



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR CARRETE PARA EL CULTIVO DE CAÑA
DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*), EN LA FINCA LA REFORMA No. 2 (AS) DEL
INGENIO MONTE ROSA, UBICADA EN EL MUNICIPIO EL VIEJO DEL
DEPARTAMENTO DE CHINANDEGA.**

Para optar al título de Ingeniero Agrícola

Elaborado por:

Br. Eduardo Antonio Cabrera López

Br. Keylin Verónica Rivera Estrada

Br. Rosa Dalila Blas Calero

Tutor:

Msc. Ing. José Méndez Úbeda

Asesor:

Ing. Héctor Osmany Centeno

Managua, Nicaragua

Marzo de 2020

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a **Dios** por haberme dado la vida, dones y talentos; así mismo, el haber iluminado mi camino para superar obstáculos y dificultades, permitiéndome culminar mi carrera profesional.

A mis padres, **Sr. Rafael Cabrera y Sra. Vilma López**, por todo el esfuerzo, el amor y el apoyo incondicional que me han brindado y sin los cuales no habría podido lograr este triunfo.

Agradezco a mi pastor **Roger David Mendoza**, por todos sus consejos, oraciones y apoyo en general.

A mis Compañeros de clases y amigos quienes, entre alegrías y tristezas, me brindaron el tesoro más valioso que se puede dar a otra persona: la amistad.

A nuestro Asesor **Ing. Héctor Centeno**, por compartir sus conocimientos, y por el apoyo para llevar a cabo este trabajo.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a **Dios**, fuente de inspiración y talentos.

A mis padres, ejemplos a seguir y causa de orgullo personal.

Br. Eduardo Antonio Cabrera López

AGRADECIMIENTO

La magnitud de mi gratitud es inmensa hacia nuestro creador, quien hizo los cielos y la tierra, de todo con lo que pueda contar hasta el día de hoy es gracias a Él.

Humanamente siempre nos encontramos y contamos con seres especiales en nuestras vidas, en especial **Mi madre Silvia Liliana Acuña Reyes**, a quién por fortuna escogí, mi familia “Acuña Reyes”, hermanos quienes en su debido tiempo sembraron en mí pequeñas semillas de amor, humanismo, confianza, principios, valores morales y cristianos, que sin duda donde quiera que vaya me permiten demostrar parte de lo que ellos son, esas semillas que a su debido tiempo dan frutos, son la satisfacción de lo sembrado.

Sin hacer menoscabo de lo fundamental que fue y continúa siendo en este proceso de formación profesional, gracias a mi **Tía Norma Isabel Acuña**, por su apoyo incondicional en estos 5 años de mi vida como universitaria, por acogerme en su familia.

En esta etapa universitaria que estoy por terminar, me permitió descubrir que ella no solo se va para capacitarnos como profesionales, que sin duda cada uno de los docentes con lo que compartimos dejaron huellas en nuestras vidas, también nos da lecciones personales que nos hacen más fuertes y capaces para enfrentar la vida.

A la generación 2014 – 2018, que vivimos situaciones únicas, con fortaleza y debilidades, pero siempre en pie de lucha con un mismo objetivo, el cual muchos ya culminaros, gracias a Dios por eso.

DEDICATORIA

Este logro de vida acá en la tierra, el que Dios me permitió alcanzar, por el amor que atesoro en mi corazón, dedico esta misión culminada, a mi **Tío Elvis Acuña Reyes**, de quien siempre obtuve su confianza, humanismo, amor y una gran lección de vida “**La lealtad te hace familia**”.

Br. Keylin Verónica Rivera Estrada

AGRADECIMIENTO

Un logro más en la vida es gracias al creador del universo **DIOS** por darme la fuerza, concederme la vida y el privilegio de concluir una carrera universitaria, todo ello por su infinito amor.

A mis padres Sr. Orlando Blas y Sra. Flor Martínez por estar siempre a mi lado, brindarme el apoyo y motivación que a diario necesito.

A **ASOCIACIÓN CRISTIANA BETSAIDA** por el apoyo brindado durante todo el proceso de preparación profesional.

A mis familiares y amigos por sus consejos, buenos deseos de superación y compartirme sus conocimientos cuando los necesite.

DEDICATORIA

El presente trabajo monográfico lo dedico primeramente a **Dios** por concederme la sabiduría e inteligencia, también por darme fortalezas en momentos de dificultad y debilidad.

A mis **padres** por su amor, trabajo, sacrificio, apoyo incondicional durante todos estos años y sus valores y principios.

Br. Rosa Dalila Blas Calero

RESUMEN

El Diseño de este proyecto se realizó en la finca La Reforma N°2 (AS) propiedad del Ingenio Monte Rosa en el cultivo de caña de azúcar, ubicada en el departamento de Chinandega, municipio de El viejo, comunidad La Reforma con el principal objetivo de diseñar un sistema de riego por carrete.

Se utilizaron los Software ArcGIS y AutoCAD, con la correcta integración de los datos del levantamiento topográfico para realizar el diseño de la finca, a esta se le definieron 3 lotes, los caminos secundarios, calles de los carretes, canal de drenaje ubicados en puntos estratégicos, el área agrícola útil, obteniendo un diseño de finca más eficiente y productiva. Por lo tanto se concluye que con 6 carretes marca BAUER modelo TS 42, con una velocidad de retracción de 26 m/h, se podrá suministrar una lámina de 25 mm para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo de 5mm/d, con una frecuencia de aplicación de 5 días, con un caudal de bombeo de 1300 galones por minuto(gpm) utilizando una bomba centrífuga marca CORNELL con una eficiencia del 76% impulsada por un motor diésel de 6 cilindros marca JHON DEERE con una potencia de 130 Hp y una inversión por hectárea de 1,784.76 dólares.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	- 1 -
II.	ANTECEDENTES.....	- 3 -
III.	JUSTIFICACIÓN.....	- 4 -
IV.	OBJETIVOS.....	- 5 -
4.1.	Objetivo General	- 5 -
4.2.	Objetivos Especificos	- 5 -
V.	MARCO TEÓRICO	- 6 -
5.1.	RIEGO POR ASPERSIÓN	- 6 -
5.2.	CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN.....	- 6 -
5.2.1.	Sistemas de desplazamiento continuo	- 7 -
5.3.	RIEGO POR CARRETE	- 8 -
5.3.1.	Funcionamiento y características	- 8 -
5.3.2.	Partes del carrete.....	- 10 -
5.3.3.	Ventajas y desventajas del riego por carrete	- 12 -
5.4.	PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE FINCAS CAÑERAS	- 13 -
5.4.1.	Topografía.....	- 13 -
5.4.2.	Dirección de surcos.....	- 13 -
5.4.3.	Caminos o accesos principales y secundarios	- 13 -
5.4.4.	Diseño del riego y drenajes	- 14 -
5.4.5.	Área productiva e improductiva	- 14 -
5.5.	DISEÑO AGRONÓMICO	- 15 -
5.5.1.	Textura.....	- 15 -
5.5.2.	Evapotranspiración.....	- 15 -
5.5.3.	Evapotranspiración del cultivo (Etc)	- 15 -
5.5.4.	Capacidad de campo (CC).....	- 16 -
5.5.5.	Punto de marchites permanente (PMP).....	- 16 -
5.5.6.	Densidad aparente.....	- 16 -
5.5.7.	Velocidad de infiltración.....	- 17 -
5.5.8.	Lámina de agua aprovechable (LARA).....	- 17 -
5.5.9.	Coeficiente de cultivo (Kc).....	- 17 -
5.5.10.	Frecuencia de riego	- 18 -
5.6.	DISEÑO HIDRÁULICO.....	- 18 -
5.6.1.	Sistema de bombeo	- 18 -
5.6.2.	Caudal.....	- 18 -
5.6.3.	Presión.....	- 19 -

5.6.4.	Pérdidas de carga hidráulica	- 19 -
5.6.5.	Carga total dinámica (ctd)	- 20 -
5.6.6.	Velocidades permisibles.....	- 21 -
5.6.7.	Red de tuberías.....	- 21 -
5.6.8.	Selección de bomba.....	- 22 -
5.6.9.	Potencia de la bomba.....	- 22 -
VI.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	- 23 -
6.1.	UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	- 23 -
6.2.	CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y CLIMÁTICA DE LA ZONA DE ESTUDIO - 25 -	
6.2.1.	Fisiografía	- 25 -
6.2.2.	Edafología.....	- 25 -
6.2.3.	Hidrología.....	- 25 -
6.2.4.	Climatología	- 26 -
6.3.	METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE FINCA.....	- 26 -
6.3.1.	Visita de reconocimiento a la finca	- 26 -
6.3.2.	Levantamiento planimétrico y altimétrico.....	- 29 -
6.3.3.	Curvas de nivel	- 29 -
6.3.4.	Dirección de surcos o sentido de siembra	- 29 -
6.3.5.	Camino secundarios y Calles de carrete	- 29 -
6.3.6.	Lotes	- 29 -
6.3.7.	Números de Giros	- 29 -
6.3.8.	Cálculo del área productiva e improductiva	- 30 -
6.4.	METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO AGRONÓMICO	- 30 -
6.4.1.	Muestreo de suelos.....	- 30 -
6.4.2.	Determinación de la textura (método del hidrómetro de bouyoucos) ...	- 31 -
6.4.3.	Cálculo de la densidad aparente (Da) por el método del cilindro.....	- 32 -
6.4.4.	Cálculo de la densidad real (Dr) por el método del picnómetro.....	- 32 -
6.4.5.	Cálculo de la porosidad total de los suelos en porcentaje	- 33 -
6.4.6.	Tipo de suelo.....	- 34 -
6.4.7.	Velocidad de infiltración.....	- 34 -
6.4.8.	Necesidades hídricas del cultivo	- 34 -
6.4.9.	Cálculos agronómicos para carrete	- 37 -
6.5.	METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA	- 39 -
6.5.1.	Fuente de abastecimiento	- 39 -
6.5.2.	Diseño geométrico	- 39 -
6.5.3.	Calidad de lluvia del aspersor	- 39 -

6.5.4.	Intensidad de aplicación	- 40 -
6.5.5.	Diseños de las tuberías	- 40 -
6.5.6.	Diseño operativo	- 42 -
6.6.	METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE COSTOS	- 43 -
6.6.1.	Cálculo de los costos de tuberías y accesorios PVC	- 43 -
6.6.2.	Cálculo del costo de equipos y accesorios de riego	- 43 -
6.6.3.	Cálculo del costo de mano de obra y maquinaria pesada.....	- 43 -
6.6.4.	Cálculo del costo total del proyecto por hectárea	- 43 -
VII.	ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	- 44 -
7.1.	DISEÑO DE FINCA.....	- 44 -
7.1.1.	Levantamiento planimétrico y altimétrico	- 44 -
7.1.2.	Dirección de surcos o sentido de siembra	- 44 -
7.1.3.	Caminos secundarios.....	- 44 -
7.1.4.	Calles de carrete	- 45 -
7.1.5.	Drenaje	- 45 -
7.1.6.	Lotes	- 45 -
7.1.7.	Número de Giros de la cosechadora	- 45 -
7.1.8.	Cálculo del área productiva e improductiva	- 46 -
7.2.	DISEÑO AGRONÓMICO	- 47 -
7.2.1.	Muestreo de suelos	- 47 -
7.2.2.	Cálculo de la densidad aparente (D_a) por el método del cilindro	- 47 -
7.2.3.	Cálculo de la densidad real de los suelos (D_r) por el método del picnómetro - 48 -	
7.2.4.	Cálculo de la porosidad total de los suelos en porcentaje	- 48 -
7.2.5.	Determinación de textura (método del hidrómetro de bouyoucos).....	- 49 -
7.2.6.	Tipo de suelo.....	- 50 -
7.2.7.	Velocidad de infiltración.....	- 50 -
7.2.8.	Necesidades hídricas del cultivo	- 50 -
7.2.9.	Cálculos agronómicos para carrete	- 56 -
7.3.	DISEÑO HIDRÁULICO.....	- 60 -
7.3.1.	Fuente de abastecimiento	- 60 -
7.3.2.	Diseño geométrico	- 60 -
7.3.3.	Calidad de lluvia del aspersor	- 60 -
7.3.4.	Intensidad de aplicación	- 60 -
7.3.5.	Cálculo de los diámetros de las tuberías	- 61 -
7.3.6.	Evaluación de líneas hidráulicas	- 61 -
7.3.7.	Válvulas ventosas y lavados	- 70 -

7.3.8.	Cavitación	- 70 -
7.3.9.	Carga dinámica de succión (hs)	- 70 -
7.3.10.	Carga estática de impulsión (hi).....	- 71 -
7.3.11.	Carga total dinámica (CTD)	- 72 -
7.3.12.	Potencia de bombeo.....	- 72 -
7.3.13.	Selección de motor y bomba.....	- 72 -
7.4.	DISEÑO OPERATIVO.....	- 73 -
7.5.	CÁLCULO DE LOS COSTOS DE INVERSIÓN DEL PROYECTO	- 74 -
7.5.1.	Costos de tuberías y accesorios.....	- 74 -
7.5.2.	Costo de equipos y accesorios de riego	- 75 -
7.5.3.	Costos de mano de obra y maquinaria	- 76 -
7.5.4.	Costo por hectárea del proyecto.....	- 77 -
VIII.	CONCLUSIONES	- 78 -
IX.	RECOMENDACIONES	- 79 -
X.	Bibliografía.....	- 80 -
XI.	ANEXOS.....	..I

