquia Juan de Velazco, Parque Industrial, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo y en las praderas establecidas de la Estación Experimental "TUNSHI", Ubicada a 2720 msnm, latitud 9807000 UTM, longitud 764600 UTM perteneciente a la Parroquia Licto, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.

1. Condiciones Meteorológicas

Se obtuvieron los siguientes resultados expresados en el (Cuadro 1).

Cuadro 1. CONDICIONES METEOROLÓGICAS DE RIOBAMBA

PARAMETROS	VALORES PROMEDIO
Temperatura °C	13,5
Altitud m.s.n.m.	2700
Humedad relativa, %	67,6
Precipitación anual, mm/año	42,8

Fuente: Estación Agro meteorológica, FRN-ESPOCH (2014).

B. UNIDADES EXPERIMENTALES

La investigación propuesta se realizó en el propio aireador en donde se evaluó profundidad de laboreo, velocidad de trabajo, resistencia del apero, eso en la parte de diseño y constructiva de la máquina.

En cuanto a la prueba en la Alfalfa la unidad experimental estuvo constituida por una población de plantas de alfalfa, existentes en dos parcelas de 100m², cuya altura inicial fue de 10 cm en promedio.

C. MATERIALES, EQUIPOS, E INSTALACIONES

Para la presente investigación fueron necesarias las instalaciones del taller mecánico Silva y de la Estación Experimental Tunshi, además de los siguientes equipos y materiales.

1. **Materiales**

- Acero al carbono estructural (planchas, tubos, platinas).
- Ejes cuadrados de acero de ingeniería.
- Chumaceras de doble rodamiento.
- Sujetadores cuadrados de tuerca.
- Disco de corte abrasivo para tronzadora de metales.
- Disco de corte abrasivo para amoladora.
- Electrodo E6010, E6011, E7018.
- Carrete de alambre para soldadora MIG MAG AWS 5670.
- Gas acetileno.
- O2 en bombona.
- Sopletes para pintura.
- Juego de llaves milimétricas de copa.
- Pintura.
- Disolventes orgánicos.

2. **Equipos**

- Computador.
- Soldadora GMAW.
- Soldadora SMAW.
- Antorcha de oxicorte.
- Soldadora OAW.
- Amoladora.
- Trozadora de metales.
- Perforadora de banco.
- Taladro.
- Cortador de plasma.

3. **Maquinaria**

- Tractor.

D. TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

No se empleó tratamientos ni diseño experimental, ya que fueron sustituidos por la metodología de Pahl y Beitz.

E. MEDICIONES EXPERIMENTALES

Se realizó pruebas funcionales, evaluando el desempeño del apero en el campo, en los siguientes aspectos:

- Profundidad de laboreo
- Velocidad de trabajo del tractor
- Resistencia del apero
- Altura del pasto a los 20 días de aplicado el apero en el pastizal.

F. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS Y PRUEBAS DE SIGNIFICANCIA

- Media
- Varianza
- Desviación standard

G. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La presente investigación tuvo lugar en el taller mecánico “Silva”, en donde con la ayuda de la metodología experimental de Pahl y Beitz, se procedió al diseño y construcción del aireador de pastos, a continuación se explica las fases de este proceso.

FASE 1. Especificaciones. En esta fase se recopiló la información acerca de los requerimientos y restricciones que deben incorporarse en el producto. Adicionalmente se identificaron los problemas esenciales. Se estableció estructuras funcionales, se buscó principios de solución y combinó en variantes de conceptos y finalmente se evaluó por criterios técnicos y económicos

FASE 2. Diseño conceptual. Se tomó el planteamiento del problema (especificación de diseño) y generó soluciones amplias en forma de esquemas (conceptos).

FASE 3. Diseño de ingeniería., se desarrolló con mayor detalle el concepto y se hicieron los cálculos básicos necesarios para asegurar la funcionalidad del sistema, para así desarrollar un producto de acuerdo con las consideraciones técnicas y económicas. Se generó un plano de conjunto del apero a construir.

FASE 4. Diseño de detalle. A partir de los planos de conjunto se obtiene el diseño de detalle que se expresó a través de planos, que tuvieron como objetivo precisar y plasmar toda la información necesaria sobre los detalles de fabricación. El desarrollo de estas fases se ve a detalle en el Anexo 1, 2, 3 y 5.

Después de este proceso, la investigación continuó en la Estación Experimental Tunshi, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, donde se probó el aireador de pastos construido, evaluando: profundidad de laboreo, velocidad de trabajo del tractor y resistencia del apero, en una parcela constituida por alfalfa.

Se midió la altura de las plantas antes de aplicar los tratamientos. Se aplicó el apero y se delimitó un área de 100m² y otra similar por donde no se aplicó,

A los 20 días se procedió a medir la altura alcanzada por la alfalfa, para lo cual se tomó diez medidas aleatorias en cada parcela y se aplicó la media, la varianza y la desviación standard para determinar si existen diferencias entre los tratamientos.

H. METODOLOGÍA DE LA EVALUACION

a) Profundidad de laboreo

La profundidad de laboreo se determinó midiendo el agujero ocasionado por las cuchillas, con la ayuda de una regla metálica graduada en cm, se tomó 8 medidas, por cada prueba que se realizó, en total para esta variable fueron cuatro, en distintas posiciones del eje portacuchillas (0, 10°, 20°, 30°, con respecto a la perpendicular, a la línea de avance del tractor). Es decir se tomaron 32 medidas en total.

b) Velocidad del tractor

En esta prueba se evaluó la velocidad de avance del tractor a la cual arrastraba el aireador de pastos en función del Angulo del eje porta cuchillas con respecto a la línea de avance del tractor.

Se utilizó como referencia la marcha de transmisión en la cual funcionaba el tractor al momento de la prueba, para determinar la velocidad.

c) Resistencia del apero

En esta prueba se evaluó la resistencia estructural de las principales partes que constituyen al apero, que son bastidor, brazos porta ejes, chumaceras, ejes, separadores y cuchillas.

Esta prueba se basó en la detección de cualquier tipo de deformación que presentara algún elemento estructural del aireador de pastos.

Para este fin se utilizó la observación directa y como punto de referencia se empleó fotografías de los elementos constitutivos tomadas antes de las pruebas, las cuales pueden ser observadas en el (Anexo 4).

d) Altura del pasto

Esta prueba consistió en evaluar la altura de las plantas de alfalfa en una parcela de 100 m², por tratamiento, a los 20 días de la aplicación del apero se utilizó un flexometro graduado en centímetros, y se midió desde el suelo hasta la parte más alta de la planta de alfalfa.

Se tomó 10 observaciones aleatoriamente en las áreas de establecimiento de las plantas de alfalfa.

IV. RESULTADO Y DISCUSIÓN

A. RESULTADO OBTENIDO EN LAS PRUEBAS DEL AIREADOR DE PASTOS EN EL CAMPO

Se evaluó la profundidad de laboreo, velocidad de trabajo del tractor, resistencia del apero y altura alcanzada por la planta a los 20 días a partir de la aplicación del aireador en la parcela.

1. Profundidad de laboreo.

Al evaluar la profundidad de laboreo, se pudo determinar que la profundidad alcanzada por las cuchillas varía en función de ángulo al cual trabajaba el eje portacuchillas. Los resultados obtenidos se observan en el (Cuadro 2).

Cuadro 2.MEDIDAS DE LA PROFUNDIDAD DE TRABAJO (CM)

MEDIDAS	PROFUNDIDAD A 0°	PROFUNDIDAD A 10°	PROFUNDIDAD A 20°	PROFUNDIDAD A 30°
1	14	13	12	10
2	15	12	12	11
3	10	10	10	10
4	12	11	11	11
5	13	12	10	9
6	12	12	10	8
7	11	11	11	10
8	14	13	11	10
Promedio	12,62	11,75	10,87	9,87

Hay que tener en cuenta, que a mayor ángulo de trabajo del eje portacuchillas, se profundizaba menos, pero se fracturaba más el suelo, aumentando la aireación del mismo.

Pero a su vez las cuchillas eran expuestas a un esfuerzo lateral muy grande lo que comprometía la estabilidad estructural de este elemento.

