



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 23-01-23.

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Camilo Andrés Tovar Trujillo, con C.C. No. 1075284968.
_____, con C.C. No. _____
_____, con C.C. No. _____
_____, con C.C. No. _____

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o _____

titulado Implementación de un sistema de bombeo
sin consumo de energía eléctrica para producción
de forraje para ganado.

presentado y aprobado en el año 2023 como requisito para optar al título de
ingeniero Agrícola.

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS**



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Comib Andres Toray

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA				   	
	GESTIÓN DE BIBLIOTECAS					
DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA 1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO SIN CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA PRODUCCIÓN DE FORRAJE PARA GANADO

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Tovar Trujillo	Camilo Andrés

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Ardila Marín	Juan Gonzalo
Pérez Castrillón	Luis Enrique

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Agrícola

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Agrícola

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2023

NÚMERO DE PÁGINAS: 26

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías_x_ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general_x_ Grabados___
 Láminas___ Litografías___ Mapas_x_ Música impresa___ Planos_x_ Retratos___ Sin ilustraciones___
 Tablas o Cuadros_x_

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA					   			
	GESTIÓN DE BIBLIOTECAS								
DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO									
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3		

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. __succión__	__suction__	6. __manguera__	__hose__
2. __descarga__	__discharge__	7. __tubería__	__pipeline__
3. __bombeo__	__pumping__	8. __topografía__	__topography__
4. __aforo__	__capacity__	9. __sistema__	__system__
5. __válvula__	__valve__	10. electrobomba_	__eletric pump__

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Por medio del Centro Tecnológico de Ingeniería GEOMAAC se desarrolló un sistema de bombeo hidráulico en la finca La Esperanza ubicado en el municipio de Rivera-Huila en la vereda Río Frío. La implementación de este sistema nace debido a la necesidad hídrica en la parte alta de la finca, que, consecuente a ello en épocas de estiaje no se obtiene el forraje suficiente para la ganadería.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

Through the GEOMAAC Engineering Technology Center, a hydraulic pumping system was developed at the La Esperanza farm located in the municipality of Rivera-Huila in the Río Frío district. The implementation of this system was born due to the need for water in the upper part of the farm, which, consequently, in times of low water, does not provide enough fodder for livestock.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: Luis H. Martínez Palmeth.

Firma:

Nombre Jurado:

Firma: Edgór Leonardo Caceres Ortiz

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE BOMBEO SIN CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA PRODUCCION DE FORRAJE PARA GANADO

Trabajo de grado presentado al departamento de Ingeniería Agrícola
como requisito para optar al título de: Ingeniero Agrícola

Autor

Camilo Andrés Tovar Trujillo: 20162152004

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Agrícola

Neiva, Huila, Colombia. 2022

Firma

Director: Juan Gonzalo Ardila Marín

Firma

Codirector: Luis Enrique Pérez Castrillón

Nota de aceptación

Firma

Jurado: Luis Humberto Martínez Palmeth

Firma

Jurado: Edgar Leonardo Camero Ortiz

IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE BOMBEO SIN CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA PRODUCCION DE FORRAJE PARA GANADO

RESUMEN

Debido a la demanda alimenticia que se vive no solo en Colombia sino en todo el mundo, es urgente la implementación de equipos, sistemas, o, más bien, la mecanización del campo para llevar a cabo buenas prácticas agrícolas y dejar a un lado esa agricultura tradicional que se ha venido practicando a través de la historia. Este proyecto de pasantía supervisada tuvo como objeto incentivar e implementar en el sector agrícola nuevas tecnologías para un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles con el fin de tener mejores niveles de producción. Por medio del Centro Tecnológico de Ingeniería GEOMAAC se desarrolló un sistema de bombeo hidráulico en la finca La Esperanza ubicado en el municipio de Rivera-Huila en la vereda Río Frío. La implementación de este sistema nace debido a la necesidad hídrica en la parte alta de la finca, que, consecuente a ello en épocas de estiaje no se obtiene el forraje suficiente para la ganadería. Atendiendo a estas necesidades se ejecutó este proyecto agrícola realizando pruebas de campo con sus debidas capacitaciones para así familiarizar al agricultor con este tipo de tecnologías, contrarrestando ese pensamiento anticuado sobre la agricultura, dando a entender que con las herramientas adecuadas podrán trabajar mejores sus tierras, reduciendo tiempos, reduciendo esfuerzos, mitigando amenazas, optimizando el uso de recursos para llegar a un aumento en la productividad y mejorar los cultivos. Para el presente proyecto se tiene como objetivo, el diseño e implementación de una bomba hidráulica que pueda transportar 70 m^3 de agua a un reservorio ubicado a unos 32,32 MCA (Metros Columna de Agua) para su almacenamiento y su posterior distribución, aprovechando la energía potencial y cinética del agua. Se hace una comparación entre dos sistemas de bombeos que cumplen con los requerimientos exigidos, eligiendo el método de bombeo que utiliza energía renovable y no requiere de ningún tipo de combustible o energía eléctrica para operar. Una vez hecho los estudios económicos y de diseño, se procedió a realizar la instalación del sistema y se determinó que la bomba diariamente entrega 68570 litros de agua, que beneficiara a la parte alta de la finca La Esperanza.

Palabras clave: tubería de conducción, tubería de descarga, sistema de bombeo, bomba hidráulica, topografía, aforo, válvula de retención, manguera de polietileno, altura manométrica.

INTRODUCCIÓN

La agricultura ya no se limita a transferir recursos para el fomento de la industrialización, convirtiéndose en un sector capaz de desempeñar funciones importantes para el desarrollo económico (Bejarano, 1998). En Colombia, el sector agropecuario genera más del 20% de empleo en el país, y casi el 50% en sector rural (Leibovich, 2008). Para el año 2020 según el informe de mercado laboral, 3 millones 95 mil personas se dedican específicamente a la agricultura. Esto representa un 17% del total de fuerza laboral del país (PORTAFOLIO, 2020). Un plan integrado dirigido al sector deberá tener en cuenta la relación entre la mecanización agrícola y los recursos naturales, donde la máquina interactúa con cada recurso y a la vez los recursos entre sí, donde la contaminación de uno afecta al otro (Guerrero, 2007). La tecnología es aplicable en las áreas de agricultura, permitiendo la disminución de tiempo y costos de las diferentes labores agrícolas, los productores deben estar abiertos a buenas prácticas agronómicas, tecnológicas y de mecanización, sin embargo, no se ha llegado a una utilización total de la maquinaria, debido principalmente al alto valor de los equipos, ya que la mayoría de estos son importados (Puerta, 2007).

La ganadería es la actividad que ocupa la mayor parte de la frontera agropecuaria de Colombia, en 35 años esta actividad productiva pasó de ocupar 14,6 a 35,5 millones de hectáreas y tiende a continuar creciendo a expensas de los bosques y la agricultura. Aunque el inventario bovino es incierto, se calcula en 26 millones de cabezas, que aportan 44,6 % del PIB (Producto Interno Bruto) pecuario, que a su vez es el 9,2 % del PIB nacional (Murgueitio, 2000). La participación del PIB agropecuario a precios constantes cayó gradualmente del 9% al 6% del producto nacional en los últimos 24 años, en 2017 el sector agropecuario representó el 6,3% del PIB nacional. Los ciclos de crecimiento y contracción del PIB del sector están, en gran medida, determinados por el comportamiento de la producción de café, la cual aporta un 9% del valor total del agregado agropecuario. La producción de caña de azúcar tiene una participación de 3%¹, mientras que el resto de la actividad agrícola tiene una participación del 49% y ha presentado un crecimiento promedio de 2,6% desde el año 2000. Se destaca su dinamismo en 2017, cuando alcanzó un incremento anual de 8,1%. Por su parte, la actividad pecuaria aporta un 33% a la producción total del sector; se ha expandido al 2,5% en promedio desde el año 2000 y en 2017 lo hizo al 4,1% (Cardenas, y otros, 2018). Las áreas de pastizales cubren el 24% de la superficie terrestre a nivel mundial y se clasifican en diferentes tipos teniendo en cuenta su composición vegetal como matorral, pampa, pradera, sabana, estepa, tundra, etc. Estas áreas brindan diferentes servicios ecosistémicos más allá del pastoreo, como hábitat para muchas especies, recursos de agua dulce, conservación del suelo o secuestro de CO₂ (Ileri & Koç, 2021). El agua es un recurso vital para la producción vegetal y animal. Los seres vivos están más adaptados a sobrevivir con escasez de alimentos que con falta de agua. Esta importancia no solamente tiene que ver con las funciones metabólicas del agua para las plantas y animales (estructurales, transporte de solutos, turgencia celular, participación en reacciones y ciclos, etc.), sino también con sus características dinámicas en estos procesos metabólicos (FAO, 2013).