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Clasificación del riego por aspersión	- 6 -
Fig. 2. Riego por pivotes.....	- 7 -
Fig. 3. Riego por carrete tipo enrollador.....	- 7 -
Fig. 4. Carrete marca Bauer, Rainstar T42	- 8 -
Fig. 5. Evapotranspiración del cultivo	- 15 -
Fig. 6. Coeficiente Kc de la Caña de azúcar	- 17 -
Fig. 7. Caudalímetro	- 18 -
Fig. 8. Esquema de altura manométrica total.....	- 21 -
Fig. 9. Macro localización	- 23 -
Fig. 10. Micro localización	- 24 -
Fig. 11. Pista aérea de finca La Reforma.....	- 27 -
Fig. 12. Alcantarilla en trocha cañera	- 27 -
Fig. 13. Camino con material selecto.....	- 28 -
Fig. 14. Canal de drenaje	- 28 -
Fig. 15. Determinación de textura de suelos.....	- 31 -
Fig. 16. Medida de peso de cilindros	- 32 -
Fig. 17. Picnómetro (Lab. Edafología)	- 33 -
Fig. 18. Programa Soil Water Characteristic.....	- 35 -
Fig. 19. Resultados de cálculo de Evapotranspiración.....	- 51 -
Fig. 20. Resultados de CC y PMP	- 53 -
Fig. 21. Evaluación de línea No. 1	- 62 -
Fig. 22. Evaluación de línea No. 2.....	- 64 -
Fig. 23. Evaluación de línea No.3.....	- 66 -
Fig. 24. Evaluación de línea No.4.....	- 68 -
Fig. 26. Lavado.....	- 70 -
Fig. 25 Válvula doble efecto	- 70 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estadística de Lote, Finca "La Reforma No2 (AS).....	- 46 -
Tabla 2. Estadísticas de Finca "La Reforma No2 (AS)"	- 46 -
Tabla 3. Muestreo de suelo	- 47 -
Tabla 4. Resultados de Densidad aparente.....	- 48 -
Tabla 5. Densidad real	- 48 -
Tabla 6. Porosidad total %.....	- 49 -
Tabla 7. Resultados de textura de suelo.....	- 49 -
Tabla 8. Velocidad de infiltración según textura.....	- 50 -
Tabla 9. Evapotranspiración de cultivo (ETc).....	- 51 -
Tabla 10. Resultados del cálculo de necesidades brutas del cultivo.....	- 52 -
Tabla 11. Resultado de CC y PMP	- 54 -
Tabla 12. Resultado de lámina de agua rápidamente aprovechable.....	- 54 -
Tabla 13. Resultados de norma bruta.....	- 55 -
Tabla 14. Carrete de riego BAUER T-42	- 57 -
Tabla 15. Resultados de evaluación de línea 1	- 63 -
Tabla 16. Resultado de evaluación de línea 2	- 65 -
Tabla 17. Resultado de evaluación de línea 3	- 67 -
Tabla 18. Resultados de evaluación de línea 4	- 69 -
Tabla 19. Pérdidas por fricción en tubería de succión	- 71 -
Tabla 20. Áreas regadas por carrete	- 73 -
Tabla 21. Costos de tuberías y accesorios	- 74 -
Tabla 22. Costos de equipos y accesorios de riego.....	- 75 -
Tabla 23. Costos de sarta de descarga	- 75 -
Tabla 24. Costos de mano de obra para instalación.....	- 76 -
Tabla 25. Costos de maquinaria para instalación	- 76 -
Tabla 26. Costo total del proyecto por hectárea	- 77 -

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. MAPA DE ELEVACIÓN DIGITAL.....	I
Anexo B. MAPA DE DISEÑO DE FINCA LA REFORMA No 2 (AS)	II
Anexo C. MAPA DE UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREOS	II
Anexo D. TOMA DE MUESTRAS.....	II
Anexo E. MAPA DE DENSIDAD APARENTE (DA)	II
Anexo F. MAPA DE DENSIDAD REAL (DR)	II
Anexo G. MAPA DE POROSIDAD TOTAL.....	II
Anexo H. MAPA DE TEXTURA DE SUELO	II
Anexo I. MAPA DE TIPO DE SUELO	II
Anexo J. MAPA DE CAPACIDAD DE CAMPO (CC).....	II
Anexo K. MAPA DE PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (PMP).....	II
Anexo L. MAPA DE NORMA BRUTA DE SUELO O LARA	II
Anexo M. DISEÑO GEOMÉTRICO DEL SISTEMA DE RIEGO POR CARRETE.....	II
Anexo N. DISEÑO OPERATIVO DEL SISTEMA DE RIEGO POR CARRETE	II
Anexo O. DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE RIEGO POR CARRETE	II
Anexo P. FICHA TÉCNICA DE OPERACIÓN DEL CARRETE BAUER T 42.....	II
Anexo Q. DATOS TÉCNICOS DE LOS CARRETES BAUER T42.....	II
Anexo R. FICHA TÉCNICA DEL MOTOR JOHN DEERE 6068TF150.....	II
Anexo S. FICHA TÉCNICA DE BOMBA CENTRIFUGA CORNELL 4HC EM	II
Anexo T. CURVA CARACTERÍSTICA DE BOMBA CENTRIFUGA CORNELL 4HC EM ..	II
ANEXO U. ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE PUNTO DE BOMBEO Y SARTA DE DESCARGA.....	II
ANEXO V. PLANO DE INSTALACIÓN DE TOMA Y DESCARGA.....	II
ANEXO W. DETALLE DE DESCARGA DE SISTEMA DE RIEGO POR CARRETE.	II

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático ha provocado largas temporadas de sequía, todo esto ha afectado directamente a los agricultores que dependen únicamente de las lluvias para lograr cosechas exitosas, debido a esta problemática ya no se puede seguir dependiendo totalmente de las lluvias, sino que se debe de explotar el gran potencial de riego que tiene Nicaragua, es por tal motivo que este trabajo trata del diseño de un sistema de riego por carrete aplicado al cultivo de caña de azúcar, un cultivo agroindustrial de mucha importancia en Nicaragua.

La ubicación del proyecto es en el departamento de Chinandega, municipio de El Viejo, comunidad La Reforma, en la finca La Reforma No.2 (AS), esta cuenta con un área de uso agrícola de 100.66 ha (hectáreas) propiedad del Ingenio Monte Rosa del grupo Pantaleón.

El sistema de riego que se diseñó es por medio de carretes o enrolladores los cuales son máquinas autopropulsadas que cuentan con un tambor que enrolla una manguera de polietileno (PE) flexible acoplada a un trineo en el que se coloca un aspersor de largo alcance o cañón.

La fuente de abastecimiento del sistema será un canal el cual transportará agua proveniente del proceso industrial del ingenio Monte Rosa, hasta la finca La Reforma No.2 (AS).

El diseño de riego por carretes comenzó por el diseño de la finca lo cual conllevó un estudio topográfico para poder determinar la dirección de surco más apropiada, así como los accesos o camino principales y secundarios dentro de la finca, además del cálculo del área productiva y la división de lotes.

A través del diseño agronómico se calculó la cantidad de agua que ha de aplicarse al cultivo; así mismo, el tiempo de riego, teniendo en cuenta la evapotranspiración potencial, marco de plantación y tipo de suelo.

Por otra parte, mediante el diseño hidráulico se calculó y dimensionó la red de riego, de tal forma que se puedan cubrir las necesidades de agua al cultivo de manera eficiente y controlada.

Para el cálculo de las presiones adecuadas y de los diámetros de las tuberías se utilizó la ecuación de pérdidas por fricción de Hazen- Williams, esto con el fin de saber cuál es la carga total dinámica y poder calcular la potencia de bombeo del sistema.

Por último, se muestra el cálculo de la inversión inicial del sistema, incluyendo motor, bomba, tuberías, accesorios, así como la mano de obra para la instalación del sistema.

II. ANTECEDENTES

El riego por aspersión con carretes o enrolladores a pesar de ser una tecnología de muchos años y muy popular en Europa, es hasta el año 2014, que está siendo aplicada en gran manera al cultivo de caña de azúcar, siendo el Ingenio Monte Rosa uno de los pioneros al poner a prueba dichas máquinas y obtener buenos resultados.

El Riego por carrete apenas se está empezando a implementar con popularidad en Nicaragua, por lo tanto, no existen diseños o estudios previos de este sistema de riego, como documentación registrada y libre.

Los estudios encontrados relacionados al tema son tesis de graduación de la universidad autónoma de México Antonio narro, uno de estos estudios se titula: “Comparación del cañón viajero contra el cañón estacionario en riego por aspersión” presentada por Abdi Aniel Velázquez en el año 2012 para optar al título “Ingeniero Agrónomo en irrigación”.

Según Velázquez (2012) en los años 1973-1977 el Ingeniero Beinlich asumió la responsabilidad de crear el primer tambor enrollador más contemporáneo eléctrico, el cual fue una nueva forma de impulsar al carrete remolcado por un cable al tambor, posteriormente surge la turbina en el cual pasa una corriente de agua en dirección inversa, impulsado por una bomba centrífuga, tal fue el caso que llevo a las máquinas autopropulsables al mercado extranjero en particular Holanda, Dinamarca, Suecia y Grecia en el cual se obtuvieron buenos resultados con respecto a la eficiencia de la máquina.

Para el año de 1978, mediante la práctica y pruebas del sistema de riego se fueron generando alternativas para mejorar el prototipo y determinar el tamaño del tambor, usando el tubo de polietileno. Posteriormente la asociación de aguas residuales de Wolfsburgo implemento un motor al carrete del tambor y más tarde fue usado en Estados Unidos de América en cultivos de tabaco, maíz y pasto.

III. JUSTIFICACIÓN

Todo sistema de riego tiene la finalidad de compensar las necesidades hídricas de los cultivos en periodo de verano, o cuando se presenta lluvias escasas en la estación de invierno, además, las variaciones climáticas, el incremento de la demanda de agua de calidad para las diferentes actividades humanas y productivas; así como, la necesidad de incrementar la producción agrícola para satisfacer la demanda alimentaria de la población, exigen una especial atención e importancia a cualquier proyecto de riego.

Se eligió el diseño del sistema de riego por carretes debido a las ventajas que este presenta en sus bajos costos de operación, ya que requiere poca mano de obra para su operación, además de su fácil manejo por ser un sistema mecanizado y las desventajas son iguales o a un sistema de aspersión convencional.

Este proyecto nace de la proyección de crecimiento en la capacidad de molienda de caña del ingenio Monte Rosa y así aprovechar el agua efluente de la fábrica para irrigar más hectáreas que las actuales, para esto el ingenio pretende realizar la construcción de varios kilómetros (Km) de conducción por medio de canales para llevar esta agua hasta varias fincas entre ellas la finca “La Reforma No.2 (AS)”, donde se llevará el diseño del sistema de riego por carretes.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

- Diseñar un sistema de riego por carrete para el cultivo de caña de azúcar, en el Ingenio Monte Rosa, considerando los parámetros agronómicos e hidráulicos apropiados para satisfacer las necesidades hídricas de dicho cultivo.

4.2. Objetivos Específicos

- Realizar el diseño de la finca para el cultivo de caña de azúcar, utilizando como base fundamental los datos topográficos, procesados por los Software ArcGIS y AutoCAD, para obtener la correcta integración de los componentes, finca, cultivo y riego.
- Elaborar el diseño agronómico, hidráulico y operativo del sistema de riego por carrete para el cultivo de caña de azúcar, mediante estudios de clima, suelo y cálculos hidráulicos para el dimensionamiento definitivo del sistema de riego.
- Determinar los costos del sistema de riego por carrete en la finca La Reforma, mediante la elaboración de presupuesto y rubros de inversión.

V. MARCO TEÓRICO

5.1. RIEGO POR ASPERSIÓN

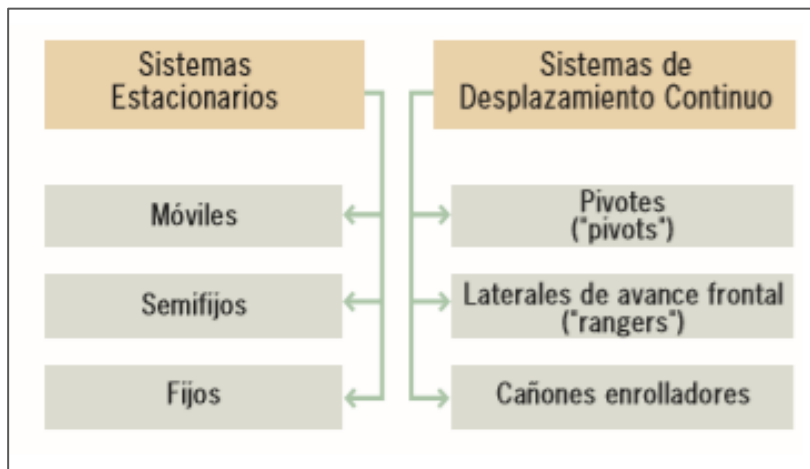
El riego por aspersión es un método mediante el cual el agua se aplica sobre la superficie del suelo en forma de lluvia, utilizando para ello una red de riego que permite conducir el agua con la presión adecuada hasta los elementos encargados de aplicarla, los aspersores. (Fernández Gómez, Rafael, 2010)

Según Sanchez (2012) los sistemas de riego se pueden clasificar en tres principales grupos de métodos para irrigar: 1) Riego por superficie, 2) Riego localizado, 3) Riego por aspersión.