Al comparar los 12,62cm de profundidad, obtenidos en las pruebas de nuestro apero con los de Pérez, R. (2012), quien obtuvo una penetración de 15cm, con un apero aerway en una pastura de ryegrass perenne en un suelo franco arcillo (similar textura del suelo de prueba de nuestro apero), que fue pastoreado por vacas por 26 años, en Texas, determinamos que nuestros resultados son inferiores, posiblemente debido a que en el aireador aerway se adicionó un peso de 454 kg sobre el bastidor para mejorar la penetración de las cuchillas.

<http://remodela.casabonita.org/los-investigadores-para-determinar-si-la-aireación-reduce-la-compactacion-la-escorrentia-de-la-cero-labranza-campos-1/>.(2010), en un experimento en Tennessee indica que la profundidad promedio de los agujeros fue de 5 cm en el suelo arenoso y 7 cm en el areno limoso, utilizando el aireador aerway y que las púas causaron reducción de la compactación dando a entender que el resultado fue inferior al logrado por el aireador de pastos obtenido,

Según:<http://www.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR24497.pdf>.(2012), indica que el arado cincel, logra una profundidad de 25cm en suelos franco arcillosos, pero con el inconveniente de la formación de canales que impiden la distribución homogénea del agua de riego en sistemas de inundación. Si comparamos este resultado con los datos de profundidad obtenidos por nuestro apero (12,62 cm) concluimos que son superiores, esto se debe a que el arado cincel posee un principio de funcionamiento distinto al de los aireadores rotativos, profundizando mas pero fracturando menos el suelo por unidad de área, esto se debe a que la separación entre sus cuchillas es mayor.

2. Velocidad del tractor

La velocidad del tractor que se acoplo al aireador prototipo, fue realizada en segunda marcha alta, dando una velocidad promedio de 4 km/h, fue medida a lo largo de 40m, en 4 diferentes posiciones del eje de cuchillas, las cuales correspondieron a 0°, 10°, 20° y 30°; a partir de la perpendicular a la línea de avance del tractor. Obteniéndose las siguientes datos expresados en el (Cuadro 3).

CUADRO 3. VELOCIDAD REGISTRADA

Nº LECTURA	VELOCIDAD A 0°	VELOCIDAD A 10°	VELOCIDAD A 20°	VELOCIDAD A 30°
1	4.5	4	4	4

Si comparamos la velocidad de <http://www.aerway.com/>.(2010), determinamos que los resultados de la presente investigación son inferiores, ya que el resultado citado como referencia, indico que se habían alcanzado velocidades de hasta 6km/h en llanuras de pastizales en Mississippi (EEUU), con longitudes de trabajo del apero de hasta 6m, cabe resaltar que en estas pruebas eran empleados tractores de un rango de 150 a 250 hp de potencia.

<https://www.fleming-agri.co.uk/products/aerators/aerators>.(2011), menciona que en este apero (Fleming aerator), se han logrado velocidades de operación de 4 a 5 Km/h, llegando a la conclusión que existe una semejanza con la velocidad del apero evaluado, hay que añadir a este resultado que Fleming aerator utilizaba un lastre durante las pruebas de 300 Kg totales sobre el bastidor, y que la potencia del tractor que lo arrastraba era de 150 hp de potencia.

Cabe indicar que en las pruebas de velocidad del apero construido se tuvo especial cuidado, para mantener una velocidad baja de operación ya que al poseer una condición de prototipo no se sabía con certeza el desempeño del equipo, teniendo en cuenta que el apero pesaba un total de 250kg, que es un peso relativamente bajo para este tipo de equipos de aireación y que no poseía lastre, se cree que hubiese alcanzado una velocidad mayor de operación.

3. Resistencia del apero

La resistencia estructural del apero se probó a lo largo de 160m a distintas velocidades y a distintos ángulos de trabajo, la finalidad de esta prueba era detectar deformaciones en los elementos constitutivos del apero, obteniéndose los siguientes resultados expresados en el (Cuadro 4).

CUADRO 4.RESISTENCIA DEL APERO

ELEMENTO	DEFORMACIÓN	OBSERVACIONES
Bastidor	No	A los 30°, ocurrió la deformación debido al esfuerzo lateral que se produjo en las cuchillas.
Brazo Portaejes	No	
Cumacera	No	
Ejes	No	
Separadores	No	
Cuchillas	Si	

Después de esta prueba se determinó que todos los elementos constitutivos con excepción de las cuchillas resistieron las pruebas sin presentar deformaciones.

En la cuarta prueba con un Angulo de 30° del eje de cuchillas con respecto a la línea de avance del tractor se produjo deformación de 7 de las 30 cuchillas debido al esfuerzo lateral que sufrieron.

Comparando <http://www.aerway.com/index.php?pagetype=page=overview>.(2009), nos dice que el aerway de dientes de púas de 3,65 m de ancho tenía dientes de 20 cm de largo arreglados en 2 tambores rotativos movibles, separados de 1.80 m de ancho, con los que se obtuvieron ángulos con la horizontal de 0°, 2.5°, 5°, 7.5° y 10°. de forma que un ángulo mayor producía mayor disturbación en el suelo en condición seca, llegamos a la conclusión que los ángulos utilizados en los aireadores rotativos son inferiores a los 10° así explicamos por qué se produjo la deformación de las cuchillas.

<http://www.toplink.co.nz/wp-content/uploads/2014/10/Fleming-Aerators-Brochure.pdf>. (2012), menciona que la longitud promedio de las cuchillas utilizadas en el fleming aertaor es de 18cm, siendo 1cm menor al de las cuchillas del apero probado.

www.aerway.com/index.php?page=haypasture. (2010), menciona que el material utilizado en las cuchillas de aerway aerator era un acero con un contenido de carbono de alrededor de 0,40, indicándonos que estas cuchillas tenían una resistencia mecánica superior ya que el acero utilizado en la confección de las

cuchillas del aireador probado, era un acero estructural con un contenido de carbono de alrededor del 0,12 %.

4. Altura del pasto

Al evaluar las parcelas de alfalfa con y sin la aplicación del aireador, a los 20 días encontramos que, la parcela en la cual se empleó, presentaba plantas con una altura promedio de 52 cm, mientras que en la parcela donde no se aplicó, se encontró plantas con una altura promedio de 46,5 cm, existiendo una diferencia en la altura del 11%, estos datos podemos observarlos en el cuadro 5 y las medidas de las observaciones en el (Anexo 6).

CUADRO 5.RESULTADOS OBTENIDOS EN ALTURA DE LAS PLANTAS

DATOS	CON AIREADOR	SIN AIREADOR
Observaciones (#)	10	10
Media (cm)	52	46,5
Varianza S ²	3.33	5,16
Desviación standard	1.8	2,27

Además se observó que en los agujeros dejados por las cuchillas en el suelo había un número de plantas germinadas (producto de una resiembra realizada unos días antes), muy superior a los lugares en donde no penetraron las cuchillas, se cree que esto se debe a la mayor cantidad de agua presente en los orificios.

Si comparamos nuestro resultado de la altura de las plantas que tuvo una diferencia de 5,5 cm entre las plantas que fueron aireadas y las que no, con https://www.youtube.com/watch?v=z3qF_uoo0dQ. (2015), que indica que debido a la acción del aireador, puede llegar el agua, nutrientes y oxígeno, a las capas más profundas del suelo y existe mayor desarrollo de las raíces en forma vertical, aprovechando mejor los elementos citados, lo que da una mayor altura del pastizal, concluimos que los resultados son similares. Debido a que a mayor compactación, menor es el desarrollo vertical de las raíces, disminuyendo la cantidad de suelo al que esta tiene acceso.

Pérez, R. (2012), indica que se dobló la producción de forraje en Tejas utilizando un aireador de cinceles que alcanzo una profundidad de trabajo de 20 cm en pasto bermuda en un suelo con textura franco arenoso con una capa compactada en la superficie, al comparar este resultado con los obtenidos en la presente investigación se determinó que existe una relación entre la aireación y el incremento de altura de las plantas y por ende de producción forrajera. Esto se da debido a la mayor disponibilidad tanto de agua como de aire en el suelo.