En su gran mayoría en Colombia se capta y distribuye el agua por efecto de la gravedad, en muy pocos casos en el riego se presenta la captación y distribución por medio de bombeo, es decir, que cuenta con un sistema de bombas y un consumo energético para su funcionamiento (Olaya & Rodríguez Ramos, 2019). En La Esperanza (ubicado en el

municipio de Rivera-Huila), perteneciente a la subcuenca de Río Frío, la mayor demanda existente son los cultivos, en orden descendente el cacao, pastos manejados, cultivos transitorios, uso doméstico, cultivos permanentes y el uso pecuario. Para los periodos de junio, julio y agosto no existe agua disponible para satisfacer la demanda del recurso (CAM, 2018). El contenido nutricional del forraje está directamente relacionado con la calidad de los productos obtenidos del ganado (Palacios, et al., 2015) y la finca La Esperanza carece de alternativas para el mejoramiento de sus sistemas de riego para sus cultivos de forraje para ganado, ya que, en épocas de poca lluvia, el alimento es deficiente para estos animales y consecuente a esto, los productos derivados a estos animales no tienen el mismo rendimiento. Dentro de la finca, en su parte alta, se encuentra un reservorio que es alimentado por afluentes y piscícolas que están muy próximos al predio, que es aprovechada por los cultivos para ganadería, dado que la agricultura de la Finca, en su mayor parte, se encuentra en las partes más bajas de la zona, donde se dispone de una presa que es alimentada por el Río Frío y mantiene un buen nivel permanente. El aprovechamiento de las aguas de la parte alta y el uso eficiente de ellas es de gran importancia para la producción en el cultivo de forraje para ganado, pero en época seca el reservorio no mantiene el nivel adecuado para el riego en la zona. Partiendo de estos hechos el problema principal era el bajo aprovechamiento de la parte alta del predio debido a que, en los meses secos, no había suficiente recurso hídrico para la producción de forraje.

La empresa huésped de esta pasantía fue el Centro Tecnológico de Ingeniería GEOMAAC S.A.S., empresa Huilense de más de 3 años enfocada en ser el Centro Tecnológico de Ingeniería en Maquinaria, Adecuación de Tierras, Agroindustria y Construcción más importante de la región disponiendo de tecnologías de última generación. Cuenta con un grupo de técnicos, tecnólogos y profesionales en el área Agrícola, Pecuaria, Civil, Ambiental, Topográfica y Geociencias con amplio conocimiento de la región y su contexto. Con ellos surgió este proyecto con el objetivo de implementar un sistema bombeo sin consumo de energía eléctrica para la producción de forraje para ganado en la finca La Esperanza, para lo cual fue necesario calcular y seleccionar una bomba hidráulica ZM® apropiada a las condiciones del sitio para proceder a su instalación, verificar la puesta en marcha del sistema implementado, y demostrar la ventaja que tiene este sistema comparado con otros.

En La Esperanza, en épocas de sequía, la producción de forraje para el ganado era mínima, bajo la implementación de este sistema de bombeo hidráulico, que aprovecha la energía hidráulica del flujo saliente de la presa para bombear agua a las zonas superiores sin consumo de energía eléctrica, se logró dar una mejora a la generación agrícola del cultivo, que implicará una mejora en cuanto a rendimientos y longevidad del cultivo, además, mejorará la calidad de vida de los habitantes de la finca.

Bomba hidráulica ZM

El trabajo que se realiza por medio de la bomba hidráulica ZM utiliza la energía cinética y potencial de un flujo del agua que mueve una turbina (rueda) para aprovechar esa energía, ver Figura 1. El movimiento o energía es trasladado a un eje, que hace girar a una bomba, la cual absorbe el agua de una fuente, para luego ser impulsada a un tanque de almacenamiento, reservorio, terreno, casa, etc. No requiere de energía convencional como electricidad o derivados del petróleo. (Guaña Quilumba & Quishpe Sacancela, 2018)



Figura 1. Bomba ZM Maxxi.

La bomba ZM Maxxi es una bomba alternativa de doble efecto que aprovecha la energía hidráulica producida por el impulso del agua en los cajones de una rueda metálica, este peso del agua hace que la rueda gire y mediante el uso de un punto excéntrico (3), ver Figura 2, en un disco metálico (1), se produce el movimiento de dos pistones (4) que en términos prácticos funcionan como jeringas succionando e impulsando el agua a través de las válvulas de retención (7 y 8) las que permiten el paso a la cápsula de aire o caballete (9) y de este a la tuberías de bombeo.

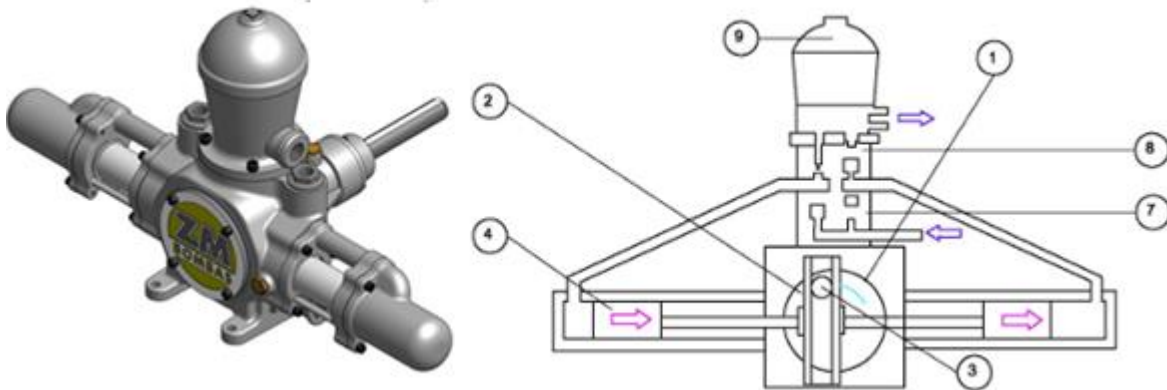


Figura 2. Corte transversal Bomba ZM Maxxi

Electrobomba con rodete periférico

Ahora se presenta la bomba periférica, ver Figura 3, como la alternativa a considerar en el presente proyecto, ya que una de las metas es demostrar la viabilidad y conveniencia del uso de la bomba hidráulica; las electrobombas son también conocidas como bombas de vértice, en este tipo de bomba de agua se producen remolinos en el líquido por medio de los álabes a velocidades muy altas, dentro del canal anular donde gira el impulsor. Son capaces de entregar gran presión de descarga con motores de baja potencia. Adecuadas para uso doméstico, aumento de presión de la red de agua potable. El fluido entra al cuerpo de la bomba (1), ver Figura 4, y debido a la geometría del impulsor o rodete (4) se generan

remolinos en el agua por medio de los álabes y velocidad elevada del eje rotación (5) y se genera la energía suficiente para expulsar el agua hacia el exterior.



Figura 3. Electrobomba periférica Pedrollo

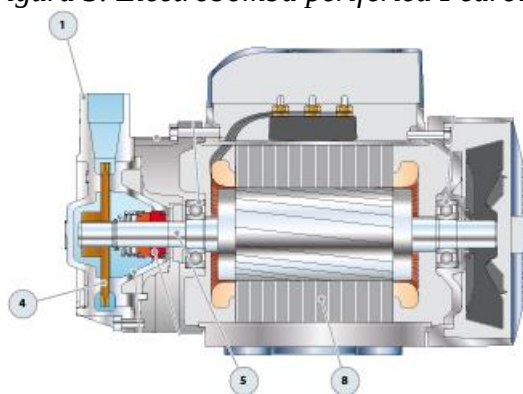


Figura 4. Corte transversal Electrobomba Pedrollo

MATERIALES Y MÉTODOS

Especificación del problema

La finca se encuentra ubicada en la vereda Río Frío aproximadamente a unos diez minutos de la ciudad de Neiva, perteneciente al municipio de Rivera, a la subcuenca de Río Frío que cubre un área de 62 km² aproximadamente, que representan el 16,7% del área del municipio de Rivera. En la Figura 5(a) se aprecia la ubicación del municipio. Entre los principales ríos están: Río Negro, Río Blanco y la Dinda que abastecen los acueductos del casco urbano de Rivera y las veredas del Salado, Alto Guadual y Llanitos, y además abastece a la zona rural de las veredas Termopilas, Alto Pedregal y parte del Bajo Pedregal. Según la CAM (Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena), la mayor demanda existente son los cultivos, pero para los periodos de junio, julio y agosto no existe agua disponible para satisfacer la demanda (CAM, 2018).

Inicialmente se realizó el reconocimiento del lugar, con el fin de tener una idea de su ubicación, dimensión y su distribución. El predio es usado para distintas labores de campo, como la ganadería principalmente, crianza equina y para el cultivo de maíz. La finca cuenta también con grandes extensiones boscosas y a través de ella pasa el Río Frío que abastece de agua para las distintas labores agrícolas de la zona. Mediante el software Google Earth y

las indicaciones dadas por los propietarios del predio se logró obtener la ubicación exacta de la zona, además de sus limitaciones para posteriormente hacer el levantamiento topográfico. En la Figura 5(b) se demarcan los límites de la finca y se ubica, en el punto denotado como “Bomba Pelton”, la ubicación de la descarga de la presa que provee el flujo que accionará la rueda hidráulica para bombear el recurso hídrico hacia el “Reservorio” que es alimentado por afluentes y piscícolas que están muy próximos al predio, pero que en época seca no mantiene el nivel adecuado para el riego en la zona. Mostrando, en la Figura 5(b), el trazado de la línea de conducción de agua desde la presa de la parte baja hasta el reservorio.