5.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Los sistemas de aspersión suelen clasificarse según el grado de movilidad de los diversos componentes que integran el sistema. De esta manera se facilita la comprensión de su funcionamiento y además se ofrece una mejor idea acerca de los costos necesarios e inversiones a realizar. De forma general los costes de inversión se incrementan y los requerimientos de mano de obra disminuyen a medida que aumenta el número de elementos fijos del sistema.

Fig. 1. Clasificación del riego por aspersión



Fuente: (Fernández Gómez, Rafael, 2010)

5.2.1. Sistemas de desplazamiento continuo

Son aquellos sistemas que se encuentran en movimiento mientras aplican el agua.

a) Pivotes o “pívot”

Son equipos de riegos autopropulsados que están constituidos fundamentalmente por una estructura metálica (ala de riego) que soporta la tubería con los emisores. La máquina gira alrededor de un extremo fijo (punto pivote), por donde recibe el agua y la corriente eléctrica y en donde se sitúan los elementos de control. El ala describe un círculo o sector circular girando alrededor del extremo fijo.

Fig. 2. Riego por pivotes



Fuente: (TRAXCO S.A, 2018)

b) Laterales de avance frontal

Su estructura es semejante a la del sistema “pívot”. Consiste en un ala de riego que se desplaza frontalmente regando superficies de forma rectangular. Uno de los extremos del ala sirve de captación de agua y energía eléctrica, es autopropulsado y provoca el avance del ala de riego.

c) Cañones enrolladores o carretes

Utiliza aspersores de impacto de gran tamaño, denominados “cañones”, que trabajan a altas presiones y mojan grandes superficies de terreno. Van instalados sobre un carro o patín adaptable a distintas anchuras y alturas, según lo requiera el cultivo, y conectado al suministro de agua mediante una manguera.

Fig. 3. Riego por carrete tipo enrollador



Fuente: (Valiente y Barros, 2018)

El equipo siempre riega hacia atrás con respecto al sentido de avance, consiguiéndose de esta manera que se desplace sobre suelo seco.

La modalidad más usada es la de cañones enrolladores, constituidos por un cañón instalado sobre un carro o patín con ruedas arrastrado por la propia manguera, que se enrolla en un tambor accionado por la propia presión del agua. (Fernández Gómez, Rafael, 2010)

5.3. RIEGO POR CARRETE

El carrete es una máquina que se mueve por el campo y facilita el riego de las parcelas, este cuenta con un aspersor móvil que se traslada simulando uniformemente la lluvia natural en las parcelas con características de diseño comúnmente rectangulares, con un largo igual al largo de la manguera y el alcance de cañón emisor.

Fig. 4. Carrete marca Bauer, Rainstar T42



Fuente: (BAUER, s.f.)

Versátil, eficiente y fácil de usar, los carretes de riego usan un tubo de polietileno de media densidad (MDPE, por sus siglas en inglés) con un espesor elevado para obtener una mayor precisión de rebobinado, evitando así la ovalización por curvatura del tubo. (Carrete de Riego, 2017)

5.3.1. Funcionamiento y características

Funcionamiento y características particulares de los carretes:

- Los cañones de riego son máquinas hidráulicas autopropulsadas muy versátiles, y se adaptan fácilmente a cualquier geometría de la parcela a regar.
- La velocidad de enrollado permite la regulación según la lámina deseada y son fácilmente trasladables hasta una nueva posición de riego o hasta una nueva parcela a regar.

- El diámetro de tubería en milímetros oscila de 82 a 160, y la longitud de la manguera de 160 a 500 metros con un caudal de riego de hasta 160 m³/hora, que permite regar por franjas de hasta 125 metros de ancho con y sin programador.
- Gracias a la tecnología, este sistema de carretes, a través de una unidad de control electrónica, puede ser programado y computarizado. Se atienden así las exigencias hídricas en todas las etapas de un cultivo.
- La energía necesaria para el rebobinado del tubo es un elemento determinante en los cañones de riego enrollables. Para ello es fundamental que el conjunto turbo-reductor esté bien diseñado, para ofrecer el máximo rendimiento, que reduzca las pérdidas de presión durante toda la fase de riego, garantizando un consumo de energía menor y por tanto un ahorro de dinero, al mismo tiempo que permita un flujo canalizado sin turbulencias incluso con presiones mínimas de entrada.
- La doble transmisión a través de la corona con movimiento sincronizado proporciona una relación de transmisión muy elevada entre la rueda y el turbo-reductor, reduciendo considerablemente la absorción de la energía necesaria para el rebobinado, así como el momento de torsión del eje de salida del reductor. Todo ello aumenta la durabilidad del carrete de riego.
- La bobina de chapa con el tubo de polietileno enrollado y lleno de agua supone el 80% del peso total de la máquina, y, por lo tanto, los soportes sobre los que gira la bobina están sometidos a una carga muy alta generando una fricción elevada.
- Son muy importantes los soportes de entrada en acero con casquillos de bronce y nylon que no requieren mantenimiento, así como los sellos mecánicos en fundición que reducen la fricción y los casquillos de acero inoxidable que garantizan una gran duración incluso en presencia de líquidos agresivos como el purín.
- Las posibles roturas de la manguera de polietileno con el uso a largo plazo deben repararse con uniones de acero para polietileno, especiales anti-tracción para el tipo de tubo y para el arrastre de tiro que deben soportar.

- Las máquinas grandes deben disponer de estructuras equipadas con pistones hidráulicos de descenso con dos posiciones: sobre ruedas para el desplazamiento o sobre pies de anclaje de apoyo en el suelo para las fases de trabajo que garantice una sólida sujeción, especialmente cuando la tubería es larga y de gran diámetro.
- El programador electrónico que incorpora el carrete de riego es de muy fácil manejo, con pantalla intuitiva, pudiendo pasar del funcionamiento automático al manual sin interrumpir el ciclo de riego de la máquina. Los carros porta-aspersor (con estructura de anchura regulable galvanizada en caliente), de dos o cuatro ruedas, deben garantizar una buena estabilidad y direccionalidad que facilite la fase de rebobinado.
- El aspersor de riego que dispondrá de topes de sectorización y su boquilla, deben seleccionarse con sumo cuidado a partir de la presión disponible, el caudal a aplicar y el alcance deseado.

5.3.2. Partes del carrete

Según TRAXCO (2010) un carrete de riego consta de las siguientes partes:

a) Turbina

Cada cañón enrollador de riego cuenta con una turbina tipo Francis de excelente rendimiento y baja pérdida de presión. Tiene un bypass incorporado, que regula la entrada de agua a la turbina, para así poder variar la velocidad, y un manómetro de acero inoxidable en baño de glicerina para controlar la presión.

b) Unidad de tracción

Junto con la caja reductora en baño de aceite de cuatro o tres velocidades (según el modelo) forman una unidad compacta de tracción eliminando correas y poleas. El mando del carrete se realiza por medio de una robusta corona adosada al mismo y cadena a rodillos reforzada. También cuenta con un gatillo anti-retroceso, desacople automático uniforme en todo el recorrido y dispositivo compensador de velocidad para una aplicación uniforme.

c) Estructura del chasis y carrete

Toda la estructura del enrollador de riego está íntegramente construida con chapa de acero SAE 1020 estampada y con espesores de acuerdo a las necesidades. Bobina soportada por rodamientos de cierre hermético de grandes dimensiones. Manguera de polietileno de alta calidad para resistir fuertes tracciones y máximas presiones de trabajo.

d) Lanza de tiro

De robusta construcción tubular, posee gato mecánico o hidráulico, lo mismo que las ruedas, según los modelos.

e) Patas de apoyo

Todos los equipos poseen también dos pies de anclaje con accionamiento hidráulico, con llave selectora y mangueras con acoples rápidos al tractor.

f) Aro giratorio

Cuentan con un aro giratorio con doble hilera de bolas y de generosas dimensiones entre el chasis y la base de apoyo, en los equipos de tambor con asentamiento, que posibilita un sencillo y fácil cambio de posición.

g) Carrito porta cañón

Íntegramente galvanizado por inmersión en caliente, de dos o cuatro ruedas, que permite variar en ancho en caso de surcos, si los hay. Cuenta con un acople rápido con tapón para un rápido vaciado de la manguera eventualmente.

h) Manguera

Es el conductor del líquido que demanda el cultivo para riego.

i) Aspensor

El aspensor es un cañón sectorial para grandes caudales y máximo rendimiento, de primera marca, e incluye un set de tuberías para los diferentes caudales y radios de alcance, el soporte de ajuste de la cuchara permite establecer la velocidad de rotación según el tamaño de la boquilla y dependiendo de la presión de trabajo.

5.3.3. Ventajas y desventajas del riego por carrete

a) Ventajas

- Existen diversos modelos y marcas de carretes que se adaptan según su uso o de acuerdo al tipo de cultivo.
- Trabaja en terrenos irregulares y ondulados fácilmente.
- Ahorro de la mano de obra.
- Sencillez del diseño.
- Fácil portabilidad.
- Uniformidad de riego en el campo.
- Más del 95% del área agrícola es aprovechable.

b) Ventaja de las mangueras

- Durabilidad. Vida útil de al menos 50 años.
- Resistencia.
- Elevada resistencia mecánica y una alta resistencia a la presión interna. Resistentes a la mayor parte de agentes químicos, a la corrosión y a los ambientes agresivos. Alta resistencia a la intemperie gracias a la protección ante la degradación de los rayos ultravioleta.
- Flexibilidad que facilita su adaptación a terrenos irregulares;
- Elasticidad permite soportar golpes de ariete en comparación con otros materiales rígidos y facilita el bobinado de la tubería sobre el carrete.
- Facilidad de instalación. Se adaptan a terrenos sinuosos, son fáciles de transportar y su manipulación y enrollado sobre el carrete de riego es sencilla al no contar con uniones en grandes longitudes.
- Mínima pérdida de carga. El interior de la tubería es liso, por lo que se minimiza el rozamiento y la creación de depósitos o incrustaciones.
- Normalizadas. Su fabricación está tutelada por las Normas UNE y los certificados de calidad (TRAXCO, 2010).

c) Desventajas

- Inversión inicial elevada.
- Demanda mayor presión en la unidad de bombeo.

5.4. PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE FINCAS CAÑERAS

Al momento de diseñar un campo o una finca Agrícola se busca dar una solución integral; por lo cual, se deben considerar las siguientes variables:

5.4.1. Topografía

Siempre es necesario contar con un mapa de la finca, que tenga los datos topográficos correspondientes, esto es la base fundamental para la determinación y diseño de los elementos de la finca, para esto es necesario realizar un levantamiento planimétrico y altimétrico.

El levantamiento planimétrico se refiere al levantamiento de las coordenadas (X, Y) de los vértices de la finca y de los detalles relevantes, (árboles, rocas grandes, postes eléctricos, cárcavas u otros), el perímetro de la finca y poder calcular el área respectiva. La altimetría es el levantamiento de las elevaciones o cotas de las fincas, (curvas de nivel) este se realiza actualmente con equipos topográficos modernos como son las estaciones totales.

5.4.2. Dirección de surcos

La selección de la dirección de los surcos es una parte vital para el diseño de la finca de explotación cañera, esta se escoge principalmente en base a la topografía tratando que la pendiente de las direcciones de surco sean las menos erosivas, el segundo aspecto a considerar es la eficiencia de la maquinaria agrícola en todas sus labores ya sea la de preparación de suelos, aplicaciones, cosecha mecanizada etc. para esto siempre se buscan que las direcciones sean las más largas y coloniales.

5.4.3. Caminos o accesos principales y secundarios

La logística de la maquinaria agrícola, así como la disposición de la red hidráulica de los sistemas de riego dentro de la finca están en dependencia del diseño adecuado de los accesos de la misma; En las áreas de explotación cañera existen 3 tipos de caminos:

1. Caminos principales o trochas cañeras: Se les denomina así debido a que por ellos transitan los cabezales con sus vagones cargados de caña durante la

- cosecha, dichas trochas pueden ser de 8 o 10 m de ancho, las uniones de todas las trochas cañeras conforman la red vial de un Ingenio, están conectan las fincas con la fábrica del ingenio.
2. Callejones secundarios: En ellos circulan las maquinaria y vehículos dentro de las fincas, estos pueden ser de 5 a 6 metros de ancho y se dejan cada 250 a 300 metros dependiendo del tipo de sistema de riego a implementarse en la finca.
 3. Rondas: generalmente se trazan de 5 m de ancho, estas se ubican en todo el perímetro de la una finca y paralelos a canales o drenajes.

5.4.4. Diseño del riego y drenajes

Para realizar un diseño de finca funcional se deben de tomar en cuenta todas las variables y una de las más importantes es conocer el sistema de riego que se implementara en la finca, ya que las tuberías serán distribuidas en los callejones que se estén proponiendo y la distancia entre estos debe de coincidir con el tipo de sistema.