Smith, J.(2005) indicó haber encontrado diferencias estadísticas en la emergencia de plantas por efecto de la compactación. Para la altura de planta se tuvo efectos altamente significativos, registrando los tratamientos de $1,5 \text{ g/cm}^3$ ó de $1,65 \text{ g/cm}^3$ (mayor densidad del suelo, menor presencia de aire en el mismo), una reducción del 24% al 40% en la altura promedio de las plantas. Siendo este su mejor valor, que al compararlo con los resultados obtenidos en la investigación en curso, que nos dice que la altura de las plantas sometidas al aireador aumento en un 11%, son superiores pero corroboran la relación a mayor aire en el suelo, mayor altura de la planta. Esto se debe a que a mayor compactación del suelo menor cantidad de agua, aire y nutrientes están disponibles para las raíces provocando la disminución del desarrollo de la planta y por ende de su altura.

V. CONCLUSIONES

- La profundidad de laboreo es la adecuada. El apero construido puede operarse a una alta velocidad debido a su ligereza, resistencia y simplicidad constructiva, La metodología de Pahl y Beitz empleada en el diseño nos ayudó a acertar en estas variables estudiadas, indicándonos que es una gran herramienta.
- La aplicación del apero aumento la altura de la alfalfa en un 11%.
- Económicamente es factible la construcción de este tipo de apero y accesible para el mercado local, ya que el costo total de producción es de **1821,49 USD**.

VI. RECOMENDACIONES

- Modificar la longitud de las cuchillas de 19 centímetros a 12 centímetros, utilizar un acero de contenido de carbono mayor al 0,15%
- Eliminar las aberturas de los brazos de 20 y 30 grados con respecto a la perpendicularidad a la línea de avance del tractor.
- Colocar canastas porta lastre en el bastidor del apero.
- Aumentar el número de cuchillas de 3 a cuatro por conjunto de discos porta cuchillas.

VII. LITERATURA CITADA

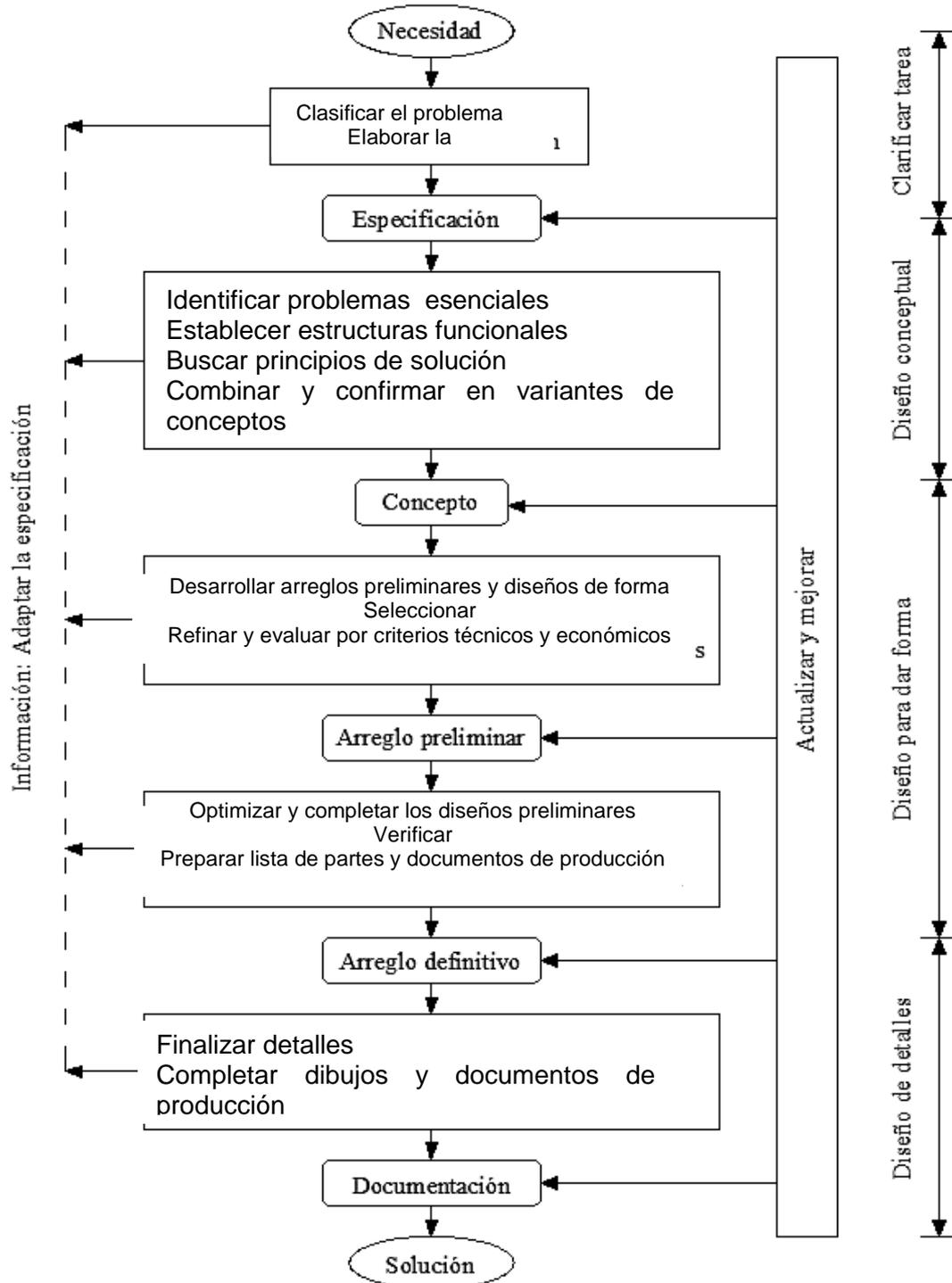
1. http://www.abcagro.com/riego/compactacion_suelos.asp._____2012. La compactación de los suelos agrícolas
2. http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/r49-7932/es/contenidos/informacion/suelo/es_1044/compactacion.html. 2009. Causas compactación del suelo.
3. http://webpc.ciat.cgiar.org/suelos/e_internacionales/compactacion_suelo.pdf. 2011. Efectos de la compactación del suelo.
4. http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/r49-7932/es/contenidos/informacion/suelo/es_1044/compactacion.html 2009. Efectos de la compactación del suelo.
5. DOMINGUEZ, J. 2012. Estudio de La Compactación En El Suelo Agrícola. Edit. Tapa blanda. pp. 23-25.
6. QUEROL, A. 2013. Nivelación de terrenos por regresión tridimensional. Edit. Franquet Bernis. pp. 18,27.
7. RICO, A. 1991. La Ingeniería de Suelos 1. Edit. Limusal.S.B.N. pp. 87,92-95.
8. <http://araucarias.blogspot.com/2005/09/aireacin-del-suelo-la-aireacin-del.html>. (2005), La aireación de los suelos agrícolas.
9. http://www.pioneer.com/CMRoot/International/Argentina_Intl/AGRONOMIA/bol-etines/Compactacion_de_suelo.pdf. (2002),Correctivos para la compactación del suelo.
10. http://www.ehowenespanol.com/airear-tierra-labranza-como_289692/.2010, Importancia de la aireación del suelo en pastizales.
11. <http://www.edafologia.com.ar/Descargas/Articulos%20de%20interes/Brady%20and%20Weil%20-%20Aireación%20y%20Temperatura%20.pdf>. 2012. Composición Gaseosa del Aire del Suelo
12. https://es.wikipedia.org/wiki/Medicago_sativa explica. 2011. Origen de la alfalfa.
13. <http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/alfalfa.htm>. 2009. Importancia económica.