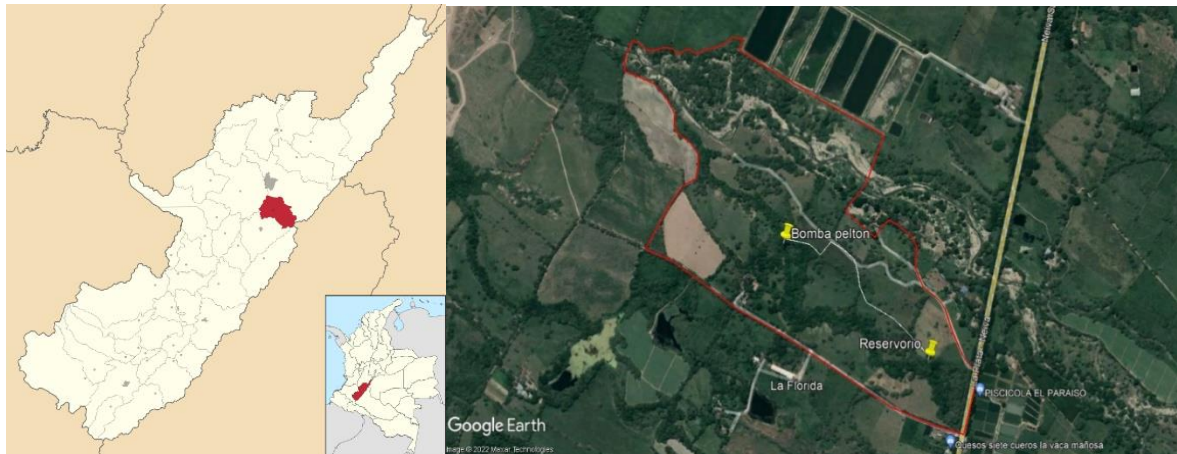


Figura 5. (a) Ubicación del municipio de Rivera. (b) Finca La Esperanza, y ubicación del proyecto.

La topografía del terreno se tomó con la ayuda de un dron EVO II Pro 6K suministrado por la empresa huésped, el levantamiento se hizo en cuatro sesiones o vuelos donde se abarcaron 18 ha aproximadamente en cada uno, con las imágenes captadas por el equipo se consiguió crear un mapa de alta resolución con los detalles cartográficos y con ello se corroboró la información suministrada, el mapa elaborado puede apreciarse en la Figura 6. Se identificaron con exactitud las zonas para el cultivo del maíz, zonas boscosas, potreros, el reservorio, la represa, la ubicación de la finca e incluso las vías de acceso. La información más relevante se reporta en la Tabla 1. Al obtener toda la información de campo gracias al levantamiento se procedió con los trabajos de digitalización y procesamientos de datos. Con el apoyo del software ArcGIS® se realizaron los mapas de planimetría, curvas de nivel, modelo de elevación digital y un ortomosaico del predio. El paquete de mapas le fue entregado al propietario en medio magnético y físico en vista de tener toda la información necesaria para proyectos que se realizarán a mediano y largo plazo, como la implementación de cultivo de maíz y arroz en otras partes de la propiedad.

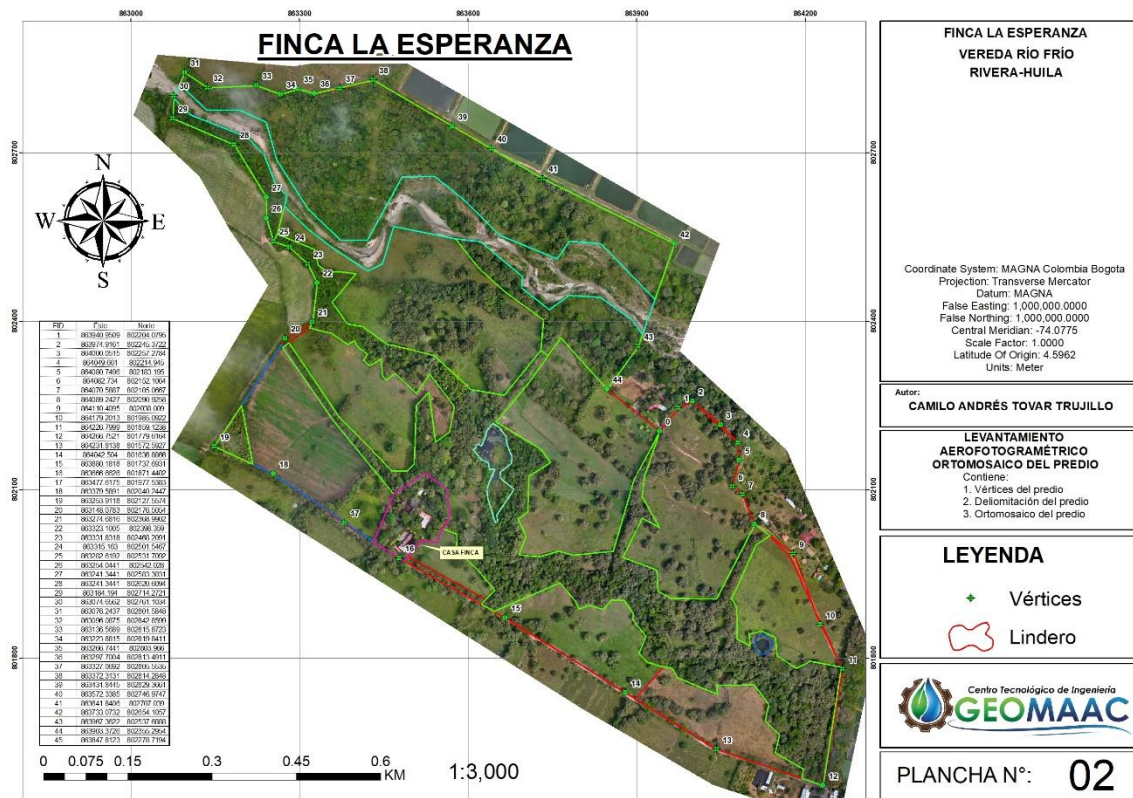


Figura 6. Mapa detallado Finca La Esperanza.

Tabla 1. Datos topográficos y cartográficos relevantes Finca La Esperanza.

Coordenadas	863503.75 E	802051.30 N
Altura máxima del predio	611 msnm	
Altura mínima del predio	468 msnm	
Potrereros	297453.53	
Bosques	301083.68	
Cultivo de maíz	42527.9 m2	
Reservorio	819.56 m2	
Represa	5549.37 m2	
Río frío	53093.89 m2	
Finca	12708.294 m2	
Área total:	713236.224 m2	

La finca La Esperanza cuenta con dos fuentes hídricas que abastecen a todo el lugar en su mayoría, el reservorio natural y la presa que alberga unos 22000 m³ de agua, los cuales son alimentados desde piscícolas y derivaciones de Río Frío en la parte más alta de la zona. El reservorio que se necesita llenar, en la parte alta de la finca, tiene un volumen de 2500 m³ aproximadamente. La necesidad de llenado fue establecida por el usuario en, aproximadamente 70 m³ en 24 horas, para que el reservorio se mantenga lleno, y garantizar la disponibilidad del recurso para el riego de la zona alta del predio donde se encuentra la producción de forraje para el pastoreo del ganado. Igualmente, según estimaciones realizadas por el usuario, la presa que alimentaría la turbina o rueda hidráulica que acciona la bomba puede descargar caudales de hasta 60 L/s, que fue verificado mediante aforo. Una

vez teniendo clara la disponibilidad de agua para el accionamiento, caracterizado el potencial hidráulico a la salida de la presa que accionará el sistema y de conocer el requerimiento de caudal que debía suministrar la bomba y la diferencia de altura que se debe vencer, se procedió a realizar los cálculos para seleccionar la referencia de bomba hidráulica.

Selección de la Bomba

Para el cálculo y selección de la bomba ZM se requirió en primera medida establecer cuáles son las necesidades, ya que en base a las necesidades se dimensiona el diámetro de la tubería, las pérdidas y la altura máxima de descarga. La diferencia de altura de 22 m y la distancia a la cual se debe llevar el agua de 688 m, que se definieron por medio del levantamiento topográfico, además, la tasa de flujo diario que la bomba debe bombear de 70 m³/día que fue acordada con el propietario inversionista, son los parámetros para tener en cuenta. Una vez definido lo anterior, se consultó el manual técnico del fabricante sugerido por la empresa. El modelo de la bomba se define a partir de la valoración de la altura y el caudal en el catálogo del fabricante, que se ajusten a las condiciones establecidas. De acuerdo con esto, ya elegido el modelo de la bomba a usar, se procede a establecer el modo de regulación que mejor se ajuste a las condiciones del sistema de abastecimiento, es decir a la curva consigna que se muestra en la Figura 7. Teniendo clara la bomba a emplear, se dirigió a la tabla de diámetro y ancho de la rueda que será la encargada del accionamiento de todo el sistema.