Los drenajes se diseñan con base al plano topográfico con curvas de nivel, así drenar por las escorrentías natural y propia de la finca, de igual manera se amerita conocer el estudio de la intensidad de lluvia en esa zona y el área que se pretende drenar para posteriormente construir un canal.

5.4.5. Área productiva e improductiva

El área productiva se refiere al área total de toda la finca menos el área que se ha destinado para los accesos, canales, barreras vivas, bodegas, casa hacienda etc.

Conocer el área total de la finca y cuanta área se dispone para sembrar es de provecho, debido a que es la referencia a tomar con relación a producción y ejecución del desarrollo de actividades u operaciones propias que demandan las áreas productivas para caña de azúcar.

5.5. DISEÑO AGRONÓMICO

5.5.1. Textura

La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa. (FAO, s.f.)

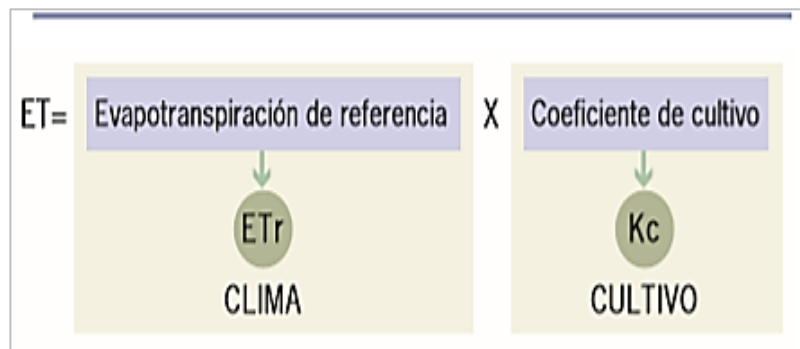
5.5.2. Evapotranspiración

Las necesidades de agua de los cultivos se consideran representadas por la evapotranspiración (ET), que incluye por una parte el agua que los cultivos extraen del suelo a través de las raíces y pasa a la atmósfera a través de las hojas, y por otra la evaporación directa desde el suelo.

5.5.3. Evapotranspiración del cultivo (Etc)

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se denomina Etc, y se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes (FAO, 1990).

Fig. 5. Evapotranspiración del cultivo



Fuente: (Fernández Gómez, Rafael, 2010)

5.5.4. Capacidad de campo (CC).

El contenido de agua que tiene el estrato de suelo originalmente saturada luego que se ha drenado libremente en el perfil hacia estratos inferiores se conoce como Capacidad de Campo, que no es más que la cantidad máxima de humedad que el suelo puede retener contra el efecto gravitacional.

La CC es distinta para los diferentes tipos de suelo, es menor para los suelos arenosos y mayor para los suelos arcillosos (Aguilar, Algara, & Olvera, 2015).

5.5.5. Punto de marchites permanente (PMP)

Considerado como el contenido de agua que tiene un suelo, bajo el cual las plantas no son capaces de absorberla por las raíces para cumplir con las exigencias impuestas por la transpiración.

El punto de marchitez permanente depende del consumo de agua de la planta, profundidad de la zona radicular, del agua utilizada por la planta y de la capacidad de retención del suelo. Cuando aumenta la temperatura y la velocidad del consumo de humedad, el marchitamiento se produce con tensiones más bajas y contenido de humedad mayor.

Cuando la humedad disminuye acercándose al PMP, las plantas se afectan, se obstaculiza su desarrollo y al final disminuye mucho el rendimiento. Para un buen desarrollo de la planta se recomienda mantener la humedad del suelo muy por encima del PMP (Aguilar, Algara, & Olvera, 2015).

5.5.6. Densidad aparente

La densidad aparente es una relación que mide el peso del suelo o sustrato por unidad de volumen.

Este indicador tiene gran utilidad para determinar el peso total de un suelo al momento de calcular los niveles nutricionales del mismo partiendo de los análisis de laboratorio, así como también es una expresión del grado de compactación de un suelo o sustrato y permite estimar el grado de aireación y retención de agua del mismo, aspectos de gran utilidad al momento de la gerencia el riego de los cultivos (Hernandez, s.f).

5.5.7. Velocidad de infiltración

La infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta sus capas inferiores. Muchos factores del suelo afectan el control de la infiltración, así como también gobiernan el movimiento del agua dentro del mismo y su distribución durante y después de la infiltración. (Vélez et al, 2002).

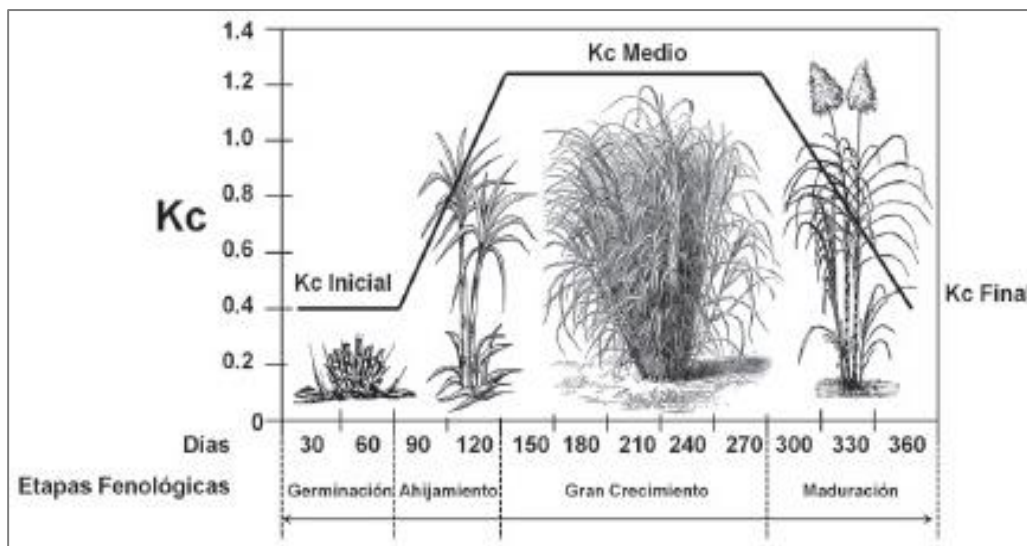
5.5.8. Lámina de agua aprovechable (LARA)

Es la altura de agua que retiene un suelo homogéneo entre los contenidos de agua de Capacidad de Campo y Punto de marchitez permanente.

5.5.9. Coeficiente de cultivo (Kc)

El objetivo del uso del Kc es la determinación de la ETc en particular, basados en la información meteorológica medida a nivel local, es decir, en el área cercana y representativa de la zona del cultivo. La ETc obtenida representa el límite máximo de ET del cultivo cuando no existen obstáculos al crecimiento de este debido a limitaciones de agua (Aguilar, Algara, & Olvera, 2015).

Fig. 6. Coeficiente Kc de la Caña de azúcar



Fuente: (Aguilar, Algara, & Olvera, 2015)

5.5.10. Frecuencia de riego

Se define como la frecuencia con que se aplica el agua al cultivo, según la necesidad correspondiente a cada etapa fenológica o de desarrollo en la que se encuentre el cultivo, también influye la época de siembra y se expresa en días.

5.6. DISEÑO HIDRÁULICO

5.6.1. Sistema de bombeo

Cuando el agua de riego circula o se encuentra almacenada en balsas, embalses, canales, ríos, etc., y estos se encuentran situados a un nivel suficientemente alto con respecto a la parcela de riego, el agua, conducida por una red de distribución cerrada, adquiere una determinada presión. Ésta se debe a la energía que tiene por la propia diferencia de altura con respecto a la parcela.

En caso de que el agua no se encuentre en estas condiciones, por ejemplo, si la parcela de riego está a mayor altura que el lugar donde se encuentra almacenada e incluso al mismo nivel, será necesario suministrarle una energía para que alcance la presión necesaria para circular por toda la red de riego y salir por los emisores con una presión tal que garantice su buen funcionamiento.

5.6.2. Caudal

Se define el caudal como la cantidad de agua que pasa por una conducción o tubería en un tiempo determinado. Los caudales se miden principalmente en las siguientes unidades: Litros/segundos (L/s); Litros/hora (L/h); Metros cúbicos/hora (m³/h)

Es preciso y muy útil que el agricultor mida el volumen de agua que ha pasado por ciertos lugares de la red y tener así control del agua aplicada con el riego. Para ello, lo más habitual es instalar contadores volumétricos o Caudalimetro.

Fig. 7. Caudalimetro



Fuente: Elaboración propia

5.6.3. Presión

La presión se puede definir como la fuerza ejercida sobre una superficie determinada. En referencia al agua que circula en una tubería, la presión es la fuerza que ejerce el agua sobre las paredes de ésta y los distintos elementos que componen el sistema. (Fernández Gómez, Rafael, 2010)

Las principales unidades en que se mide la presión del agua en una conducción o tubería son las siguientes:

- Atmosferas (atm)
- Kilogramos/centímetro cuadrado (kg/cm^2), usualmente conocida por el término “kilos”
- Metros de columna de agua (m.c.a.)

Para que el agua llegue a todos los puntos de emisión, es preciso que circule con una determinada presión, de esta forma, se podrá superar la diferencia de altura a la que esté situada la parcela, vencer el rozamiento con las paredes de las tuberías y los distintos elementos que componen el sistema (uniones, codos, tes, válvulas, reguladores, etc.) y hacer funcionar correctamente los emisores.

La presión suele medirse utilizando manómetros, bien instalados permanentemente en el punto de medida o bien colocándolos puntualmente en los lugares deseados mediante las denominadas tomas manométricas.

5.6.4. Pérdidas de carga hidráulica

Según PRESSMAN (2018) La pérdida de carga es la disminución de la presión en el interior de las tuberías causada por el movimiento del fluido.

Para conocer su valor se necesita saber, sobre todo:

a) Diámetro interior de la tubería

Teniendo en cuenta que a menor diámetro la pérdida de carga es mayor para el mismo caudal circulante.

b) Longitud de la tubería

sabiendo que a mayor longitud de la tubería también es mayor la pérdida de carga para el mismo diámetro y caudal circulante.

c) Caudal

Siendo mayor la pérdida de carga a mayor caudal para el mismo diámetro.

d) Tipo de material

De la tubería y rugosidad de sus paredes interiores (aluminio, polietileno, fibrocemento, etc.)

e) Las pérdidas de carga pueden ser continuas o localizadas:

- Continuas

Se producen a lo largo de toda la línea de la conducción, más comúnmente conocidas como perdidas por fricción. Es la pérdida de presión que se genera al entrar en contacto dos cuerpos uno ellos en movimiento en este caso el fluido, el roce entre la tubería con una superficie no del todo lisa y el líquido en movimiento, ocasiona que la velocidad del fluido disminuya.

- Localizadas

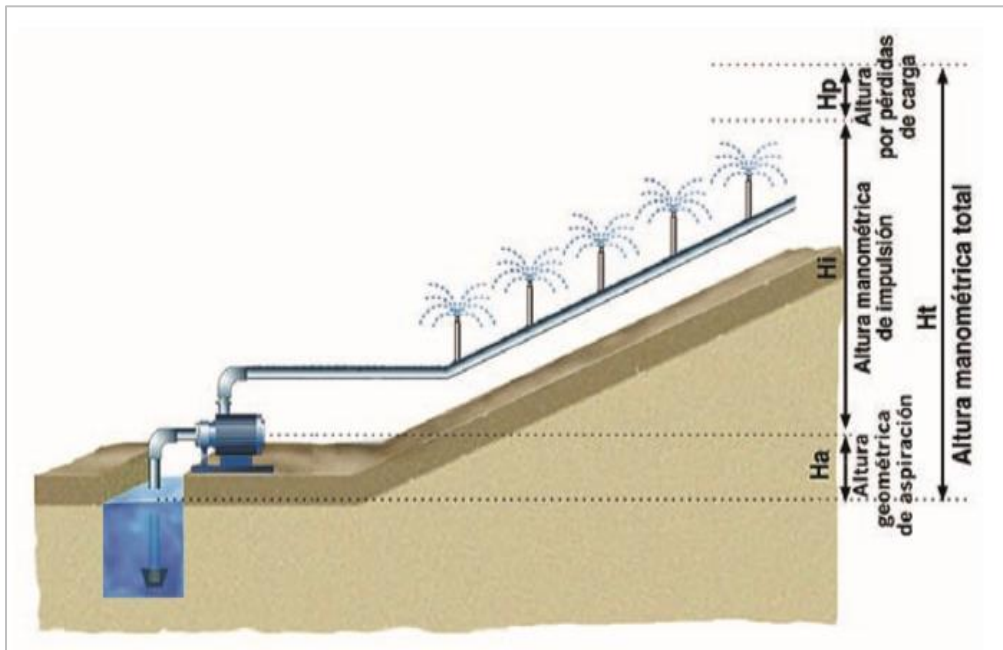
Se producen en puntos singulares, generalmente correspondientes a piezas especiales que hacen variar la dirección o la sección por donde circula el fluido (reducciones, derivaciones, codos, válvulas, filtros, etc.)

5.6.5. Carga total dinámica (ctd)

La carga dinámica total de bombeo se define como la suma total de resistencias del sistema, correspondientes a la carga estática total, a la pérdida de carga por fricción en la tubería de succión y descarga y a la carga de velocidad.