14. AMEZQUITA, E. 1998. Propiedades físicas de los suelos de los llanos orientales y sus requerimientos de labranza. 2ª ed. Edit. Villavicencio-Colombia. Edit Edimundo. pp. 145-174.
15. PLASENTIS, R; PHILLIPS, H. 1994. La materia orgánica, la degradación y erosión de suelos en el trópico. En Memorias de VII congreso colombiano de la ciencia del suelo. 4ª ed., edit. Mundo, Bucaramanga, Colombia. Pp. 20-23
16. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572011000200011. 2011. La compactación del suelo en la alfalfa.
17. http://www.buscagro.com/detalles/Produccion-de-alfalfa-en-suelo-compactado-a-varias-intensida..._69292.html. 2009. La compactación del suelo en la alfalfa.
18. CASCAJOSA, M. 2005. Ingeniería de labranza. México D.F. Edit. Tébar. pp. 96-101.
19. <http://www.maquinariamontana.com/index.php/articulos-de-interes/10-es/articulos/27-excelentes-resultados-en-renovacion-de-potreros>. 2011. Renovación de praderas.
20. https://www.researchgate.net/publication/267693640_nuevos_conceptos_y_es_trategias_para_la_renovacion_de_praderas_degradadas_en_el_tropico_alto_colombiano. 2011. Renovador de praderas con "Paratill".
21. <http://www.jircas.affrc.go.jp>. 2005. Renovador de praderas con "Paratill".
22. https://es.wikipedia.org/wiki/Arado_cinzel (2010), Renovador de praderas con cinceles.
23. <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR24497.pdf>. 2013. Renovador de praderas con cinceles.
24. Bravo, D. (2000), Cultivar sin arar, Editorial Márquez. Colombia. pp. 54, 67-71.
25. ORTIZ, J. 2012. Tractores técnica y seguridad. 2 ed. Ediciones mundiprensa. Madrid España. pp. 121-132.
26. http://www.unperiodico.unal.edu.co/uploads/tx_flstaticfilecache/www.agenciade-noticias.unal.edu.co/var/www/web/agencia/nc/ndetalle/pag/3/article/con-labranza-minima-se-recuperan-pasturas-degradadas.htmlcache.html. 2010. Renovador de pasturas Japonés.

27. ORTIZ, J. 2012. Las máquinas agrícolas y su aplicación, 7ed, Ediciones Mundi-prensa, Madrid España. pp. 87, 97-98.
28. PEREZ, R. 2012. Programación de funcionamiento, mantenimiento y adquisiciones de equipos e instalaciones. Editorial Paraninfo. España. pp. 24-32
29. <http://remodela.casabonita.org/los-investigadores-para-determinar-si-la-irreacion-reduce-la-compactacion-la-escorrentia-de-la-cero-labranza-campos-1/>. 2010. Profundidad de laboreo.
30. <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR24497.pdf>. 2012. Profundidad de laboreo.
31. SMITH, J. 2005. Seed Shattering in tropical grasses. Unpublished data. Mississippi- U.S.A. pp. 12.

ANEXOS

ANEXO 1: Fases de diseño de la metodología de Pahl y Beitz



ANEXO 2: Formato del manual del desarrollo de la metodología de diseño de Pahl y Beitz aplicado en el aireador de pastizales



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA ZOTÉCNICA

“TEMA”

**MANUAL DEL DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO DE PAHL Y
BEITZ APLICADO EN EL AIREADOR DE PASTIZALES**

AUTOR

JUAN ANDRÉS SILVA MALDONADO

Riobamba – Ecuador

2015

1. Proceso de Diseño

1.1. Definición del problema

La ganadería en nuestro país es una actividad que genera muchos recursos económicos a la cual se dedican varias personas, por lo tanto se debe buscar la eficiencia en su práctica, la compactación del suelo es un grave limitante para la producción de forrajes reduciendo el número de uvas por hectárea que se puede mantener.

En la actualidad la forma más empleada para contrarrestar la compactación del suelo cuando esta ya ha generado estragos, en la producción es la renovación de pastizales, siendo esta una práctica perjudicial para el recurso suelo y a su vez reduciendo la productividad hectárea año de forraje ya que el tiempo promedio en la región interandina para recuperar la producción después de un proceso de renovación es de 8 meses.

En nuestro medio no existen los implementos apropiados para contrarrestar la compactación del suelo de una manera eficiente y que asegure la conservación del suelo, es así que surge la necesidad de la construcción del siguiente apero.

1.2. Declaración de la Misión

1.2.1. Descripción de los equipos.

Uno es el accesorio agrícola que se desea diseñar y construir, será descrito a continuación:

Aireador rotativo de pastizales: herramienta utilizada para fracturar la capa superficial del suelo y permitir la oxigenación del mismo.

1.2.2. Mercado primario.

El principal objetivo, es satisfacer la necesidad que posee la estación experimental Tunshi, los pequeños y medianos productores de la provincia de Chimborazo.

1.2.3. Postulado

Eficacia, eficiencia, fácil mantenimiento y de fácil manipulación.

1.2.4. Personas interesadas

ESPOCH, MAGAP y pequeños agricultores de la provincia de Chimborazo.

1. Especificaciones del equipo

2.1. Objetivo de la investigación

Proporcionar el implemento necesario para airear los pastizales establecidos aumentando así la productividad forrajera, conservación del recurso suelo e ingreso económico de los productores.

2.2. Necesidades del operario

Cuadro 1. ENCUESTA A CLIENTES: AIREADOR

PREGUNTA/SU GERENCIA	ENUNCIADO DEL CLIENTE	NECESIDAD INTERPRETADA
1. ¿Usos típicos?	Necesito que el apero corte y airee el suelo.	El apero necesita cuchillas delgadas largas.
	En ocasiones trabajo en suelos no muy compactos.	Disponga de un acople sencillo para intercambio de cuchillas.
2. ¿Le gusta la herramienta actual?	Me gusta como el arado trabaja el suelo.	Fractura considerablemente el suelo.
	La regulación de la profundidad.	Presenta un mecanismo de regulación de penetración en el suelo.
3. ¿No le gusta la herramienta actual?	No me gusta el exceso del operario para conseguir la penetración adecuada.	Cuenta con un ángulo de ataque en la cuchilla de corte.
4. ¿Mejoras sugeridas?	Que se intercambien las cuchillas en caso que se rompan.	Posee un sistema de acople sencillo.
	Que los repuestos sean fáciles de cambiar.	Simplicidad en los elementos constitutivos.

La principal función de la información es identificar las necesidades latentes acerca del aireador de pastizales, llegando a concluir que existe una gran

necesidad de este accesorio, y que debería contar con cuchillas de fácil recambio y con regulación de intensidad de fractura del suelo.

2.3. Necesidades del cliente

En base a las necesidades que se identificaron anteriormente, las clasificaremos en grupos funcionales y daremos una valoración a las mismas con el fin de identificar las más importantes y que deberán ser consideradas al momento de definir el diseño. Como se puede observar en el cuadro 2.

Cuadro 2. NECESIDADES DEL AIREADOR

Núm.	Especificaciones	Necesidad	Imp.
1	Funcionales	Permita regulación dimensional de los elementos.	4
2			5
3		Tamaño y peso adecuado	5
4		Potencia requerida Ancho de Trabajo	3
5	Entorno de Trabajo	Mayor cantidad de suelo fracturado	5
6		Capacidad de Trabajo	3
7		Profundidad de trabajo	4
8	Usuario	Inspira orgullo	5
9	Mantenimiento	Fácil acceso para mantenimiento	3
10		Usos de herramientas sencillas	4
11		Fácil intercambio de elementos	3
12	Instalación	Permitir unir el apero al tractor rápidamente	3
13			
14	Costo del Producto	Accesible para medianos agricultores	4
	Seguridad	Cuenta con protecciones	3

2.4. Matriz necesidad métrica

Es necesario definir en primer lugar las necesidades del operario, y posteriormente se debe establecer las métricas para cada una de dichas necesidades con esto, se podrá determinar las unidades para cada una de las medidas. Como se observa en el cuadro 3.

3. Diseño Conceptual

3.1. Establecimiento de Funciones

3.1.1. Caja negra

Nuestro análisis se fundamentó en un diseño deductivo es decir, el punto de partida fue un análisis general para luego llegar a un análisis particular. La caja negra se basa en el método de diseño propuesto por Nigel Cross (2003). Como se puede observar en el gráfico 1.