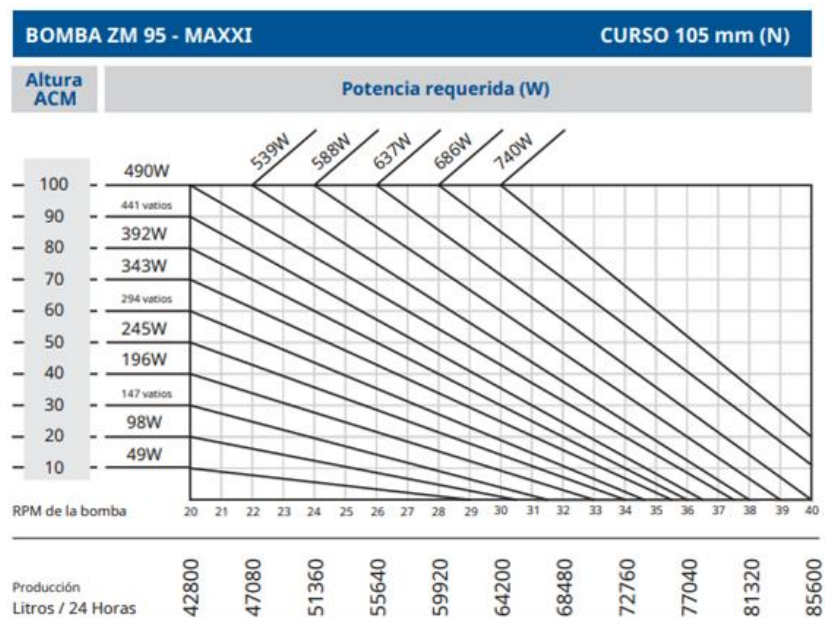


Figura 7. Curva consigna de bomba ZM 95 MAXXI. (HIDROMETALURGIAZMLimitado)

Posteriormente con la ayuda de los programas anteriormente mencionados, se procedió con la elaboración del plano de trazado de la tubería de descarga (línea de conducción), con la finalidad de conocer por donde se llevará la línea de conducción y su longitud exacta, que será importante tener claro a la hora de realizar los cálculos, la instalación y la elaboración del presupuesto. Para finalizar con las labores de oficina, se hizo contacto con distintos

proveedores de la empresa huésped para la realización del presupuesto que se dividió en seis capítulos, levantamiento Aero fotogramétrico, adecuación del terreno, placa de concreto, red hidráulica, sistema de bombeo y costos indirectos.

Diseño, selección y montaje del conjunto con accesorios

Para iniciar con la instalación del sistema se seleccionó un lugar que fuera de fácil acceso, fácil captación de agua sobre la rueda y de fácil succión de agua a ser bombeada, se debió adecuar el terreno, haciendo una limpieza del lugar, removiendo todo tipo de vegetación y escombros que podrían interferir en la instalación y en el funcionamiento del sistema. Posteriormente fue necesario la construcción de una placa de concreto para el soporte de todo el montaje. La Norma ACI351.3R-04 “Foundations for Dynamic Equipment”, establece tipos de cimentaciones para maquinarias. En el caso de la aplicación actual, el tipo de estructura más adecuado es la cimentación tipo bloque, (Arias, Olaya, & Ardila, 2021). El criterio utilizado para el dimensionamiento de la placa de hormigón es de la relación de masas, el cual indica que se propone una cimentación cuyo peso sea de 3 a 5 veces el peso de la maquinaria, (José Roberto, 2013) . La placa fue hecha en función de las dimensiones y el peso de la bomba que es de unos 300kg, para nuestro caso la placa es de 3m x 3m con un espesor de 10cm, que sería el equivalente a un volumen de 0,9 m³ de concreto y tendría un peso aproximado de 2100kg. Una vez curado el concreto se fijó el caballete sobre la base de albañilería, la bomba sobre el caballete y finalmente la rueda sobre el eje de la bomba, Figura 8.

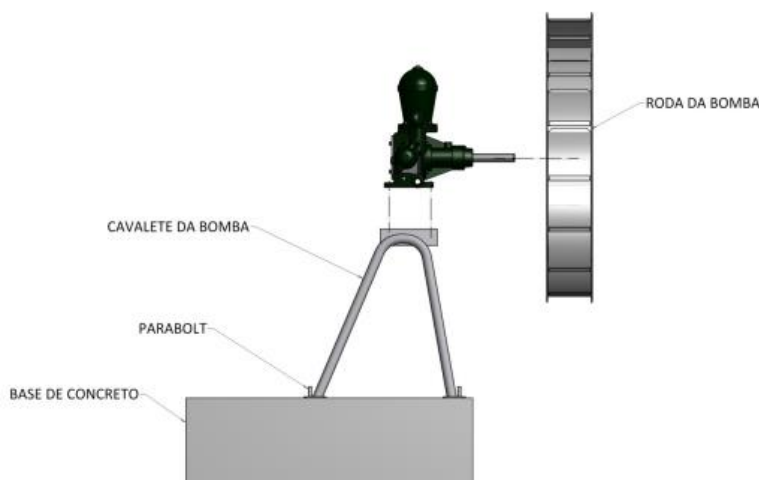


Figura 8. Recomendaciones básicas para el montaje del conjunto de bomba hidráulica ZM®.

Sistema de captación y succión de agua

Para el sistema de captación se colocó una manguera que lleva por gravedad el agua de la presa a un depósito, en este caso un tambor plástico de una capacidad de 200 litros, ya que es la cantidad mínima requerida para un funcionamiento de succión adecuado. Como el agua a ser captada se encuentra por encima del nivel de la bomba, el tambor plástico se

instaló a unos 50 cm aproximadamente por debajo del nivel de la bomba. Unas de las consideraciones que se tuvieron en este punto fue la instalación de una malla a la entrada de la manguera de captación y de la tubería que descarga el agua para el accionamiento de la rueda, debido a que la presa presenta un alto contenido de algas y demás materiales en suspensión. Esto, a miras de entregar una mejor calidad de agua al sistema y evitar taponamientos que pudieran perjudicar el funcionamiento y la vida útil del mismo.

Sistema de accionamiento de la rueda

Para obtener un mayor potencial hidraulico fue necesario efectuar el sistema de alimentación de la rueda observando algunos puntos fundamentales, como puede apreciarse en la Figura 9: (1) Que la tubería de suministro o descarga de agua quedará situada aproximadamente a 10 cm por encima de la rueda y (2) el posicionamiento del tubo hasta, aproximadamente, el centro de la rueda, (3) con una inclinación aproximada de 3 a 5% de la longitud. (4) y que la distancia de la rueda hasta la placa de concreto fuera de 10 cm aproximadamente.

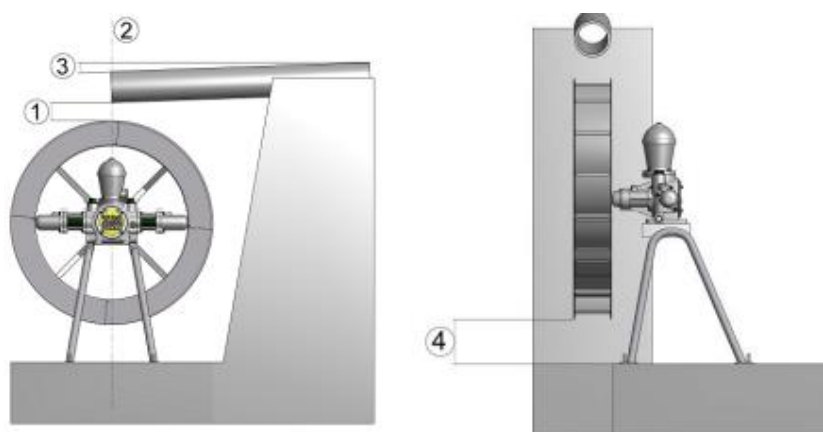


Figura 9. Sistema de accionamiento bomba ZM.

Sistema de represión

Para la instalación de la tubería de descarga se fijó la bomba con la salida hacia donde se colocó la tubería, adicional se instaló un manómetro, una válvula de bola y una válvula de retención (válvula check) al inicio de la tubería de descarga, teniendo como finalidad este último accesorio de retener el agua que está en la tubería para evitar un giro contrario de las hélices cuando no esté funcionando o se requiera hacer algún tipo de mantenimiento.

Como se determinó que la línea de descarga es de manguera de polietileno, se utilizó un diámetro mayor al arrojado en los cálculos (ver en resultados) al inicio de la tubería, en función a las enmiendas internas de la manguera que son de menor diámetro.