El cálculo de la carga total de bombeo consiste en determinar la energía requerida para impulsar el líquido desde el nivel de succión hasta el nivel de descarga, venciendo la resistencia que ofrecen la tubería y los accesorios, al paso del fluido. (Comisión Nacional del Agua , 2007)

Fig. 8. Esquema de altura manométrica total



Fuente: (Fernández Gómez, Rafael, 2010)

5.6.6. Velocidades permisibles

De forma general se puede decir que para longitudes de tuberías menores de 3km, el diámetro más económico de la tubería es aquel en que la velocidad de circulación esta entre 1.2 y 1.5m/s, para longitudes mayores de 3km, la velocidad que debe considerarse es de 0.9 y 1.2m/s. este criterio consiste simplemente en determinar con el caudal de diseño que diámetro de tubería es el que cumple, el diámetro seleccionado debe encontrarse entre los diámetros ofrecidos por las casas comerciales.

5.6.7. Red de tuberías

La red de distribución es el conjunto de tuberías que llevan el agua desde el punto de toma en la parcela hasta los aspersores situados en las distintas unidades y subunidades de riego.

Está formada por la red principal o de alimentación, que distribuye el agua por la parcela y los ramales de aspersion, que derivan de los anteriores y conducen el agua hasta los aspersores.

Las tuberías de PVC son muy ligeras, tienen baja rugosidad y permiten un fácil montaje y reparación. Sin embargo, son muy frágiles, por lo que unido a su deterioro por la acción de la luz solar suelen instalarse enterradas. Los diámetros más normales de uso están comprendidos entre 25 y 300 milímetros y suelen estar constituidas por tubos de 6 a 9 metros de longitud unidos con un pegamento especial.

5.6.8. Selección de bomba

Las que se utilizan más comúnmente en agricultura son las denominadas turbo máquinas, en las que se produce un aumento de la velocidad del agua provocada por el movimiento giratorio de un elemento denominado rodete o impulsor, formado por palas.

Si el agua entra en el rodete por el centro y es impulsada en la dirección radial debido a la fuerza centrífuga, la bomba se denomina centrífuga, mientras que si entra por el centro del rodete y la impulsa en la misma dirección que trae en la aspiración, se denomina axial. (Fernández Gómez, Rafael, 2010)

5.6.9. Potencia de la bomba

Es la capacidad o propiedad que describe a la bomba, de manera singular, permitiéndonos definir qué tipo de bomba es la que se está requiriendo utilizar para realizar el trabajo en un tiempo determinado. De esta manera se pretende realizar un trabajo con mayor capacidad y eficiencia.

Debe consultarse al proveedor o fabricante, sobre las curvas características de cada bomba y motor para conocer sus capacidades y rendimientos reales.

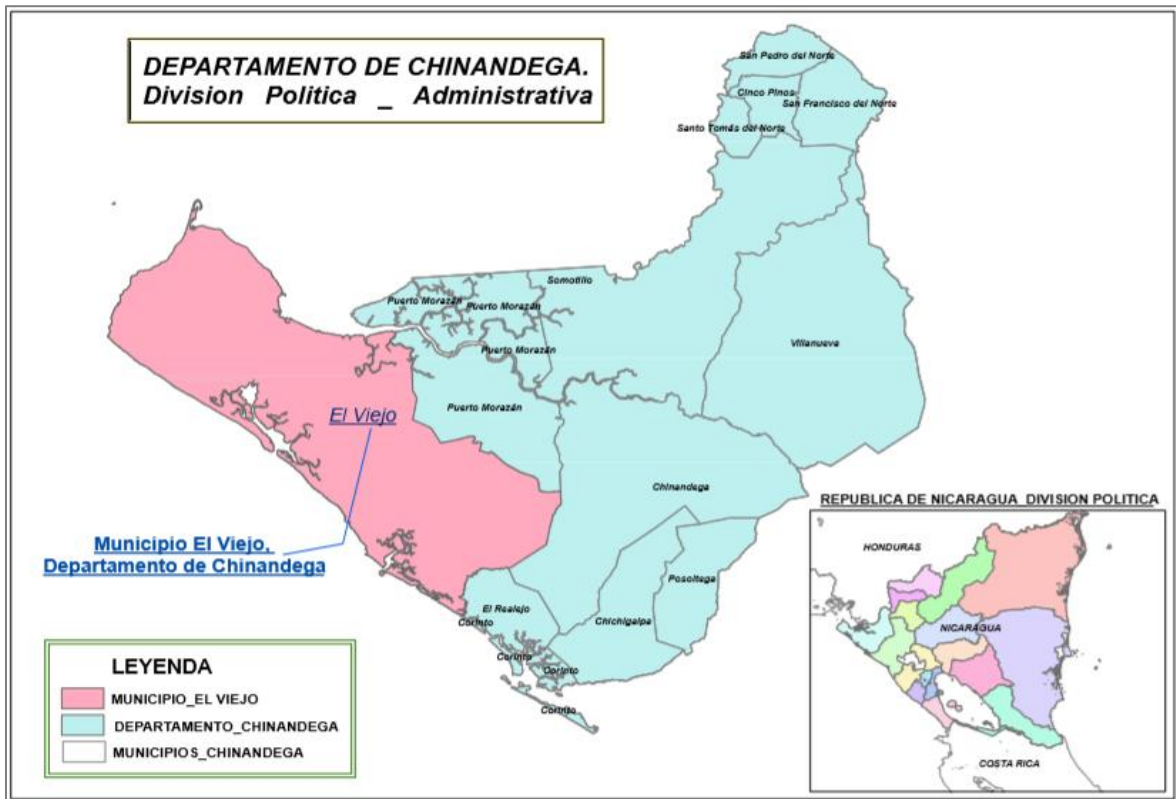
La bomba seleccionada debe impulsar el volumen de agua para la altura dinámica deseada, con una eficiencia (η) mayor a 70%.

VI. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO

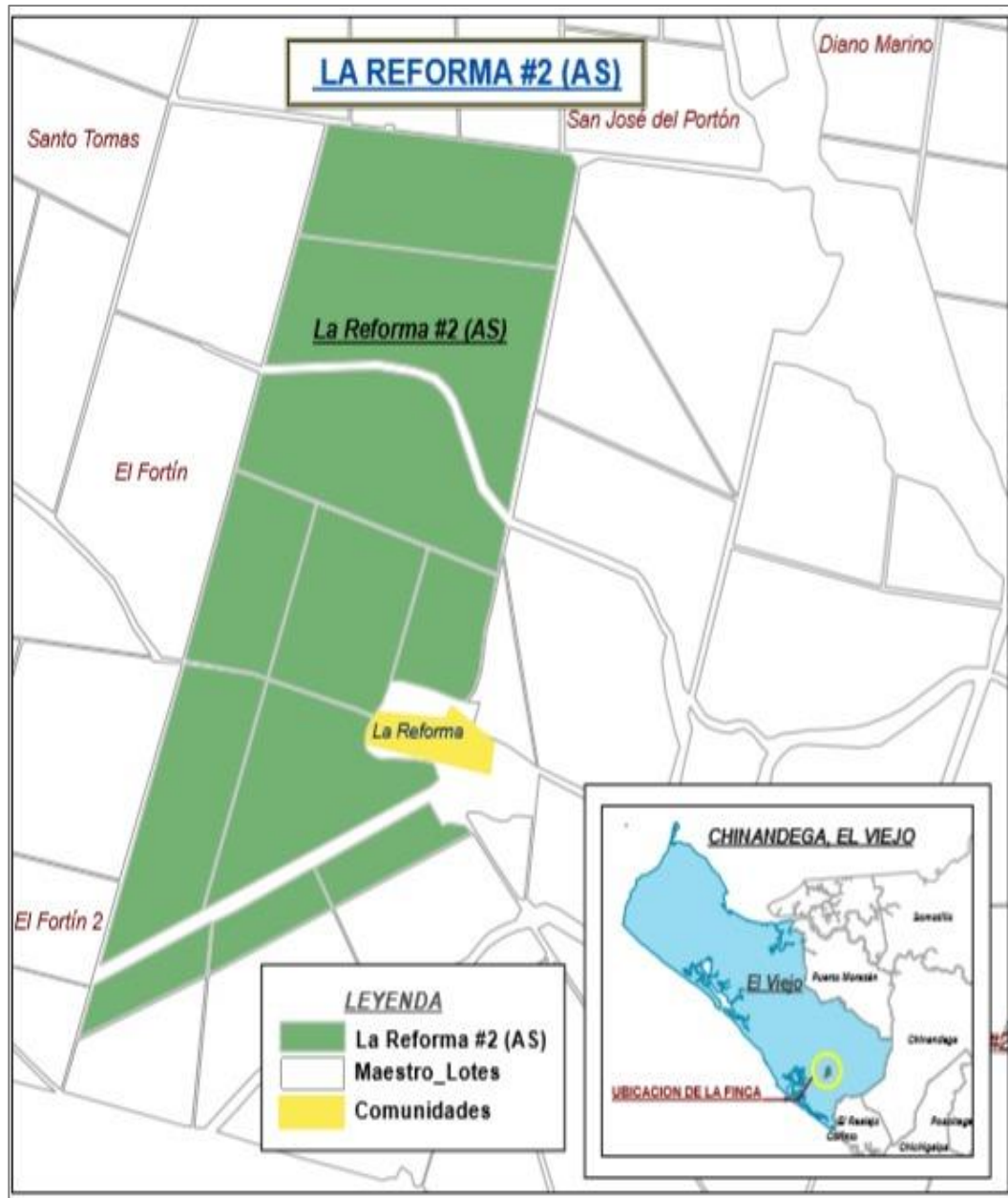
El proyecto está ubicado en el departamento de Chinandega municipio de El viejo, en la comunidad “La Reforma”.

Fig. 9. Macro localización



Fuente: Elaboración propia

Fig. 10. Micro localización



Fuente: Elaboración propia

6.2. CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y CLIMÁTICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

Según el Centro de Investigación de Ecosistemas Acuáticos, Universidad Centroamericana (2007), la ciudad de El Viejo presenta las siguientes características geográficas y climáticas:

6.2.1. Fisiografía

Está representada por tres áreas fisiográficas: Una vasta planicie (planicie Monte Rosa), interrumpida por cordilleras y colinas, aquí se localizan Lomas de Buena Vista del cual emerge el complejo volcánico cuaternario del Volcán Cosigüina que domina todo el municipio. En el extremo noroeste, presenta una costa marítima surcada por el complejo de playas, islas y esteros extendiéndose desde el límite del municipio El Realejo en las islas Maderas Negras, pasando por el ecosistema estuarino Aserradores, el área protegida Padre Ramos hasta la Punta San José en el entorno occidental de la Península de Cosigüina hasta la desembocadura del Estero Real en el Golfo de Fonseca.

6.2.2. Edafología

Los suelos predominantes son oliocenos y pleistoceno, están clasificados para fines productivos en cuatro categorías según la vocación de la tierra: Agrícola 49,579 hectáreas, pecuario 15,388 hectáreas, forestales 39,433 hectáreas y 127,471 hectáreas para áreas de conservación.

6.2.3. Hidrología

Se identifican dos grandes cuencas hidrográficas: La del Estero Real–Volcán Cosigüina y Volcán Cosigüina–Río Tamarindo. En estas cuencas, existe una red de corrientes siendo las principales la del Golfo de Fonseca y Estero Real, ocho microcuencas: Río Chiquito, Río El Viejo, Río Acinco, Ríos Atoya o Toro Blanco, Río Sasama, Río Viejo, Río Apascalí y Río El Congo, además dispone aproximadamente de 40 ojos de agua o arroyos de longitud considerable y las impresionantes aguas termales de Cosigüina que bajan de la parte alta del Volcán.

El Viejo por estar ubicado en la planicie del Pacífico posee la provincia hidrológica del mismo nombre, el cual dispone de los mejores acuíferos subterráneos del país. Esto se confirma con estudios recientes del Ingenio Monte Rosa.

La laguna Cratérica Volcán Cosigüina, es otro cuerpo hidrológico que se encuentra a 160 metros sobre el nivel del mar, con una extensión y una superficie de 13.3 hectáreas. El municipio dispone de humedales y Esteros, existiendo cuatro sectores con gran cantidad de estos cuerpos: El ecosistema del estuario de Aserradores, El Estero Padre Ramos, el Delta Estero Real y los Humedales de Cosigüina Sur.

6.2.4. Climatología

El municipio presenta un clima subtropical cálido, con dos marcadas estaciones: Una seca de más de seis meses, este clima es definido como Sabana Tropical, las temperaturas promedio son de 24 a 38 °C y una precipitación pluvial promedio anual de 750 a 2000 mm.

6.3. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE FINCA

Para el diseño de la finca se utilizó principalmente el software ArcGIS en su versión 10.4.1, el cual es un programa de información geográfica que nos ayuda a tener una mejor precisión de las áreas georreferenciadas de la finca, además de realizar diferentes procesos de forma muy rápida y eficiente.

En el diseño de la finca se realizaron los siguientes procedimientos:

6.3.1. Visita de reconocimiento a la finca

Antes de poder realizar el diseño de la finca se llevó a cabo una visita preliminar a la misma, esto con el fin de visualizar en campo todas sus características las cuales se mencionan a continuación:

a) Pista aérea

La finca cuenta con una pista de aterrizaje, en la cual está restringido el paso de maquinaria o vehículos, dicha pista está ubicada en la parte sur de la finca y su sentido longitudinal es de noreste a suroeste el ancho promedio es de 30 m y el largo es de 880 m.