Gráfico 1. Caja Negra Aireador

3.1.1.1. Flujos de aireador de pastos.

Los flujos que circulan por el sistema son:

Flujos de entrada: El suelo sin tratar, es decir un suelo compactado que reduce la producción forrajera, y la energía suministrada por el tractor para el movimiento del apero que realizará el trabajo.

Flujo de salida: Energía y un suelo fragmentado y descompactado, con lo cual el suelo se convierte en un suelo apto para la producción forrajera.

Función principal: Descompactar y airear el suelo.

Flujo principal: Continuo.

3.1.2. Estructura funcional.

Para este punto es importante investigar y analizar con profundidad el funcionamiento del elemento a partir de las secuencias y procesos que le

pertenece. Esto se consigue a partir de la caja negra que se convierte en transparente cuando se detalla cada función secundaria. Como se observa en el gráfico

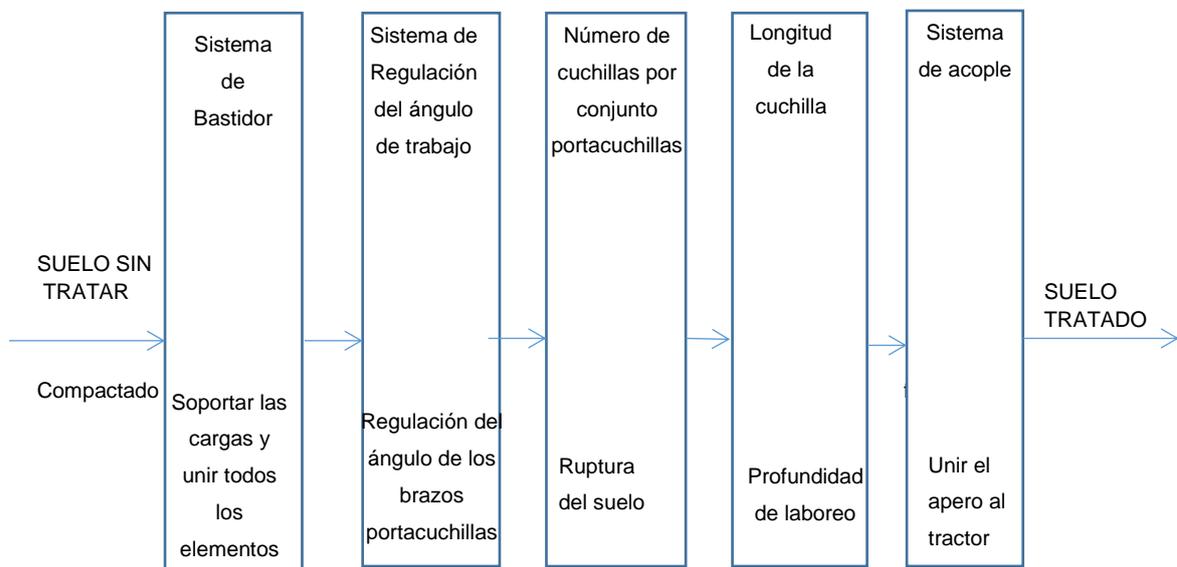


Gráfico 2. Caja transparente (análisis de funciones del aireador de pastizales)

- Sistema de bastidor

Compuesto por una estructura, que es la encargada de resistir todas las cargas generadas durante el trabajo del aireador de pastos.

- *Sistema de regulación del ángulo de trabajo*

Mecanismo que permite el aumento o disminución del ángulo existente entre los brazos porta ejes y la línea perpendicular a la línea de avance del tractor, para permitir diferentes intensidades de fractura del suelo, que se pueden ajustar a las necesidades del agricultor.

- *Numero de cuchillas por conjunto porta cuchillas*

Este aspecto determina la homogeneidad del trabajo de ruptura del suelo realizado por el apero.

- . Longitud de las cuchillas

Permite lograr la mayor introducción de las cuchillas en el suelo, sin afectar la estabilidad estructural de las cuchillas.

- . Sistema de acople

Permite la unión del apero con el tractor, que es el encargado de suministrar la potencia y la energía necesaria.

3.2. Generación de alternativas

La estructura funcional es el punto de partida, con la descripción de los diferentes sistemas se podrá asignar diferentes alternativas y poder evaluarlas, a este procedimiento se denomina matriz morfológica.

3.3. Metodología de evaluación de resultados

Mediante la realización de la matriz morfológica se generan alternativas de solución para el diseño de nuestra necesidad, es necesario evaluar estos conceptos para llegar a la mejor solución.

Para evaluar las alternativas de solución emplearemos un método que consta de dos etapas, la primera etapa se denomina *proyección del concepto* y la segunda es la fase de *puntuación del concepto*, con estas dos fases lograremos valorar y cuantificar la simplicidad, eficiencia, adaptación del elemento al medio de trabajo y su desempeño en campo.

La primera etapa se constituye en un macro análisis es decir se evalúa de una forma rápida las diferentes alternativas que resultan viables o factibles, y en la segunda etapa se desarrollará un análisis más detallado de las alternativas que da como resultado un producto deseable. (Icaza, 2009)

3.3.1. Puntaje y criterio de evaluación para la matriz de proyección.

La puntuación otorgada en la matriz de proyección es:

Cuadro 4. PUNTUACIÓN EN LA MATRIZ DE PROYECCIÓN

Mayor que	+
Igual que	0
Peor que	-

Fuente: (Ulrich, 1990)

El primer paso es tomar conceptos de referencia para cada uno de los sistemas funcionales que permiten el funcionamiento de los diferentes accesorios, y en base a los criterios de necesidad se otorgará una puntuación a cada uno de los sistemas.

El punto de partida será las necesidades tanto de los operadores y de los clientes como de las facilidades constructivas con las que se cuenta para poder implementar el accesorio, estos aspectos generan criterios de evaluación, es importante recordar que en el caso de la matriz de proyección los aspectos de evaluación tienen el mismo peso sobre la puntuación final de la alternativa.

Para obtener una evaluación o puntuación neta, primero se debe determinar la diferencia entre la suma de los valores positivo y la suma de los valores negativos, luego se debe ordenar los conceptos por rangos y se decide según los resultados las alternativas que deben continuar o no. Los criterios de evaluación que se implementarán son los siguientes:

Cuadro 5. CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA MATRIZ DE PROYECCIÓN

Criterios de evaluación	
Desempeño	1. Ancho de laboreo
	2. Profundidad de laboreo
	3. Continuidad de laboreo
	4. Buena descompactación
	5. Eficiencia
Tamaño	6. Ancho de Trabajo
Mantenibilidad	7. Durabilidad
	8. Facilidad
	9. Fácil sustitución
Costos	10. Económicos
Ergonómicos	11. Comodidad
Seguridad	12. Riesgos al operador

Fuente: Autor

3.3.2. Puntaje y criterio de evaluación para la matriz de puntuación.

La puntuación de concepto está definida por la suma ponderada de las calificaciones, por lo tanto cada criterio de evaluación tiene un porcentaje sobre el resultado final.

Las puntuaciones que se otorgan en la matriz de puntuación es:

Cuadro 6. DESEMPEÑO RELATIVO PARA LA MATRIZ DE PUNTUACIÓN

Desempeño	Calificación
Mucho peor que la referencia	1
Peor que la referencia	2
Igual que la referencia	3
Mejor que la referencia	4
Mucho mejor que la referencia	5

Fuente; Ulrich, Karl T. Diseño y desarrollo de productos

Se implementan los mismos criterios de evaluación de la matriz de proyección; la diferencia radica en el porcentaje de incidencia que cada criterio va a tener.