Una vez puesta la manguera hasta el reservorio se verificó por medio de aforo que el caudal a ser bombeado llegará hasta su destino, comprobado lo anterior se detuvo el sistema para finalizar el proceso de instalación enterrando la manguera de conducción a unos 30cm de profundidad aproximadamente, para que esta no intervenga con las labores agrícolas.

Puesta en marcha

Previo a la puesta punto del sistema, se hizo el cebado de la bomba que consistió en introducir agua por la válvula de purga con el objetivo de sacar el aire en el interior de la bomba y de la línea de succión para una mejor eficacia al momento bombear el agua y evitar la cavitación. Seguidamente se verificó que la línea de captación no tuviera taponamiento debido a los materiales en suspensión y algas presentes en la presa y que el depósito de agua (tambor plástico) se encontrará al nivel requerido para un óptimo funcionamiento de succión.

Una vez realizado lo anterior se puso en marcha el sistema dejando caer agua por la tubería de descarga encargada del accionamiento de la rueda de la bomba, constatando que la tasa de flujo que manejaba fuera la especificada en el manual de 55 L/s por medio de aforo, posteriormente se confirmó que la rueda girará a 33 revoluciones por minuto (rpm) y se finalizó comprobando el caudal entregado al reservorio por la línea de conducción, siendo éste de 0,81 L/s hallado mediante aforo volumétrico, el necesario para cumplir con los requerimientos hechos por el propietario de 70 m³/día.

Comparación de alternativas para validación del diseño

Para la elección del mejor sistema de bombeo mediante la comparación entre la bomba hidráulica y una electrobomba como alternativa convencional económica en inversión inicial, se utilizó una escala de valoración comparativa de 1 a 5 que permitió analizar los detalles de los sistemas de uno respecto al otro, como se muestra en la Tabla 2; donde, 1 representa una valoración muy baja, 2 bajo, 3 moderado, 4 alto y 5 puntaje muy alto e ideal.

Tabla 2. Valoración comparativa

Parámetros	Bomba ZM 95 Maxxi	Electrobomba periférica	Puntaje ideal
Capacidad requerida	4	3	5
Facilidad de instalación	2	4	5
Mantenimiento	4	3	5
Facilidad de operación	4	3	5
Costos	5	2	5
No usa energía eléctrica o combustibles	5	2	5
Vida útil	4	2	5
Suma total	28	19	35
Porcentaje	93,3%	63,3%	100%

Después de comparar los dos métodos de bombeo se pudo observar que la alternativa de la bomba ZM 95 Maxxi es la más viable respecto a la mayoría de los parámetros tenidos en cuenta, dando un 93,3% de puntaje sobre el ideal del 100%. Cabe destacar que, aunque los costos de la bomba a seleccionar son muy elevados a corto plazo en comparación al otro método de bombeo, a largo plazo se compensaría con la poca mano de obra requerida para su operación, y con el no uso de algún tipo de energía o combustible para su funcionamiento, debido a que aprovecha la energía renovable disponible en el lugar.

Capacitación

Para la capacitación se citó al dueño del predio y los mayordomos de la finca quienes serán los encargados de operar el sistema, dándoles a conocer cómo se compone el sistema y el funcionamiento de este, poniendo en conocimiento algunas precauciones que se deben tener en cuenta a la hora de poner en marcha la bomba, detenerla cuando el reservorio se encuentre lleno e incluso cuando se requiera hacer algún tipo de mantenimiento. También se les facilitó un manual de la bomba ZM 95 MAXXI donde encontrarán las respectivas características, despiece y el respectivo mantenimiento que se le debe realizar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cálculos para selección de la bomba

Definición de la necesidad. Según se describió en la sección anterior, se determinó que se requería una tasa de flujo de agua de 70.000 litros/día, desde la represa hasta el reservorio con una diferencia de altura vertical de 22 metros y una longitud del tubo de represión estimada en 688 metros. En base a los datos anteriores se dimensionan: el diámetro de la tubería, las pérdidas y la altura máxima de descarga.

1. Selección del diámetro de la tubería: Se consideró el flujo deseado, así:

$$70000 \text{ l/día} = 2916,6 \text{ l/hora} = 2,916 \text{ m}^3/\text{hora}$$

De la tabla de pérdidas de carga que se muestra en la Tabla 5, se establece que, para un caudal mínimo de 2,916 m³/h, aproximado a 3 m³/h, resulta apropiado seleccionar un diámetro de tubería de 1 ½", dado que las pérdidas pueden equivaler al 1,5 % de la longitud de tubería de plástico a través de la cual se conduce el fluido, lo cual se consideró pertinente.

Tabla 3. Cuadro de pérdidas de carga en 100 m de tubería.

TASA DE FLUJO	CARGA EN 100 m F3/4"		CARGA EN 100 m F1"		CARGA EN 100 m F1.1/4"		CARGA EN 100 m F1.1/2"		CARGA EN 100 m F2"		CARGA EN 100 m F2.1/2"		CARGA EN 100 m F3"		CARGA EN 100 m F4"		CARGA EN 100 m F5"	
METRO	3/4"	F3/4"	1"	F1"	1.1/4"	F1.1/4"	1.1/2"	F1.1/2"	2"	F2"	2.1/2"	F2.1/2"	3"	F3"	4"	F4"	5"	F5"
0.5	1.72	2.00	0.60	0.70	0.18	0.20												
1.0	5.79	7.50	2.00	2.70	0.62	0.75	0.20	0.22	0.07	0.08								
1.5	11.80	16.00	4.00	6.00	1.25	1.60	0.45	0.50	0.15	0.17								
2.0	19.50	27.00	6.80	10.00	2.10	2.70	0.70	0.80	0.25	0.28	0.06	0.07						
2.5	28.80	35.00	10.00	16.00	3.10	4.50	1.10	1.40	0.37	0.40	0.09	0.12						
3.0	39.60	58.00	13.70	21.50	4.20	6.00	1.50	1.80	0.50	0.60	0.13	0.16	0.04	0.05				
3.5	52.00	80.00	18.00	26.00	5.50	8.00	1.95	2.40	0.68	0.80	0.17	0.22	0.07	0.08				
4.0	65.50	100.00	22.70	37.00	7.00	10.00	2.50	3.00	0.85	1.05	0.21	0.27	0.09	0.10				
4.5	80.50		27.90	45.00	8.60	12.00	3.00	3.70	1.00	1.30	0.26	0.32	0.11	0.12				
5.0	97.00		33.50	55.00	10.40	15.50	3.60	4.70	1.25	1.60	0.31	0.42	0.13	0.15				

2. Cálculo de la cabeza de carga: Se considero la cabeza pérdida, así:

$$\frac{688 \text{ m}(1,5)}{100} = 10,32 \text{ m}$$

Entonces, la altura total de cabeza en metros de columna de agua (MCA) se calcula como la suma de la altura de desnivel vertical más la pérdida de carga, así:

$$22\text{m} + 10,32 \text{ m} = 32,32 \text{ m}$$

- Selección del modelo de la bomba: Se verificaron los datos de las curvas características en el catálogo y, tal como se mencionó en la sección anterior (Figura 7), se consideró apropiada la bomba ZM95 (N) configurada con un curso de 105 mm para una Altura MCA(metros columna de agua) de 32,32 metros y una producción de 70000 litros/24 h, tal que, como puede apreciarse en la Figura 10, requerirá una potencia aproximada entre 539 a 588W proveniente de su rueda motriz, girando a unas 33 revoluciones por minuto.

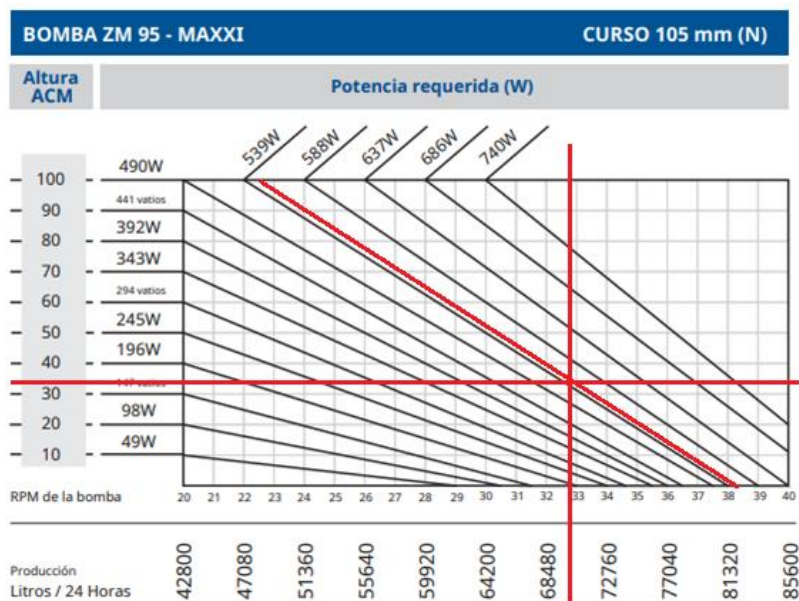


Figura 10. Curva característica de bomba ZM 95 MAXXI

- Selección de la rueda motriz: El modelo de la rueda fue determinado por la potencia requerida máxima de 588W. Lo que a su vez dependerá del caudal del agua disponible para la rueda que, como se describió en la sección anterior según aforo, es de 55 l/s. En este caso, con una rueda de 2 metros de diámetro con 0,35 m de ancho se podría disponer de una potencia útil de 593 W con el caudal disponible en la salida de la represa, esto puede apreciarse en la Tabla 4.