Fig. 11. Pista aérea de finca La Reforma No. 2



Fuente: Elaboración Propia

b) Alcantarilla en trocha cañera

La finca está dividida por un canal de drenaje que la atraviesa, debido a este canal y que la trocha cañera principal pasa paralelamente y contiguo a la finca, existe una pequeña obra de alcantarilla para drenar el agua del canal sin afectar la trocha cañera, la alcantarilla la componen dos tuberías de PVC de 10 pulgadas de diámetro.

Fig. 12. Alcantarilla en trocha cañera



Fuente: Elaboración Propia

c) Camino con material selecto

Existe un camino secundario que posee material selecto, esto sirve para mantener el camino transitable en invierno, sin embargo, el material que posee es muy poco, además que el camino no está derecho o alineado, normalmente estos tipos de caminos que poseen material selecto en cuanto se pretende rediseñar la finca se suelen dejar intacto precisamente por el costo de dicho material, sin embargo, en este caso por ser poco el material y por su geometría curva este se eliminó en el nuevo diseño.

Fig. 13. Camino con material selecto



Fuente: Elaboración Propia

d) Canal de drenaje

Como se mencionó anteriormente la finca posee un canal de drenaje y que también funciona como canal de infiltración, este canal atraviesa la parte norte de la finca en dirección oeste-este, tiene una longitud de 760 m y un ancho promedio de 2.5 m, también posee profundidades variables que va desde 1 metro la parte más superficial hasta 2.5 metros.

Fig. 14. Canal de drenaje



Fuente: Elaboración Propia

6.3.2. Levantamiento planimétrico y altimétrico

Los datos planimétrico se levantaron con un GPS marca Garmmin y los altimétricos con una estación total Leica

Una vez obtenido estos datos de campo, se procedió a transformarlos en formatos shape, para poder ingresarlos al programa ArcGIS, en donde se realizó todo el proceso de los mismos.

6.3.3. Curvas de nivel

Los datos altimétricos de la finca se ingresaron al programa ArcGIS y utilizando la herramienta de interpolación se obtuvo un DEM (modelo de elevación digital), seguidamente haciendo uso del programa ArcGIS se extrajeron del DEM las curvas de nivel a cada metro de altura.

6.3.4. Dirección de surcos o sentido de siembra

Haciendo uso del programa ArcGIS y tomando en cuenta la geometría y las curvas de nivel de la finca, se procedió a trazar las direcciones de los surcos más eficientes, considerando que estas no deben de tener altas pendientes para evitar la erosión hídrica, además estas se deben de trazar conservando el sentido colineal más largo, esto con el fin de tener una buena eficiencia de la maquinaria.

6.3.5. Caminos secundarios y Calles de carrete

Los caminos secundarios, así como las calles de carretes se trazaron haciendo uso del programa ArcGIS por medio de archivos shape de líneas.

6.3.6. Lotes

La lotificación de la finca se realizó mediante el programa ArcGIS, con el cual se calculó el área total de la finca y de sus divisiones internas, luego estas se sumaron para obtener el área total de cada lote, tomado en cuenta que los lotes no deben ser mayor a 40 Ha.

6.3.7. Números de Giros

El número de giros de la cosechadora por cada lote se calculó dividiendo el ancho promedio de estos entre la distancia de siembra (1.75 metros).

6.3.8. Cálculo del área productiva e improductiva

Después de tener todo el diseño de la finca en ArcGIS, se procedió al cálculo del área agrícola productiva, e improductiva.

El área improductiva se calculó sumando las áreas que corresponden a los caminos secundarios, canales, calles de carrete, pista aérea, casco de finca etc. mediante el programa ArcGIS.

6.4. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO AGRONÓMICO

6.4.1. Muestreo de suelos

Se tomaron un total de 10 muestras de suelo, tanto alteradas como inalteradas de forma aleatoria a una profundidad de 30 cm, de las cuales se calculó las propiedades hidro-físicas, así como la textura.

Se utilizó un plano de la finca y un GPS para determinar las coordenadas de los puntos de muestreo.

Asistido del programa ArcGIS se realizó un mapa del muestreo, georreferenciando cada punto. (véase anexo C).

Los materiales y herramientas que se utilizaron para el muestreo son:

- GPS
- Pala
- Mapa de finca
- Bolsas para las muestras
- Balde
- Cilindro con volumen conocido
- Machete

6.4.2. Determinación de la textura (método del hidrómetro de bouyoucos)

Para el cálculo de la textura se utilizó el método del Hidrómetro de Bouyoucos, el cual nos dio los porcentajes de arena, limo y arcilla que existen en cada muestra de suelo, posteriormente se determinó la textura mediante el uso del triángulo textural

Fig. 15. Determinación de textura de suelos



Fuente: Elaboración Propia

Fórmulas para calcular el porcentaje de composición de textura del suelo:

1. Lectura a los 40 segundos, para obtener el porcentaje de limo más arcilla (% Limo + % Arcilla):

$$LC_{40s} = Li \pm FC$$

$$\%Limo + \%Arcilla = \frac{LC_{40s} - Lb}{\text{peso suelo}} * 100$$

Dónde:

- LC_{40s} = Lectura corregida a los 40 segundos.
- Li = Lectura inicial en el hidrómetro a los 40 segundos.
- FC = Factor de corrección.
- Lb = Lectura en el blanco.

2. Lectura a las 2 horas o 5 horas, para obtener el porcentaje de arcilla (%Arcilla):

$$LC_{2h} = L \pm FC \quad \%Arcilla = \frac{LC_{2h} - Lb}{\text{peso suelo}} * 100$$

Dónde:

- LC_{2h} = Lectura corregida a las 2 horas.
- L = Lectura en el hidrómetro a las 2 horas.
- FC = Factor de corrección
- Lb = Lectura en el blanco.

3. Fórmula para obtener el porcentaje de arena (%Arena):

$$\bullet \quad \% \text{Arena} = 100 - (\% \text{Limo} + \% \text{Arcilla})$$

4. Fórmula para obtener el porcentaje de limo (%Limo):

$$\bullet \quad \% \text{Limo} = (\% \text{Limo} + \% \text{Arcilla}) - (\% \text{Arcilla})$$

Obtenidos los resultados se realizó un mapa de textura de la finca con ayuda del programa ArcGIS, utilizando polígonos de Teesen (véase anexo H).

6.4.3. Cálculo de la densidad aparente (D_a) por el método del cilindro

Las muestras inalteradas se extrajeron con cilindros de volumen conocido donde posteriormente se llevaron al laboratorio.

En el laboratorio se tomó nota del peso húmedo de las muestras y se introdujeron al horno durante 24 horas a una temperatura de 105 °C, luego se extrajeron las muestras del horno y se tomó el peso seco.

Fig. 16. Medida de peso de cilindros



Fuente: Elaboración Propia

La densidad aparente se obtuvo dividiendo el peso seco de cada muestra entre el volumen de cada cilindro correspondiente.

$$D_a = \frac{M_{ss}}{V_{cc}}$$

Donde:

- D_a = Densidad aparente (gr/cm³) en estado de campo.
- M_{ss} = Peso seco al horno (gr)
- V_c = Volumen del cilindro

6.4.4. Cálculo de la densidad real (D_r) por el método del picnómetro

Con las muestras alteradas se calculó la densidad real de los suelos, se utilizó el método del picnómetro siguiendo la metodología indicada en el laboratorio de edafología.

$$Dr = \frac{d1 * d3 * Ps}{d3(P1 - Pp) - d1(P3 - Ps - Pp)}$$

Dónde:

- Dr = Densidad real (gr/cm³)
- d1 = densidad del agua a la T1, en grados °C
- d3 = densidad del agua a la T3, en grados °C
- P1 = Peso del picnómetro más agua (gr)
- PP = Peso del picnómetro vacío (gr)
- P3 = Peso del conjunto agua más suelo más picnómetro (gr)
- Ps = Peso del suelo (gr)

Fig. 17. Picnómetro (Lab. Edafología)



Fuente: Elaboración Propia

6.4.5. Cálculo de la porosidad total de los suelos en porcentaje

Es necesario conocer los valores de Da y Dr para calcular la porosidad total de los suelos.

$$Pt = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) * 100$$

Dónde:

- Pt = porosidad total (%).
- Da = densidad aparente (gr/cm³)
- Dr = densidad real (gr/cm³)

6.4.6. Tipo de suelo

En el mapa de suelos de la Republica de Nicaragua y con la ayuda de ArcGIS se georreferencio el perímetro de la finca para clasificar, definir el tipo de suelo, el cual se representa a través de un mapa de suelo (véase anexo I).

6.4.7. Velocidad de infiltración

La velocidad de infiltración se determinó con base en la textura, la Da y el mapa de tipo de suelo de la finca.

6.4.8. Necesidades hídricas del cultivo

a) Cálculo de la evapotranspiración

Para el cálculo de la evapotranspiración, se tomaron datos climáticos de la estación meteorológica de Monte Rosa, correspondientes a los periodos 2010 al 2018, los cuales se ingresaron en el programa de la FAO CROPWAT 8.0 el cual usa la fórmula de Penman-Monteith.

b) Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (Etc)

En la determinación de la Etc se tomó el coeficiente del cultivo (Kc) para la caña de azúcar según la edad fenológica y la fecha de siembra, multiplicándose por la Et0.

$$Etc = Et_0 * kc$$

Donde:

- Etc= evapotranspiración de cultivo
- Et0= evapotranspiración
- Kc= coeficiente de cultivo

c) Necesidades brutas del Cultivo

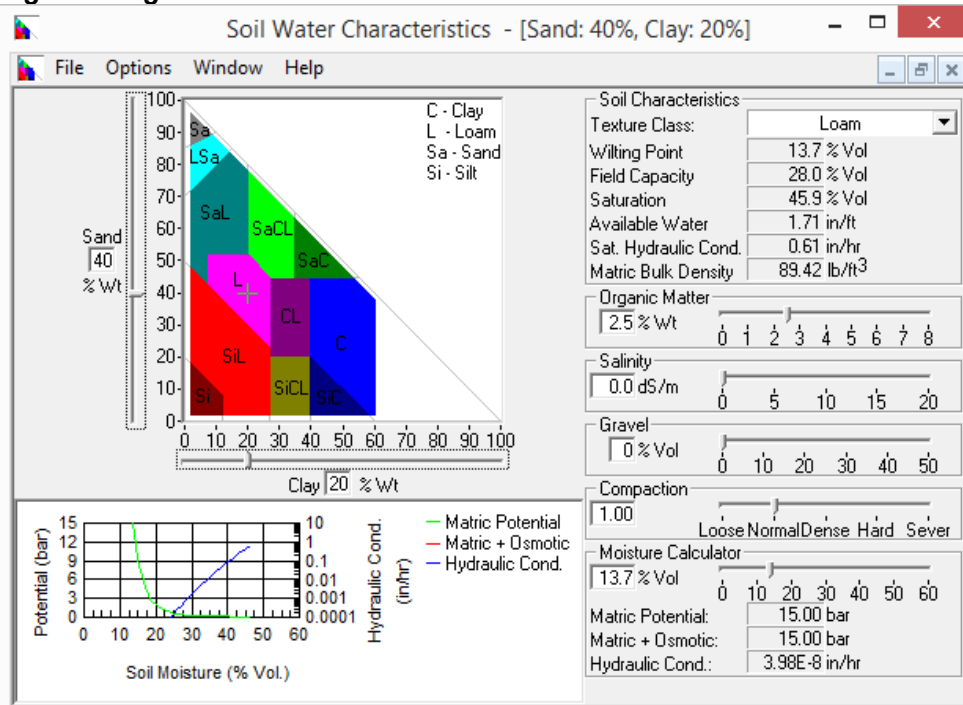
En la determinación de las necesidades brutas del cultivo se multiplicó la Etc por la eficiencia del sistema

$$Nbc = Etc * Eficiencia$$

d) Cálculo de la capacidad de campo (Cc) y el punto de marchitez permanente (PMP)

La capacidad de campo y el punto de marchitez permanente se calcularon haciendo uso del programa de la USDA llamado **“Soil Water Characteristic”** este programa calcula la Cc el PMP y la textura del suelo (entre otras cosas), solamente ingresando al programa los datos de los porcentajes de arena y arcilla, resultados de la prueba de textura.