Cuadro 7. CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA LA MATRIZ DE PUNTUACIÓN

	Criterios de evaluación	% de incidencia
1	Ancho de laboreo	10%
2	Profundidad de laboreo	15%
3	Continuidad de laboreo	10%
4	Buena descompactación	15%
5	Eficiencia	10%
6	Ancho de Trabajo	10%
7	Durabilidad	5%
8	Facilidad de operación	5%
9	Fácil sustitución	5%
10	Económicos	5%
11	Comodidad	5%
12	Riesgos al operador	5%

Fuente: Autor

3.3.3. Descripción de los criterios

- **Ancho de laboreo.-** Se refiere a la longitud existente entre las caras laterales de las cuchillas.
- **Profundidad de laboreo.-** Se refiere a la dimensión o medida en la cual el elemento de corte se introduce en la tierra, dejando una deformación.
- **Continuidad de laboreo.-** Se hace necesario que la profundidad y el ancho de laboreo permanezcan constantes, a esto se hace hincapié este parámetro.
- **Buena descompactación.-** esta es la principal función que debe cumplir un arado, se trata de desfragmentar el suelo en pequeñas partículas.
- **Eficiencia.-** Se refiere a la relación entre el trabajo realizado y los recursos que se tuvieron que utilizar para realizar dicho trabajo.
- **Ancho de trabajo.-** Es la superficie que puede cubrir el arado en una sola pasada, está en función de actuadores o cuchillas de arado.
- **Durabilidad.-** Es la cuantificación del tiempo que permanece el equipo trabajando bajo los parámetros de eficiencia.
- **Facilidad de operación.-** Cubre la simplicidad del diseño del equipo, es decir que le resulte fácil y cómodo operar a la persona que pone en funcionamiento al accesorio.
- **Fácil sustitución.-** Se refiere al tiempo y la simplicidad de acciones que se requieren emplear para la sustitución o cambio de un elemento dañado por su repuesto.
- **Económico.-** El valor económico es un aspecto muy importante, debido a que se busca un equipo que cumpla todas las funciones al menor costo posible con la máxima eficiencia posible.
- **Comodidad.-** La comodidad es un factor no tan importante como los demás pero que debe ser tomado en cuenta para generar comodidad al momento de operar el accesorio.
- **Riesgos al Operador.-** Se fundamenta en la seguridad que proporciona el equipo, que evite los accidentes promoviendo el bienestar del operario.

3.3.4. Conceptos solución:

En base a los matrices, se evalúan las alternativas de solución (Anexo G) que generan las siguientes rutas de solución.

 Ruta de solución 1

 Ruta de solución 2

Mediantes las rutas de solución se podrá determinar combinaciones entre las alternativas, que generarán un concepto de solución coherente.

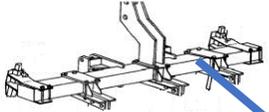
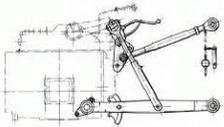
Funciones principales	Alternativas			
	1	2	3	4
1. Bastidor	Elemento estructural sii 	Platina estructural 	Estructura Cuadrangular 	
2. Sistema de regulación del ángulo de trabajo	Central 	Lateral 		
3. Numero de cuchillas por conjunto porta cuchillas	4 cuchillas 	3 cuchillas 		
4. Longitud de las cuchillas	10 centímetros	12 centímetros	15 centímetros	19 centímetros
5. Sistema de Acople	Enganche de tres puntos 	Acople de cajetín 	Enganche para remolque 	

Gráfico 3. Matriz morfológica

- **Descripción ruta solución 1.** La aireación se realiza mediante 3 cuchillas por conjunto porta cuchillas, estas tienen una longitud de 19 cm con lo cual se espera lograr la mayor penetración posible en el suelo, cuenta con mecanismo central que permite la regulación del ángulo de trabajo de una forma muy simple. Todos los elementos se encuentran montados en un bastidor de estructura cuadrangular que facilita en grande la construcción del mismo, y finalmente utiliza un acople de enganche de tres punto con el cual se lo fija al tractor.
- **Descripción ruta solución 2.** Emplea un bastidor robusto formado por un solo elemento estructural, en el que se montan abrazaderas que alojarán a los elementos de apero, el ángulo de trabajo se regula mediante el movimiento individual de los brazos, con un pasador ubicado en la parte lateral del bastidor. Posee 4 cuchillas por conjunto porta cuchillas con una longitud de estas de 10 centímetros. Finalmente, esta alternativa conjuga un acople de tres puntos.

3.3.5. Evaluación de las rutas de solución.

Para seleccionar un conjunto de alternativas para el producto se ejecutan los siguientes pasos:

- Criterios de solución
- Evaluación del peso específico de cada criterio
- Evaluación del peso específico de las distintas soluciones para cada criterio
- Cálculo de la tabla conclusiones

3.3.5.1. Criterios de evaluación.- Las necesidades expresadas por el agricultor se constituyen en el punto de partida para la selección de los criterios de evaluación en la siguiente tabla.

Cuadro 8. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Criterios de Evaluación
1. Eficiencia
2. Costo
3. Facilidad de fabricación
4. Regulación y control

Fuente: autor

3.3.5.2. Evaluación del peso específico de cada criterio

1=Si el criterio(o soluciones) de las filas es superior (o mejor; >) que el de las columnas.

0= Si el criterio(o soluciones) de las filas es equivalente (=) al de las columnas.

0= Si el criterio(o soluciones) de las filas es inferior (o peor; <) que el de las columnas.

Cuadro 9. PUNTUACIÓN DE CONCEPTOS

Regulación y control > eficiencia = costo > facilidad de
--

Criterio	Regulación y control	Eficiencia	Costo	Facilidad de fabricación	\sum_{+1}	Ponderada
Regulación y control	-	1	1	1	4	0,4
Eficiencia	0	-	0,5	1	2,5	0,25
Costo	0	0,5	-	1	2,5	0,25
Facilidad de fabricación	0	0	0	-	1	0,1
					10	1

Fuente: Autor

3.3.5.3. Evaluación del peso específico de las distintas soluciones para cada criterio

- *Evaluación del peso específico del criterio regulación y control*

Cuadro 10. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO

REGULACIÓN Y CONTROL

Solución 1 >

Regulación y control	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderada
Solución 1	-	1	2	0,667
Solución 2	0	-	1	0,333
		suma	3	1

Fuente: Autor

- *Evaluación del peso específico del criterio eficiencia*

Cuadro 11. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO EFICIENCIA

Solución 1 =

Regulación y control	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderada
Solución 1	-	0,5	1,5	0,5
Solución 2	0,5	-	1,5	0,5
		suma	3	1

Fuente: Autor

- *Evaluación del peso específico del criterio **costo***

Cuadro 12. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO COSTO

Solución 1 >

Regulación y control	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderada
Solución 1	-	1	2	0,667
Solución 2	0	-	1	0,333
		suma	3	1

Fuente: Autor

- *Evaluación del peso específico del criterio **facilidad de fabricación***

Cuadro 13. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO FACILIDAD DE FABRICACIÓN

Solución 1 >				
Regulación y control	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderada
Solución 1	-	1	2	0,667
Solución 2	0	-	1	0,333
		Suma	3	1

Fuente: Autor

3.3.5.4. Cálculo de tablas de conclusiones.

Cuadro 14. CÁLCULO DE TABLAS DE CONCLUSIONES

Conclusión	Regulación y control	Eficiencia	Costo	Facilidad de fabricación	\sum	Prioridad
Solución 1	0,667 x 0,40	0,5 x 0,25	0,667 x 0,25	0,667 x 0,1	0,62525	1
Solución 2	0,333 x 0,40	0,5 x 0,25	0,333 x 0,25	0,333 x 0,1	0,37475	2

Fuente: Autor

3.3.5.5. Evaluación económica y técnica. Una vez que contamos con las dos alternativas planteadas y bien definidas, las someteremos a una evaluación desde el criterio económico. Se indicarán diferentes puntos de comparación, donde a cada propuesta se le asignará un valor [1 a 5], dependiendo de cómo satisfaga la propuesta al punto en mención siendo el 1 malo y el 5 excelente.

A los puntos de comparación también se les asignará un peso de [1 a 3], dependiendo de cuanta transparencia tengan con el desarrollo del proyecto, este peso será denominado como el factor de influencia siendo 1 importante, 2 muy importante y 3 imprescindible (CROSS, 2003).