Tabla 4. Tabla de selección de diámetro de rueda.

TASA DE FLUJO L/S	DIÁMETRO RUEDA (M)						Ancho de la Rueda (cm)
	2.00	1.80	1.50	1.40	1.26	1.00	
	POTENCIA ÚTIL (WATTS)						
70.00	755	686	583	549	500	412	35
67.5	728	662	563	529	483	397	
65,0	700	637	542	510	165	382	
62.5	674	613	521	490	447	368	
60.0	647	588	500	471	429	353	
57.5	620	564	480	451	411	338	
55,0	593	539	458	431	394	323	
52.5	566	515	435	412	376	309	
50.0	539	490	415	392	358	294	
47.5	512	466	396	272	340	279	
45,0	485	441	378	253	322	264	
42.5	458	417	361	333	304	250	
40,0	431	392	333	314	286	235	
37.5	404	368	312	294	268	220	
35,0	377	343	292	274	250	206	
32.5	350	318	272	255	234	191	

Trazado de tubería de descarga

Una vez hecho el levantamiento topográfico, se identificó que, el perfil longitudinal que va desde la presa al reservorio tiene una diferencia de altura de 22 metros y una distancia de 652 metros, Figura 11. Pero, al momento de realizar el trazado por donde pasara la línea de conducción dio una distancia de 688 metros en consecuencia a los obstáculos presentes en campo, como, la frondosa vegetación y las propiedades del terreno, como se ha reportado anteriormente y se aprecia en la Figura 12, valor que fue tomado en cuenta a la hora de hacer los cálculos y el presupuesto.

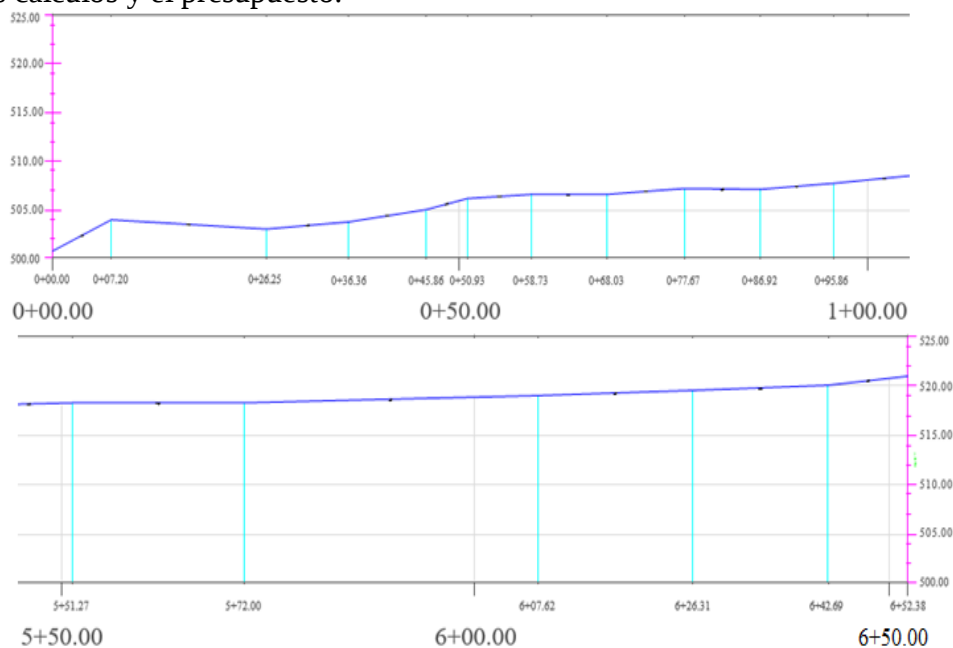


Figura 11. Perfil longitudinal del terreno.(tramo de 0 a 100 m y de 550 a 652 m)



Figura 12. Línea de conducción desde la presa al reservorio.

Presupuesto para instalación de bomba hidráulica ZM

Como se muestra en la Tabla 5, el presupuesto se encuentra seccionado en cinco capítulos, que corresponden a cada una de las actividades que se debían realizar en su respectivo orden, y para estimar el costo de todo el montaje se tomaron en cuenta los costos de los equipos, materiales y de mano de obra que se requerirían para ejecutar cada una de ellas.

Tabla 5. Presupuesto para la instalación de la bomba hidráulica ZM

 PRESUPUESTO TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA INSTALACIÓN DE BOMBA HIDRAULICA ZM						
ITEM	ACTIVIDADES / CAPITULO	UN	CANT	V. Unitario	V. Total	V. Capitulo
1	LEVANTAMIENTO AEROFOTOGRAFETRICO					
1,1	Levantamiento topográfico mediante Drone	Ha	71	\$ 50.000	\$ 3.550.000	
1,2						
	SUBTOTAL				\$ 3.550.000	
2	ADECUACIÓN DE TERRENO	UN	CANT	V. Unitario	V. Total	V. Capitulo
2,1	Limpieza y nivelación de terreno.	m2	16,0	\$ 5.308	\$ 84.928	
	SUBTOTAL				\$ 84.928	
3	PLACA DE CONCRETO	UN	CANT	V. Unitario	V. Total	V. Capitulo
3,1	Arena	m3	0,588	\$ 95.019	\$ 55.871	
3,2	Cemento	m3	367,5	\$ 615	\$ 226.012,50	
3,3	Triurado	m3	0,882	\$ 150.500	\$ 132.741,00	
3,4	Mano de obra placa de concreto	gbl	0,48	\$ 413.000	\$ 198.240,00	
	SUBTOTAL				\$ 612.865	
4	RED HIDRAULICA	UN	CANT	V. Unitario	V. Total	V. Capitulo
4,1	Rollo de manguera polietileno de 90 mts	Rollo	8,0	\$ 150.000	\$ 1.200.000,00	
4,2	Mano de obra de excavación (20 x50 cm) e instalación	ml	700	\$ 2.500	\$ 1.750.000,00	
4,3					\$ -	
	SUBTOTAL				\$ 2.950.000	
5	SISTEMA DE BOMBEO	UN	CANT	V. Unitario	V. Total	V. Capitulo
5,1	Bomba	und	1	\$ 16.850.000	\$ 16.850.000	
5,2	Rueda	und	1	\$ 6.800.000	\$ 6.800.000	
5,3	Manometro	und	1	\$ 35.000	\$ 35.000	
5,4	Llaves de paso	und	1	\$ 65.000	\$ 65.000	
5,5	Valvula de pie	und	1	\$ 22.500	\$ 22.500	
5,6	Abrazaderas	und	1	\$ 3.500	\$ 3.500	
5,7	Acople rápido	und	1	\$ 18.000	\$ 18.000	
5,8	Macho PVC 1.1/2"	und	1	\$ 3.300	\$ 3.300	
5,9	Codo PVC 1.1/2"	und	1	\$ 5.700	\$ 5.700	
6	Tubo PVC 1.1/2"	und	1	\$ 53.500	\$ 53.500	
6,1	Tee Galvanizado de 1.1/2"	und	2	\$ 11.500	\$ 23.000	
6,2	Buje reductor galvanizado de 1.1/2 x 3/4	und	1	\$ 5.000	\$ 5.000	
6,3	Llave de paso galvanizada	und	1	\$ 12.600	\$ 12.600	
6,4	Valvula Check cobre	und	1	\$ 25.000	\$ 25.000	
6,5	Tubería aguas negras 10 in	und	1	\$ 350.000	\$ 350.000	
6,6	Tanque de 200 litros	und	1	\$ 195.000	\$ 195.000	
	SUBTOTAL				\$ 24.467.100	
6	SUBTOTAL COSTO DIRECTO					\$ 31.664.893
7	TOTAL COSTO DIRECTO					
	DIRECCIÓN OBRA -A.L.U.					
	ADMINISTRACIÓN	5%			\$ 1.583.245	
	IMPREVISTOS	5%			\$ 1.583.245	
	UTILIDAD	10%			\$ 3.166.489	\$ 6.332.979
	IVA 19% SOBRE UTILIDAD		20%		\$ 601.633	
	TOTAL PESOS MONEDA L.COLOMBIANA			\$		38.599.504

Capítulo 1: hace referencia al levantamiento aerofotogrametrico, estudio topográfico a realizarse por medio de dron, hecho con el objeto de obtener toda la información del terreno en cuanto a su caracterización; limites, cerramientos, distribución, vías de acceso, áreas, curvas de nivel, etc.