Fig. 18. Programa Soil Water Characteristic



Fuente: Elaboración Propia

Con el fin de visualizar e interpretar de una mejor manera los resultados obtenidos se realizó una interpolación a través del programa ArcGIS realizando un mapa que nos muestra la incidencia de los mismos (véase anexo J, K).

e) Cálculo de la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) o norma neta del suelo

$$LARA = \frac{(CC - PMP) * Da * h}{100} * DPM$$

Donde:

- LARA: lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)
- CC: capacidad de campo (%)
- PMP: punto de marchitez permanente (%)
- Da: densidad aparente (gr/cm³)
- h: profundidad radicular (mm)
- DPM: déficit permitido de manejo (%)

f) Norma bruta

Para el cálculo de la norma bruta se multiplicó la norma neta o LARA por la eficiencia del sistema

$$NB = LARA * Efi.$$

Con los datos obtenidos se realizó un mapa de lámina bruta para la finca, esto con el fin de conocer las partes de la finca que requieren una mayor cantidad de lámina, el mapa fue elaborado auxiliándose del programa ArcGIS (véase anexo L)

g) Frecuencia de riego

La frecuencia de riego se calculó con la siguiente fórmula.

$$Fr = \frac{LARA}{Etr}$$

Donde:

- Fr = frecuencia de riego en días
- LARA= Lámina rápidamente aprovechable en mm
- Etr = Evapotranspiración real mm/día

6.4.9. Cálculos agronómicos para carrete

a) Elección de Carrete y Lamina de Riego

El tipo de carrete se escogió teniendo en cuenta la marca y modelo de preferencia del ingenio Monte Rosa.

Se optó por la lámina del carrete en vista a la Norma Bruta del suelo y considerando los parámetros de los resultados de los laboratorios de suelo.

Es necesario recalcar que con la marca y modelo del carrete seleccionado se buscó en su ficha técnica las diferentes laminas, así como las velocidades de retracciones para aplicar dichas laminas, hasta seleccionar la más adecuada. (véase anexo P)

b) Ancho de franja

El ancho de la franja viene determinado según la velocidad del viento y el tipo de disposición, en este caso por ser franjas la disposición es rectangular.

Según Heerman y Kohi (1960) recomiendan separaciones de 75% del diámetro efectivo para marcos en rectángulo, entendiéndose como diámetro efectivo el 90% del diámetro mojado, todo esto siempre que se trate de vientos menores a 2 m/s.

Diámetro efectivo = 0.9 * Diámetro húmedo

Ancho de franja (m) = 0.75 * Diámetro efectivo(m)

c) Marco de riego o riego por posición

El marco de riego se obtuvo multiplicando la longitud de la manguera por el ancho de la franja.

$$\text{Marco riego} = \text{Ancho de franja}(m) * \text{Longitud de manguera}(m) / 10,000$$

d) Cantidad de carretes

Para obtener el número de equipos que se pueden usar simultáneamente se divide el caudal del carrete entre el caudal de la fuente.

$$N^{\circ} \text{ de carretes} = \frac{\text{Caudal de la fuente}(m^3/h)}{\text{Caudal del cañon}(m^3/h)}$$

e) Tiempo de recorrido o retracción

Es el tiempo que tarda el carrete en volver a enrollar la manguera, esta depende de la velocidad de retracción que se le haya programado.

$$\text{Tiempo de recorrido (hr)} = \frac{\text{Longitud de manguera(m)}}{\text{Velocidad de avance del carrete(m/h)}}$$

f) Área o sector de riego por carrete

Es la cantidad de área que le corresponde regar a cada carrete, para obtenerla se divide el área total de la finca entre la cantidad de carretes.

$$\text{Área por carrete} = \frac{\text{Área de la finca (Ha)}}{\text{Cantidad de carretes}}$$

g) Distancia recorrida del carrete por área asignada

Es la distancia total que se recorre para poder regar el área que le corresponde a cada carrete.

$$\text{Distancia(m)} = \frac{\text{Área asignada por carrete (Ha)} * 10,000}{\text{Ancho de franja(m)}}$$

h) Tiempo de riego por área o sector de riego

El tiempo de riego por sector se obtuvo dividiendo la distancia total recorrida entre la velocidad de retracción o avance del carrete.

$$\text{Tiempo de riego (hr)} = \frac{\text{Distancia recorrida por carrete (m)}}{\text{velocidad de avance del carrete(m/hr)}}$$

i) Frecuencia de riego

La frecuencia de riego de la maquina se calculó dividiendo el tiempo de riego por sector entre la jornada de riego diaria.

$$\text{Frecuencia de riego(días)} = \frac{\text{Tiempo de riego por sector (hr)}}{\text{Jornada de riego diaria (hr)}}$$

j) Área regada por carrete/día

Corresponde al área que riega cada carrete en un día de riego.

$$\text{Área regada carrete/día (Ha)} = \left(\frac{\text{Marco riego (Ha)} * \text{jornada riego (hr)}}{\text{tiempo de retracción (hr)}} \right)$$

k) Área regada por día

Para poder determinar el área total que se riega en un día se multiplico el área que riega un solo carrete por la cantidad de carretes.

$$\text{Área} \frac{\text{regada}}{\text{día}} \text{ (Ha)} = (\text{Área regada por carrete día} * \text{No de carretes})$$

6.5. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA

6.5.1. Fuente de abastecimiento

La fuente de abasteciendo del sistema de riego fue definida por el Ingenio Monte Rosa, esto como consecuencia de la ampliación de la capacidad de producción de la fábrica, por ende, del efluente de aguas reutilizables.

6.5.2. Diseño geométrico

Una vez obtenido el diseño de la finca y tomando en cuenta el tipo de sistema de riego se procedió a la distribución de la red de tuberías por los caminos o cruceros trazados previamente, todo esto se llevó a cabo con ayuda del programa ArcGIS.

Se escogió el punto más indicado para la estación de bombeo, así como la mejor ruta de la red tomando en cuenta la eficiencia, mejor funcionamiento del sistema de riego, se proyectaron las tuberías maestras, las conductoras y la posición de los hidrantes de riego (véase anexo M).

6.5.3. Calidad de lluvia del aspensor

$$IG = 12.85 * \frac{H^{1.3}}{D}$$

- D = Diámetros de la boquilla (mm)
- IG < 7= Gotas gruesas.
- IG > 17= Gotas finas.
- IG 7 a 17 = Grosor de gotas recomendables.

6.5.4. Intensidad de aplicación

El cálculo de la intensidad de aplicación será igual a la división entre el tiempo de puesta y la velocidad de avance.

La intensidad de aplicación debe ser menor a la velocidad de infiltración del suelo, de tal manera que se evite la escorrentía.

$$\text{Intensidad (mm/h)} = \frac{\text{Tiempo de retraccion (h)}}{\text{Velocidad de avance (m/h)}}$$

6.5.5. Diseños de las tuberías

a) Cálculo de los diámetros de las tuberías

Los diámetros de toda la red de tuberías se calcularon al tanteo hasta llegar al mejor diámetro económico y funcional.

b) Evaluación de líneas de la red hidráulica

Se propusieron los diámetros de las tuberías y se fueron evaluando al tanteo calculando las pérdidas por fricción y las velocidades, hasta encontrar los diámetros adecuados, donde las perdidas por fricción y las velocidades estuvieran dentro de los rangos aceptables.

La red se distribuyó de manera practica en cuatro secciones de tuberías, tomando en cuenta el punto más crítico en cada una de ellas, para evaluar la más crítica, de manera que todo el sistema pueda tener una óptima operación en su punto más desfavorable.

$$H_f = 10.67 * \left(\frac{Q}{c}\right)^{1.852} * \left(\frac{L}{D^{4.87}}\right)$$

Donde:

- H_f = perdidas por fricción (m.c.a)
- Q = caudal (m³/s)
- L = Longitud de tubería (m)
- D = Diámetro de tubería (m)
- C = coeficiente de rugosidad (PVC= 150)

c) Válvulas ventosas y lavados

Se colocaron válvulas ventosas de doble efecto y lavados al final o tope de cada línea de la red, además las válvulas se colocaron en los puntos más altos y a cada 300 metros de separación esto con el fin de realizar el ingreso y la expulsión del aire a la tubería durante el arranque y parada del motor.

d) Cavitación

Para prevenir el fenómeno de la cavitación es necesario el cálculo del NPSH disponible (carga neta de succión positiva), el NPSH requerido es el dato que trae la bomba.

$$\text{NPSH}_{\text{disponible}} = H_{\text{atm}} - (H_{\text{vap}} + H_s + \Delta H_s)$$

- NPSH disponible = Carga neta de succión positiva disponible (m)
- H_{atm} = Presión atmosférica (m)
- H_{vap} = Presión de vapor (m)
- H_s = Altura estática de succión (m)
- ΔH_s = Pérdida de carga por fricción de accesorios y tubería (m)

Para evitar el riesgo de cavitación por presión de succión, se debe cumplir que:

$$\text{NPSH}_{\text{disponible}} > \text{NPSH}_{\text{requerido}}$$

e) Carga dinámica de succión (h_s)

Para el cálculo de la carga dinámica de succión, se sumó la carga estática de succión más las pérdidas por fricción en la tubería de succión.

$$H_s = h_s + H_f$$

f) Carga estática de succión (h_s)

Para obtener la carga estática de succión solo se resta la cota del eje de la bomba menos la cota del espejo de agua del canal.

g) Carga estática de impulsión (h_i)

La carga de estática de impulsión se obtiene restando la cota a la salida del aspersor menos la cota del eje de la bomba.

h) Carga total dinámica (CTD)

La carga total dinámica se calculó sumando la carga dinámica de succión más la carga dinámica de impulsión más la presión requerida en la conexión del carrete.

$$CTD = H_s + H_i + H_{requerido}$$

i) Potencia de bombeo

La potencia del motor o de bombeo se calcula mediante la siguiente ecuación

$$P_b = \frac{Q_b * H_b}{76\eta}$$

Donde:

- P_b = Potencia de la bomba y del motor (HP)
- Q_b = Caudal de bombeo (l/s)
- H_b = Altura manométrica total (m)
- η = Eficiencia del sistema de bombeo, $\eta = \eta_{motor} \eta_{bomba}$

j) Selección de motor y bomba

Se buscó un motor que cumpliera con la potencia requerida a 1800 revoluciones por minuto (rpm), para esto se analizaron curvas de desempeño de varios motores hasta encontrar el más indicado.

La selección de la bomba se realizó analizando las curvas características de diferentes bombas, hasta encontrar una que cumpliera con los requerimientos de carga total dinámica y caudal de bombeo requerido.

6.5.6. Diseño operativo

Una vez definido el diseño geométrico e hidráulico de la red, se procedió a realizar el diseño operativo del sistema, el cual en su primera etapa consistió en dividir la finca en las áreas que le corresponden regar a cada carrete.

Luego de dividir las áreas, se dibujó el sentido de la operatividad o de los movimientos de los carretes por cada puesta o cambio de posición.

Una vez definidos todos estos parámetros se extrajo el plano operativo, el cual se facilita a los regadores para realizar toda la operación del riego, previamente realizó en ArcGIS (véase anexo N).

6.6. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE COSTOS

6.6.1. Cálculo de los costos de tuberías y accesorios PVC

En la estimación de los costos de las tuberías y accesorios, se efectuó una revisión de manera cuantitativa y cualitativa del plano del diseño hidráulico para conocer la cantidad de metros lineales de las tuberías por tipo de diámetro y accesorios, luego de esto se dividió entre 5.85 que es la longitud útil de una tubería, con esto se alcanzó a determinar la cantidad de tubos a utilizar, también se contabilizaron las cantidades, tipos y diámetro de cada accesorio de la red.

$$No\ de\ tubos = \frac{Longitud\ total}{5.85}$$

Una vez obtenido la cantidad de tuberías, accesorios por tipo y diámetro se obtuvo el costo unitario, teniendo como referencia los precios de los proveedores del Ingenio Monte Rosa.

6.6.2. Cálculo del costo de equipos y accesorios de riego

En el cálculo del costo de los equipos y accesorios de riego se utilizó el plano hidráulico para contabilizar la cantidad de accesorios y equipos que se requieren en el sistema, luego se multiplico la cantidad de accesorios y equipos por el costo unitario de estos.

6.6.3. Cálculo del costo de mano de obra y maquinaria pesada

En la estimación de la mano de obra requerida en necesario contabilizar las actividades y duración de cada una de ellas, posteriormente multiplicarla por su costo unitario.

La determinación del costo de la maquinaria, se calculó la distancia total a excavar entre el rendimiento de la maquinaria por hora, luego este resultado se multiplico por el costo de horas máquina.

6.6.4. Cálculo del costo total del proyecto por hectárea

El costo total del proyecto por hectárea se calculó sumando el costo de las tuberías, accesorios más el costo de los equipos, accesorios de riego más el costo de mano de obra, maquinarias y esta se dividió entre las hectáreas totales de la finca es así como conocemos el costo por hectárea del proyecto.

VII. ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

7.1. DISEÑO DE FINCA

7.1.1. Levantamiento planimétrico y altimétrico

Con los datos planimétrico y altimétricos de la finca proporcionados por Monte Rosa se realizó el diseño de la finca.

Con el DEM obtenido utilizando el programa ArcGIS se obtuvieron las curvas de nivel a cada metro de altura.

7.1.2. Dirección de surcos o sentido de siembra

La dirección de surco de la parte Norte de la finca se trazó de Norte-Sur, en consecuencia, la parte Este se definió paralela a la trocha cañera al ser la dirección más larga y por lo tanto más eficiente, también se calculó la pendiente de las direcciones (véase anexo B).

La dirección de la parte céntrica de la finca se definió como una sola quedando paralela al camino oeste de la finca, aproximadamente de Norte-Sur, la dirección de la parte Sur de la finca por su geometría se definió paralela a la pista aérea.

7.1.3. Caminos secundarios

Los caminos secundarios se trazaron de 6 metros de ancho, para una mejor logística de la maquinaria, la distancia máxima entre dos caminos se diseñó para que no sobrepase la longitud de la manguera del Carrete la cual es de 300 metros.