Cuadro 15. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Evaluación Económica				
Puntos de evaluación	Factor de importancia (Fi)	Puntaje (Pi)		
		Opción 1	Opción 2	proyecto Ideal
Materiales	3	4	3	5
Fabricación	3	4	3	5
Operación	2	5	4	5
Mantenimiento	2	4	4	5
$TOTAL = \sum(Fi \times Pi)$		42	34	50
Coeficiente económico = Ptotal/Puntaje Ideal		84	68	100

Fuente: Autor

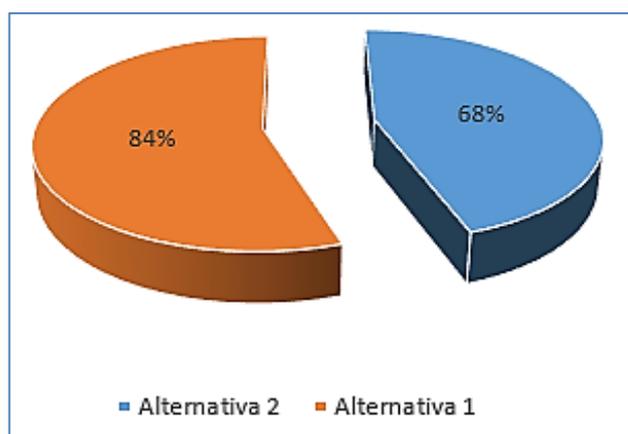


Gráfico 11. Evaluación económica

Fuente: Autor

Para la evaluación técnica se empleará el mismo sistema de asignación de calificaciones, es así que tenemos:

Cuadro 16. EVALUACIÓN TÉCNICA

Evaluación técnica				
Puntos de evaluación	Factor de importancia (Fi)	Puntaje (Pi)		
		Opción 1	Opción 2	proyecto Ideal
Ancho de laboreo	3	3	4	5
Profundidad de laboreo	2	5	3	5
Continuidad de laboreo	2	3	3	5
Buena descompactación	3	4	5	5
Eficiencia	3	3	3	5
Ancho de Trabajo	2	3	3	5
Durabilidad	2	5	4	5
Facilidad de operación	1	5	4	5
Fácil sustitución	1	5	3	5
Económicos	3	4	3	5
Comodidad	1	4	3	5
Riesgos al operador	2	4	3	5
$TOTAL = \sum(Fi \times Pi)$		96	88	125
Coeficiente económico = Ptotal/Puntaje Ideal		76,8	71,2	100

Fuente: Autor

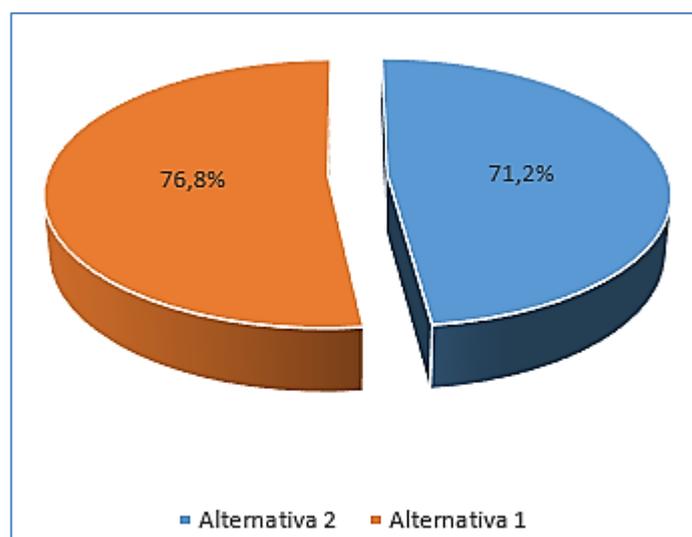


Gráfico 12. Evaluación técnica

Fuente: Autor

Evaluación de propuestas. Una vez obtenido los coeficientes técnicos y económicos, se procede a graficar las tres opciones más la opción ideal.

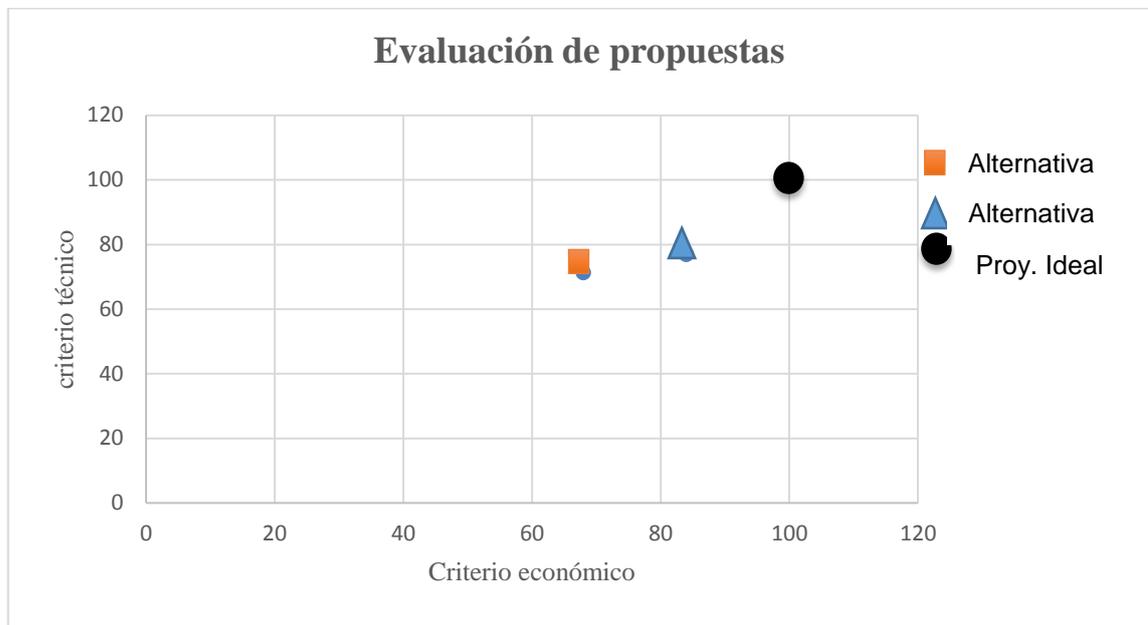


Grafico 13. Evaluación de propuestas

Fuente: Autor

3.3.5.6. Reflexionar sobre los resultados. El análisis de criterios muestra que la alternativa 1 resulta la más apropiada para nuestra necesidad, combina la simplicidad de diseño, con un alto desempeño y excelentes características de trabajo.

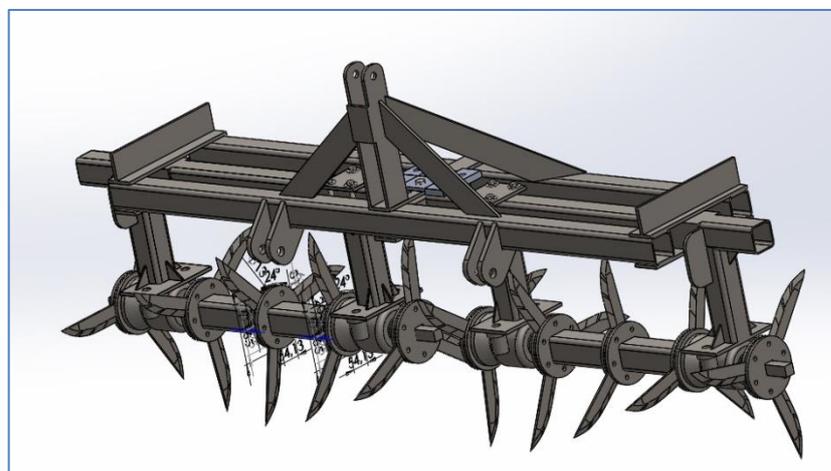


Grafico 4. Equipo alternativa 1: Concepto Aireador

Fuente: Autor

4. Diseño de ingeniería

4.1. Diseño de elementos mecánicos

4.1.1. Datos de campo

Los equipos agrícolas son diseñados para todo tipo de suelos, especialmente los de tipo arcilloso que son los que presentan la mayor resistencia a la labranza.