Capítulo 2: adecuación del terreno, se realizarán dos actividades correspondientes a la limpieza y nivelación del terreno, donde se removerá toda la vegetación y escombros alrededor de la zona de instalación de la bomba, y se nivelará el suelo debido a las irregularidades que presenta.

Capítulo 3: placa de concreto, se desglosa con el uso de arena, cemento y triturado, además de la mano de obra, calculados para la fundición de una placa con dimensiones de 3x3 metros con 10 cm de espesor.

Capítulo 4: red hidráulica, se utilizarán rollos de manguera de polietileno de 1½” con una longitud de 90 metros. Para este capítulo se tuvo en cuenta un ítem de mano de obra que hace referencia a la excavación e instalación manual de la manguera sobre una hendidura de 20 cm de ancho por 50 cm de profundidad, con una longitud de 688 metros.

Capítulo 5: sistema de bombeo, es esta sección se tuvo en cuenta todos los accesorios que derivan de la bomba hacia la tubería de succión y conducción (manómetro, llave de paso, válvula de pie, abrazaderas, acople rápido, macho pvc 1½”, codo 1½”, tubo de 1½”, tee galvanizado de 1½”, buje reductor galvanizado, llave de paso galvanizada, válvula check, tubería de aguas negras de 10”), teniendo en cuenta, además, los precios de la bomba, rueda y del tambor plástico.

A esto, también se le agregó un apartado dedicado a los costos indirectos, correspondientes a los gastos administrativos (5%), imprevistos (5%) y de utilidad (10%), (AIU), dando como resultado un costo total de \$38’599.504 de la ejecución de todo el proyecto.

Comparación tecno-económica

En la Tabla 6, se presenta el modelo de bomba hidráulica marca ZM Maxxi que fue seleccionado en este proyecto, como se mostrará más adelante, con su caracterización. En la Tabla 7, se presenta el modelo de la electrobomba de la marca Pedrollo, equiparable a la bomba ZM Maxxi seleccionada en este proyecto, y sus especificaciones.

Tabla 6. Características Bomba hidráulica ZM 95Maxxi

Modelo	ZM 95 Maxxi
Altura manométrica max.	130 m
Capacidad altura max.	85600 L/día
Altura manométrica min.	10 m
Capacidad altura min.	42800 L/día
Temperatura	0-60°C
Vida útil	30 años

Tabla 7. Características Electrobomba Pedrollo PQ3000

Modelo	PQ3000
Potencia	3 Hp
Tensión	220 V
Consumo	14,2 Amp

Frecuencia	60 Hz
Altura manométrica max.	180 m
Capacidad altura max.	7200 L/día
Altura manométrica min.	0-50 m
Capacidad altura min.	72000 L/día
Temperatura	0-90°C
Vida útil	20 años

En la Tabla 8, se realiza una comparación de costos entre las dos posibles alternativas de bombeo a implementar, Bomba ZM 95 Maxxi y Electrobomba Pedrollo PQ3000, para evaluar económicamente los costos de los equipos, se tuvo en cuenta la instalación de la red hidráulica, construcción de la cimentación y mano de obra; para la bomba Pedrollo se hizo necesario la suma del costo de llevar la energía hasta la presa, donde se tomó en cuenta el montaje de postes, el trenzado (cableado), el herraje y medidor (contador). Como se puede inferir, el consumo de energía eléctrica es uno de los puntos de partida para la elección de la alternativa, y en la tabla a continuación se puede notar una gran diferencia en el costo de los equipos, pero que, cuando se presenta el gasto anual por operación de la bomba ZM, este es mucho menor que el de la electrobomba, logrando deducir que a largo plazo el retorno de inversión se da debido al ahorro en el consumo de energía eléctrica.

Además de los costos de toda la instalación de cada una de las bombas, los costos del mantenimiento preventivo, en el caso de la bomba ZM, los costos de mantenimiento preventivo corresponden al cambio de aceite, sustitución de los empaques, lubricación de rodamientos y limpiezas de las válvulas. Para la bomba Pedrollo, el costo de mantenimiento hace referencia a la sustitución y lubricación de empaques o sello mecánico, lubricación de rodamientos y mano de obra. Asimismo, la depreciación de cada una de ellas anualmente, fueron tomadas en cuenta al momento de la selección. Para la depreciación anual, se utilizó la ecuación de depreciación lineal:

$$Da = Vi/Vu$$

Da: depreciación anual

Vi: valor inicial del equipo

Vu: vida útil en años

Tabla 8. Comparación económica de los sistemas de bombeo

Alternativa de bombeo	Costo del equipo	Costo de instalación	Costo consumo eléctrico anual	Mantenimiento Preventivo anual	Depreciación anual
Bomba ZM 95 Maxxi	\$23'650.000	\$14'949.504	\$ 0	\$430.000	\$788.333,3
Electrobomba Pedrollo PQ3000	\$2'900.000	\$20'500.000	\$12'146.112	\$300.000	\$145.000

Para los costos de mantenimiento de las bombas se consideraron tareas básicas de limpieza, lubricación, ajustes e inspección visual con el propósito de evitar o mitigar las

consecuencias de los fallos de los equipos, logrando prevenir las incidencias antes de que estas ocurran. En el caso de la bomba ZM, los costos de mantenimiento preventivo corresponden al cambio de aceite, sustitución de los empaques, lubricación de rodamientos y limpiezas de las válvulas. Para la bomba Pedrollo, el costo de mantenimiento hace referencia a la sustitución y lubricación de empaques o sello mecánico, lubricación de rodamientos y mano de obra. Según recomendaciones dadas por los distribuidores es necesario realizar mantenimiento cada 6 meses para cada una de las bombas y así mantener la conservación de los equipos garantizando un buen funcionamiento y fiabilidad, además de evitar costos de acciones correctivas.

Instalación del sistema de bombeo hidráulico

Montaje del conjunto

Para el montaje de la bomba se tuvieron en cuenta varios aspectos para un funcionamiento sin interrupciones. Se eligió un lugar cercano a la presa de fácil acceso, ver Figura 13(a), donde la vegetación permitiera la operación del equipo y en donde se facilitará la captación del agua que acciona el sistema, dicho montaje puede apreciarse en la Figura 13(b). Una vez realizado el montaje de la bomba, rueda y caballete sobre la base de albañilería que se aprecia en la Figura 12(b), fue necesaria la instalación de barras de acero angulares soldadas sobre el caballete para soportar la tubería de 10" encargada del accionamiento del sistema, ver Figura 14, debido a que la tubería no se podía mantener suspendida en equilibrio por su propio peso y el agua que necesita transportar. Esta tubería se ubicó a 10 cm aproximadamente de la rueda y sobre el eje de ésta con una ligera pendiente, atendiendo las recomendaciones presentadas en la Figura 9, permitiendo con esto la caída de agua por gravedad y garantizando el mayor potencial hidráulico.



Figura 13. (a) Presa de almacenamiento, (b) Montaje del conjunto de la Bomba ZM 95 MAXXI



Figura 14. Tubería de accionamiento del sistema.

Sistema de captación y succión de agua

La captación del sistema está compuesta por: (1) tambor plástico de 200 litros; (2 y 3) válvula de pie roscada con filtro, permite el paso del agua en una dirección, evitando el descebado de la bomba; esta válvula es de bronce garantizando una mayor resistencia a la corrosión y una mayor vida útil; y (4) tubería de alimentación de agua. En la Figura 15 se puede observar el montaje de la succión de agua del sistema de bombeo. En este punto fue necesario hacer uso de una malla que va por encima del tambor plástico, a fin de evitar que los desprendimientos de hojas y ramas cayeran directamente al agua captada y perjudicarán la calidad del flujo a ser succionado. Gracias al nivel de la presa que se encuentra a 2 metros aproximadamente por encima del cuerpo de bomba se garantiza el llenado del tambor plástico alimentado por una tubería por medio de la gravedad, una vez lleno el tambor el agua se desborda cogiendo nuevamente su cauce y se garantiza su nivel.

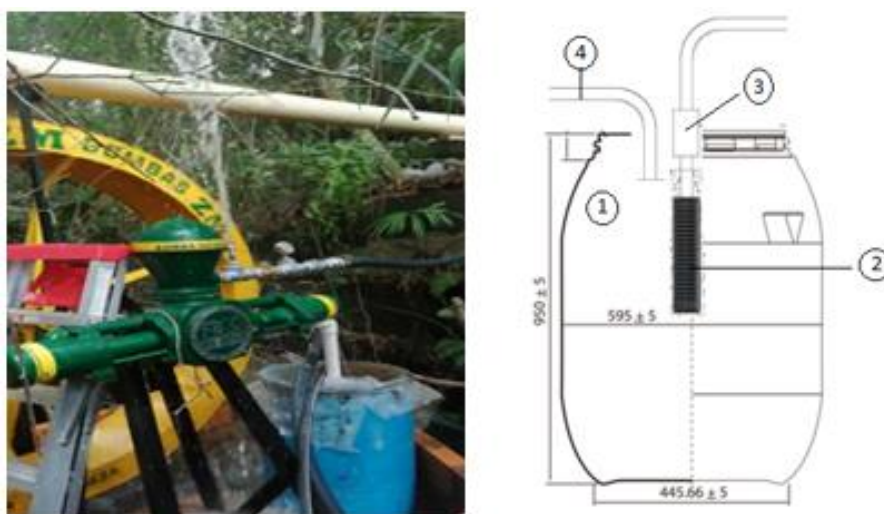


Figura 15. Composición del sistema de captación y succión.

Sistema de represión

Para empezar con la instalación de la tubería o línea de descarga, se tomaron los siguientes accesorios, válvula de bola en latón de 1½", válvula check de cortina en bronce de 1½" y un manómetro de 240 psi horizontal de 1½", se les agregó cinta teflón alrededor del niple de cada uno, para lograr un mejor empalme y evitar fugas de agua, este ensamble se evidencia en la Figura 15. Posteriormente, una vez puestos los accesorios que salen del ariete, se utilizó una manguera de polietileno con un diámetro mayor al obtenido en los cálculos de diseño, siendo éste de un diámetro de 2", con base en las enmiendas internas de la manguera que es de menor diámetro y no permitía el empalme con los accesorios, esta manguera solo fue instalada al inicio en un tramo de 10 m, donde luego por medio de una unión de tubería se redujo el diámetro de la manguera al seleccionado anteriormente en el diseño de 1½".

Puesta en marcha

Terminado todo el proceso de instalación se comprobó que, los datos teóricos que se obtuvieron mediante los cálculos realizados guardarán una relación con los datos obtenidos con la puesta en marcha de la bomba. Para lo anterior se usó el método de aforo volumétrico, procedimiento que se le hizo a la salida de la tubería de descarga (línea de

conducción), y en el que se utilizaron herramientas de medición convencionales como: balde de volumen conocido (10 litros) y un cronometro. En la Tabla 9 se presentan los resultados de los aforos realizados.



Figura 16. Puesta de accesorios de la tubería de descarga

Tabla 9. Tiempo promedio de aforo

Volumen [L]	Tiempo [s]
10	12
10	13
10	13
10	12
10	14
10	12
10	12
10	13
10	12
10	13
Promedio:	12,6

Conocido el volumen y tiempo de llenado del balde se calculó el caudal:

Q: caudal [L/s; m³/h; m³/día]

V: volumen [L; m³]

t: tiempo [s; h; día]

$$Q = V/t$$

$$Q = \frac{10 \text{ L}}{12,6 \text{ s}} = 0,7936 \text{ L/s}$$

$$0,7936 \frac{\text{L}}{\text{s}} = 2857,14 \frac{\text{L}}{\text{h}} = 2,857 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 68,57 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Dando como resultado un caudal promedio de 0,7936 L/s, el equivalente a 68,57 m³/día, siendo este resultado ligeramente menor al exigido por el propietario de 70 m³/día, pero estando dentro de un margen de lo aceptable para poder satisfacer las necesidades de llenado del reservorio para su posterior utilización en el riego para la producción de forraje para ganado, en la Figura 17 se muestra el reservorio mencionado.



Figura 17. Reservorio de descarga

Capacitación

Como la operación del equipo será realizada por los mayordomos y dueños del predio, fue oportuno darles a conocer su funcionamiento y mencionarles algunas de las recomendaciones a tener cuenta al momento de operarla, Figura 18, como:



Figura 18. Presentación de bomba ZM

- Detener la rueda cortando el flujo de la tubería de accionamiento
- Limpiar las entradas de la tubería de accionamiento y de captación antes y durante la puesta en marcha
- Limpiar el tambor plástico o de captación
- Lubricar las piezas de la bomba solamente con vaselina
- Cambiar el aceite de la bomba después de su vida útil (cada 30 días aproximadamente)
- Al efectuar algún tipo de mantenimiento, hacerlo siempre y cuando la bomba no esté en funcionamiento

CONCLUSIONES

El sistema que fue seleccionado es el idóneo para este tipo de trabajo según los resultados obtenidos en los cálculos teóricos y en las pruebas realizadas en campo, donde se comprobó la entrega al reservorio un caudal promedio de 68570 litros por día, cercano a los 70000 litros diarios exigidos por el dueño del predio.

Al realizar el estudio tecno-económico entre las dos alternativas de bombeo, se observó que la bomba ZM 95 Maxxi es la más viable respecto a la mayoría de los criterios tenidos en cuenta, siendo el parámetro de costos del sistema seleccionado muy elevado en comparación a la electrobomba Pedrollo PQ3000, pero que, a mediano plazo se compensaría con el no uso de energía eléctrica.

El costo del consumo de energía eléctrica anual por la electrobomba Pedrollo es de \$12'146.112, lo que nos indica que hay un ahorro anual por este valor del sistema de bombeo seleccionado, ya que solo opera con el recurso hídrico presente en el lugar.

Si en la parte alta de la finca la necesidad hídrica es mayor debido a los diferentes proyectos que se implementarían, gracias a la gran cantidad de agua represada en la finca, se podría aumentar el caudal de accionamiento de la rueda de la bomba que consecuentemente bombearía más agua al reservorio, debido a que, la bomba seleccionada es la de mayor caudal en el mercado y tiene una capacidad de hasta 85600 L/día.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer primeramente a Dios por llenarme siempre de bendiciones y permitirme llegar a este punto de mi vida como profesional. Quisiera dedicar este logro a mi familia que sin lugar a duda han estado conmigo en mi proceso de formación como persona íntegra. También agradecer a la Universidad Surcolombiana porque ayudo en mi formación como estudiante, como persona y profesional. Es necesario mencionar y agradecer a la empresa INSERAGRO, especialmente al ingeniero Jose Miller Sanchez, que nos brindó toda la información técnica y apoyo en la instalación del equipo. Por último, agradecer al Centro Tecnológico de Ingeniería GEOMAAC que me acogió y me dio la oportunidad de aportar mis conocimientos para lograr mis objetivos que era el de convertirme en un ingeniero agrícola.

REFERENCIAS

- (CAM), C. A. (03 de octubre de 2018). Obtenido de https://cam.gov.co/images/Documentos/Recursos_Hidricos/Res_adopcion_PORH/4_RES_3071_03-10-2018_PORH_R.%20Frio_Rivera.pdf
- Arias, L., Olaya, F., & Ardila, J. G. (2021). Caracterización y redimensionamiento de sistema de bombeo de agua para cultivos acuícolas en finca el Rubí en Aipe-Huila. *Revista Ingeniería y Región*, 25, 72. doi: 10.25054/22161325.2780
- Bejarano, J. A. (1998). *ECONOMÍA DE LA AGRICULTURA*. Santafé de Bogotá : TERCER MUNDO S.A.
- Cardenas, M., Echavarría, j. j., Hernández, G., Maiguashca, A., Meisel, A., Ocampo, J., & Zárate, J. (2018). *Coyuntura del sector agropecuario colombiano* .
- FAO. (2013). *CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile.
- Guaña Quilumba, F. R., & Quishpe Sacancela, E. V. (2018). Diseño e implementación de un sistema para impulsar agua desde una vertiente hasta un tanque de distribución a 700 m de distancia mediante un sistema de bombeo. (*Tesis de maestría*). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, Quito.
- Guerrero, N. D. (2007). Metodología para evaluar el impacto de las maquinas. *Revista Ciencias Holguín*, 3-4.
- HIDROMETALURGIAZMLimitado. (s.f.). *ZM BOMBAS*. Maringá, Brasil. Obtenido de www.zmombas.com.br
- Ileri, O., & Koç, A. (12 de Agosto de 2021). Monitoreo del forraje disponible utilizando datos NDVI derivados de Sentinel 2 para la gestión sostenible de pastizales. *Diario de ambientes áridos*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104727>
- Jose Leibovich, L. E. (2008). *Competitividad del sector agropecuario colombiano basado en el estudio: diagnóstico y recomendaciones de política para mejorar la competitividad del sector agropecuario colombiano*. Consejo Privado de Competitividad.
- José Roberto, Z. M. (2013). *Diseño Práctico de Cimentaciones Sujetas a Vibraciones Producida por Maquinaria*. EEUU.
- LUIS OLAYA, J. R. (2019). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA*. BOGOTÁ.
- Murgueitio, E. (2000). Sistemas agroforestales para la producción ganadera en Colombia. *Pastos y Forrajes*, 23(3).
- Palacios, A., Palacios, O., Choix, F., Bedolla-Torres, M. H., Valle, F., López Aguila, D., . . . Ortega, R. (2015). La irrigación con levaduras incrementa el contenido nutricional del forraje verdehidropónico de maíz. *REVISTA ARGENTINA DE MICROBIOLOGÍA*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.04.002>

PORTAFOLIO. (9 de Septiembre de 2020). *PORTAFOLIO.CO*. Obtenido de <https://www.portafolio.co/economia/el-panorama-de-la-agricultura-en-colombia-en-su-dia-internacional-de-la-agricultura-544437>

PUERTA, M. F. (2007). *MAQUINARIA Y MECANIZACION AGRICOLA*.