4.1.2. Necesidad de uso de los equipos.

La función principal del aireador de pastos, es el corte y fragmentación del suelo en sus capas superficiales de hasta 15 cm de profundidad, actividad con la cual se busca su descompactación, paso indispensable para la buena producción de los pastos.

- **Pre-proceso**

Datos del problema. El bastidor al ser la estructura que soportara las fuerzas frontales e inferiores que ejercen en contra del apero, tendrá que ser analizado bajo estas fuerzas para determinar si la resistencia mecánica de los materiales elegidos y la disposición de unión de los mismos son los adecuados para evitar la deformación de la estructura.

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

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.

Disponibilidad en el mercado. El acero al carbono es uno de los aceros que se puede encontrar con facilidad en el mercado local,

El acero más apropiado para el bastidor del apero es un acero estructural (tubo cuadrado, platina, plancha).

1.1. Solución de análisis.

El análisis y solución se sometió a un sistema CAD de simulación, con el diseño 3D del bastidor y las fuerzas máximas teóricas actuantes en el modelo. El informe emitido por el programa CAE, se expone con detalle en Anexo 1, y los planos obtenidos se indican en Anexo 2.

2. Proceso de construcción y costos.

2.1. Tecnología de la construcción

Una vez que se ha definido el diseño del apero, se procedió a la construcción del mismo que no representó una gran dificultad, ya que no requiere procesos industriales complejos porque simplemente se podrían realizar en un lugar que disponga de máquinas y herramientas apropiadas. El primer proceso, es la compra del material para la construcción, los elementos normalizados seleccionados, para luego definir las operaciones industriales necesarias y los procesos adecuados que agilicen la construcción.

2.1.1. Máquinas y herramientas.

Con el fin de construir los elementos del aireador de pastos se empleo diversos tipos de máquinas herramientas tales como: soldadora, cortador por plasma, cortadora vertical de disco abrasivo, taladro de banco, esmeril, y herramientas manuales como: moladora, taladro, martillos, llaves, flexómetro, escuadras, destornilladores entre otras.

1.2. Proceso de construcción.

Cuadro 17. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL AIREADOR DE PASTOS.

Día	Actividades
1	Compra de materiales para la construcción del arado cincel.
2	Trazado del material acorde a las dimensiones necesarias. Corte de material con dimensiones definitivas.
3	Clasificación de los materiales para la construcción de cada sistema del apero.
4	Soldadura de la estructura principal. Limpieza de las juntas soldadas.
5	Taladrado de orificios para el mecanismo de ajuste de ángulo en bastidor y brazos porta ejes Soldado de los brazos a las placas porta chumaceras
7	Taladrado de sujetadores de brazos de apero Soldado de sujetadores de brazos de apero
8	Colocación de ejes en las chumaceras
9	corte y taladrado de los discos porta cuchillas elaboración de los separadores con los discos porta cuchillas
10	Corte de las cuchillas y pulido
11	Ensamblaje de las cuchillas en los discos
12	Ajuste del conjunto eje, discos, cuchillas
13	Pulido de elementos del apero

6. Costos

Una vez finalizada la construcción, en el presente ítem, se procederá a resumir los costos realizados para la consecución del prototipo:

Costos directos

- Materiales y accesorios
- Mano de obra
- Equipos y herramientas

Costos indirectos.

- Costos ingenieriles
- Utilidad
- Imprevistos

A continuación se detallará los materiales y sus respectivos costos que se emplearon para la construcción del apero.

En la siguiente tabla se especifica los gastos producidos por ejes, platinas pernos, tuercas, arandelas y accesorios los mismos que serán empleados en la construcción del aireador de pastos

Cuadro 18. COSTO Y CANTIDAD DE PERNOS

PERNOS					
Cantida d	Detalle	Tipo rosca	Tamaño (mm)	Diámetro (mm)	Valor (USD)
8	M9	Gruesa	125	9	4.80
3	M16	Gruesa	125	16	6
8	M11	Gruesa	125	11	8.20
8	M16	Gruesa	100	16	12.50
60	M9	Gruesa	35	9	6
TOTAL					52.5

Fuente: Autor

Cuadro 19. COSTO Y CANTIDAD DE ACCESORIOS

PLANCHAS						
Detalle	Cant.	Designación	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Valor (USD)
6mm	1	Plancha de 6	2440	1220	6	108
15mm	1	Pedazo de 15	450	400	15	16
TOTAL						124

Fuente: Autor

Cuadro 20. COSTO Y CANTIDAD DE PLATINA

PLATINAS						
Detalle	Cant.	Designación	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Valor (USD)
	1	PL 50 x 9	6000	50	9	45
TOTAL						45

Fuente: Autor

Cuadro 21. COSTO Y CANTIDAD DE PLANCHAS

PLANCHAS						
Detalle	Cant.	Designación	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Valor (USD)
6mm	1	Plancha de 6	2440	1220	6	108
15mm	1	Pedazo de 15	450	400	15	16
TOTAL						124

Fuente: Autor

Cuadro 22. COSTO Y CANTIDAD DE TUBOS

TUBOS						
Detalle	Cant.	Designación	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Valor (USD)
Tubo cuadrado	2	T 75X75X4	6000	75	4	122
TOTAL						122

Fuente: Autor

El valor total entre los materiales y accesorios para el aireador de pastos es de: 817,49 USD

- *Costos de equipos y maquinaria utilizados*

Cuadro 23. COSTOS POR EQUIPOS Y MAQUINARIA UTILIZADOS

Costos por equipos			
Descripción	Unidad	cantidad	Valor (USD)
Corte por plasma	Metro	8	280
Taladro	Agujeros	210	105
Soldadora GMAW	Metro	6	90
Amoladora	Discos	10	15
Cortadora	Discos	2	16
TOTAL			506

Fuente: Autor

.Costos por mano de obra

Cuadro 24. COSTOS POR MANO DE OBRA

Costos mano de obra			
Trabajador	Precio x Hora	Horas	Valor (USD)
Maestro Mecánico	4	32	128
Soldador	3,5	6	21
TOTAL			149

Fuente: Autor

- *Costos por transporte*

Cuadro 25. COSTOS POR TRANSPORTE

Costos Transporte			
Detalle	Precio x viaje	Total	Valor (USD)
Transporte de materiales a la obra	6	5	30
Transporte de la máquina	1	15	15
TOTAL			45

Fuente: Autor

Cuadro 26. VALOR TOTAL DE COSTOS DIRECTOS

Detalle	Valor Total (USD)
Materiales y accesorios	817,49
Maquinaria y equipo	506
Mano de obra	149
Transporte	45
TOTAL	1517.49

Fuente: Autor

El valor total de los costos directos para el aireador de pastos es de: **1517,49 USD**

- Costos indirectos

Cuadro 27. COSTOS INDIRECTOS

Detalle	Cantidad	Valor (USD)
Diseño y supervisión	15 %	228
Imprevistos	5 %	76
TOTAL		304

Fuente: Autor

El costo total del aireador de pastos se obtiene de la suma de los costos directos e indirectos:

Cuadro 28. COSTO TOTAL DEL AIREADOR DE PASTOS

Detalle	Valor (USD)
Costos directos	1517,49
Costos indirectos	304
TOTAL	1821,49

Fuente: Autor

El costo total del aireador de pastizales: **1821, 49 USD.**

El costo total de la construcción del aireador de pastizales está establecido en 1821,49 USD que es un precio adecuado considerando sus competidores existentes en mercado, para la determinación de su precio se consideraron los precios directos e indirectos entre los cuales consta transporte de materia prima y producto terminado, materiales, mano de obra entre otras.

Anexo 3. Proceso Constructivo.

a. Corte de los materiales



b. Soldadura de la estructura principal.



b. Soldadura del sistema de enganche



c. corte de los discos.



e. Taladro de los discos.



f. Colocación de las chumaseras



g.. Ensamble final de la máquina



h. Pulido de discos



i. Máquina terminada



Anexo 4 .Resistencia del apero

a. Resistencia del bastidor



b. Resistencia de los brazos porta ejes



c. Resistencia de las chumaceras



d. Resistencia de los ejes



e. Resistencia de los separadores



f. Resistencia de las cuchillas



ANEXO 5. PLANOS