La red de tuberías de riego es previamente diseñada para no interrumpir el área agrícola, por lo tanto, están dispuestas de manera subterráneas en los caminos secundarios para el correcto abastecimiento de la finca.

La mayoría de los caminos existentes previo al diseño de riego por carrete no cumplían con algunos parámetros que esta demanda, por tal motivo se eliminaron y se removió el que poseía material selecto.

7.1.4. Calles de carrete

Las calles de carrete se diseñaron con un ancho de 2 metros, dado que es el ancho promedio de un tractor el cual se necesita para jalar el trineo o carro del carrete y desenrollar la manguera.

Las calles de los carretes van paralelas a la dirección de los surcos y éstas se proponen a cada 60 metros, lo que es equivalente al marco de riego o ancho de franja propuesta, el cálculo de esta se describe más adelante.

Las longitudes máximas de las calles de carretes no son mayores a la longitud de la manguera del carrete la cual es 300 metros por lo tanto están conectadas perpendicularmente con los caminos secundarios.

7.1.5. Drenaje

Se mantuvo el canal de drenaje que atraviesa transversalmente la parte norte de la finca, el cual funciona como canal de infiltración de escorrentía.

No se Diseñaron más canales de drenaje debido a que la finca no presenta problemas de drenajes según se observó en las visitas realizadas. Las aguas pluviales de la parte norte y centro de la finca drenan al canal norte de la misma, así mismo la parte centro y sur de la finca drenan a otro canal efímero que está más al sur y un poco alejado de la finca, a su vez drenan al río Sasama el cual es de orden 4 permanente.

7.1.6. Lotes

Se definieron tres lotes para toda la finca, sabiendo que el área de los lotes no debe ser mayor a 40 Ha, esto nos permite tener un mejor manejo de las labores agrícolas.

7.1.7. Número de Giros de la cosechadora

Para obtener el número de giros de la cosechadora por cada lote se dividió el ancho promedio de cada lote entre la distancia de siembra (1.75 metros) (véase tabla 1).

Tabla 1. Estadística de Lote, Finca "La Reforma No2 (AS)

Lote	Área Ha	Long. Max Surco	Ancho De Lote	No de Giros
Lote 1	31.46	710	619	353.71
Lote 2	32.93	577	656	374.86
Lote 3	35.36	766	556	317.71
Promedio	33.25	684.33	610.33	348.76

Fuente: Elaboración Propia

7.1.8. Cálculo del área productiva e improductiva

Después de tener todo el diseño de la finca en ArcGIS se calculó el área agrícola útil, así como el área no productiva, el cual la conforman el área que corresponde a los caminos, callejones, drenajes etc. (véase tabla 2).

Tabla 2. Estadísticas de Finca "La Reforma No2 (AS)"

Descripción	Área Ha	%	Descripción	Promedio
Área Agrícola	99.75	87.06	Área (ha/lote)	33.25
Área de caminos	1.95	1.70	Long. Max (m/lote)	684.33
Área de Drenaje	1.48	1.29	No Giros /Lote	348.76
Área de Pista	2.7	2.36		
Área de Casco de Finca	6.15	5.37		
Área de Calles de Carrete	0.4	0.35		
Área de Perímetro	2.14	1.87		
Total	114.57	100.00	Textura	Franco

Fuente: Elaboración Propia

En el diseño se pierde un área agrícola de **14.82 ha**, esto debido a los caminos y calles de carretes.

7.2. DISEÑO AGRONÓMICO

7.2.1. Muestreo de suelos

En el muestreo se utilizó un plano de la finca y un GPS para determinar las coordenadas de cada uno de los puntos tomados, (véase tabla 3), cabe señalar que este se realizó de forma aleatoria a una profundidad de 30 cm.

Tabla 3. Muestreo de suelo

Muestra	Profun cm	X_Coord.	Y_Coord.	Altitud
1	30	471754.315	1398426	28.40
2	30	472034.827	1398554	26.50
3	30	471949.976	1398952	31.10
4	30	472037.908	1398925	32.20
7	30	472362.424	1399533	27.40
5	30	472312.408	1399465	27.70
8	30	472506.089	1399311	29.80
6	30	472454.159	1399286	31.60
9	30	472186.162	1399952	34.80
10	30	472373.682	1399942	34.90

Fuente: Elaboración propia

Asistido del programa ArcGIS se realizó un mapa con las coordenadas del muestreo realizado (véase anexo C).

7.2.2. Cálculo de la densidad aparente (D_a) por el método del cilindro

De los resultados obtenidos se logró conocer que la densidad aparente se cataloga entre parámetros de bajos a muy bajos (véase tabla 4), estos valores son un indicador que el suelo no presenta una gran trayectoria de mecanización o malas prácticas, que contribuyen a la compactación del mismo, además que posee buena porosidad, aireación y una buena capacidad de infiltración.

Se realizó un mapa en ArcGIS con los resultados obtenidos, mediante el método de interpolación IBW (ver anexo E).

Tabla 4. Resultados de Densidad aparente

Muestra	volumen (cm3)	Wc (gr)	Wsh (gr)	Wss (gr)	Da (gr/cm3)
1	154.12	152	241	172	1.12
2	156.64	156	233	160	1.02
3	155.54	154	248	178	1.14
4	157.52	156	226	153	0.97
5	153.55	153	240	168	1.09
6	155.54	154	250	175	1.13
7	155.76	156	220	147	0.94
8	153.99	154	247	175	1.14
9	152.89	151	230	166	1.09
10	156.01	154	234	168	1.08

Fuente: Elaboración propia

7.2.3. Cálculo de la densidad real de los suelos (Dr) por el método del picnómetro

Los resultados de la Dr son rangos de medios a bajos y con altos contenidos de materia orgánica según guía de laboratorios de suelos de la universidad nacional de ingeniería, los resultados mostrados en la tabla 5 se mapearon en ArcGIS (véase anexo F).

Tabla 5. Densidad real

Muestra	WPic(gr)	WPic + wSuelo(gr)	WPic + wSuelo + wAgua(gr)	WPic + wAgua(gr)	Dr(gr/cm3)
1	126.75	151.15	389.55	376	2.24
2	116.5	148.3	383.15	365.65	2.22
3	115	148.6	382.2	364.05	2.17
4	122.85	156.8	389.35	372.25	2.01
5	126.45	155.95	390.85	375.9	2.02
6	114.85	145.6	379.45	364.15	1.98
7	115.9	141.4	377.75	365.5	1.92
8	121.85	150.1	388.2	371	2.55
9	115	150.5	382.9	364.05	2.13
10	116.5	141.9	378.85	365.65	2.08

Fuente: Elaboración propia

7.2.4. Cálculo de la porosidad total de los suelos en porcentaje

Para el cálculo de la porosidad total de los suelos se utilizó la Da y la Dr. Se obtuvieron valores de medios a altos, esto nos indica buena porosidad y buena capacidad de infiltración además con los resultados se elaboró un mapa de PT en la finca para un mejor análisis de los rangos de porosidad (véase anexo G).

Tabla 6. Porosidad total %

Muestra	Da (gr/cm3)	Dr (gr/cm3)	Pt
1	1.12	2.24	50.22
2	1.02	2.22	53.93
3	1.14	2.17	47.22
4	0.97	2.01	51.65
5	1.09	2.02	45.87
6	1.13	1.98	43.30
7	0.94	1.92	50.81
8	1.14	2.55	55.42
9	1.09	2.13	48.92
10	1.08	2.08	48.12

Fuente: Elaboración propia

7.2.5. Determinación de textura (método del hidrómetro de bouyoucos)

Como se presenta en la tabla 7, la mayor parte de las muestras son de textura franca, es una de las texturas mejores para suelos agrícolas.

Obtenidos los resultados se realizó un mapa de textura de la finca con ayuda del programa ArcGIS, utilizando polígonos de Teesen (véase anexo H).

Tabla 7. Resultados de textura de suelo

MUESTRA	%ARENA	% LIMO	%ARCILLA	Textura
1	39.34	40.72	19.94	Franco
2	33.4	48.66	17.94	Franco
3	49.4	40.6	10	Franco
4	53.46	36.48	10.06	Franco Arenoso
5	25.46	48.54	26	Franco
6	31.46	40.54	28	Franco Arcilloso
7	27.52	48.48	24	Franco
8	29.52	50.48	20	Franco Limoso
9	39.46	44.54	16	Franco
10	47.46	38.6	13.94	Franco

Fuente: Elaboración propia

7.2.6. Tipo de suelo

El tipo de suelo y su clasificación se realizó una georreferenciación en ArcGIS del Mapa de Suelos de la Republica de Nicaragua, de manera que calzara el perímetro de la finca obteniendo un mapa de suelo (véase anexo I).

Como se muestra en el anexo I la finca posee suelos Andisoles, los que por características generales son porosos, poseen alta capacidad de infiltrar agua al manto acuíferos, esto confirma los resultados de densidad aparente y porosidad total que se obtuvieron en el estudio de suelos.

7.2.7. Velocidad de infiltración

La velocidad de infiltración se determinó con base en la textura franca del suelo de la finca, además que los estudios de porosidad total y del mapa de suelo nos indica que la finca posee una alta velocidad de infiltración. La velocidad de infiltración es de **8 a 20** mm/hora.

Tabla 8. Velocidad de infiltración según textura

Textura	Velocidad de infiltración (mm/h)
Arcilloso	< 5
Franco arcilloso	5 - 10
Franco	10 - 20
Franco arenoso	20 - 30
Arenoso	> 30

Fuente: (Portalfruticola, 2017)

7.2.8. Necesidades hídricas del cultivo

a) Cálculo de la evapotranspiración (E_t)

Se tomaron datos climáticos de la estación meteorológica de Monte Rosa correspondientes a los periodos 2010 al 2018, para posteriormente usar el programa de la FAO CROPWAT como se muestra en la figura 19.

Fig. 19. Resultados de cálculo de Evapotranspiración

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	20.5	34.2	63	173	8.5	19.2	4.84
Febrero	20.8	35.2	62	173	9.1	21.4	5.40
Marzo	21.6	36.0	62	173	9.3	23.2	5.89
Abril	23.4	35.8	68	173	8.5	22.6	5.72
Mayo	24.1	34.1	77	173	7.2	20.4	4.94
Junio	23.7	33.0	81	173	6.8	19.5	4.53
Julio	23.0	34.0	75	173	8.0	21.4	5.10
Agosto	23.3	33.6	80	173	7.4	20.7	4.81
Septiembre	23.3	32.5	84	173	6.5	19.1	4.28
Octubre	23.2	31.8	84	173	5.9	17.1	3.83
Noviembre	22.1	32.9	76	173	7.1	17.5	4.15
Diciembre	20.8	33.5	68	173	8.0	18.0	4.44
Promedio	22.5	33.9	73	173	7.7	20.0	4.83

Fuente: Elaboración Propia

b) Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (E_c)

Tabla 9. Evapotranspiración de cultivo (E_c)

Mes	ETo mm/día	KC	ETC mm/día	Meses de riego
Enero	4.84	0.4	2	Enero (Siembra)
Febrero	5.4	0.4	2	Febrero
Marzo	5.89	0.7	4	Marzo
Abril	5.72	1.05	6	Abril
Mayo	4.94	1.2	6	Mayo
Junio	4.53	1.2	5	-
Julio	5.1	1.2	6	-
Agosto	4.81	1.2	6	-
Septiembre	4.28	1.2	5	-
Octubre	3.83	1.15	4	-
Noviembre	4.15	0.95	4	Noviembre
Diciembre	4.44	0.75	3	-

Fuente: Elaboración Propia

Los valores de coeficiente de cultivo K_c, se tomaron según la FAO, de donde resulta los valores de ETC (mm/día). Juntamente al mes de siembra se apertura el riego desde enero a mayo, teniendo una pausa en los meses de invierno, retomándose en noviembre, comúnmente conocido como riego de pre cosecha.

c) Necesidades brutas del cultivo

Según Torres & Rodríguez (2018), en su estudio “evaluación hidráulica del riego con enrolladores en el cultivo de caña de azúcar” obtuvieron que la eficiencia en la distribución del agua estuvo en un rango de 80 a 82% y el mayor coeficiente de uniformidad fue de 87.65%. Con forme al estudio anterior se pretende alcanzar una eficiencia de 85% para este diseño.

Tabla 10. Resultados del cálculo de necesidades brutas del cultivo

Mes	ETo	KC	ETC	Eficiencia	Nb	Meses de riego
	mm/día		mm/día	%	mm/día	
Enero	4.84	0.4	2	85	2	Enero (Siembra)
Febrero	5.4	0.4	2	85	3	Febrero
Marzo	5.89	0.7	4	85	5	Marzo
Abril	5.72	1.0	6	85	7	Abril
Mayo	4.94	1.2	6	85	7	Mayo
Junio	4.53	1.2	5	85	6	-
Julio	5.1	1.2	6	85	7	-
Agosto	4.81	1.2	6	85	7	-
Septiembre	4.28	1.2	5	85	6	-
Octubre	3.83	1.1	4	85	5	-
Noviembre	4.15	0.9	4	85	5	Noviembre
Diciembre	4.44	0.7	3	85	4	-
Promedio	4.83	0.9	5		5	

Fuente: Elaboración propia

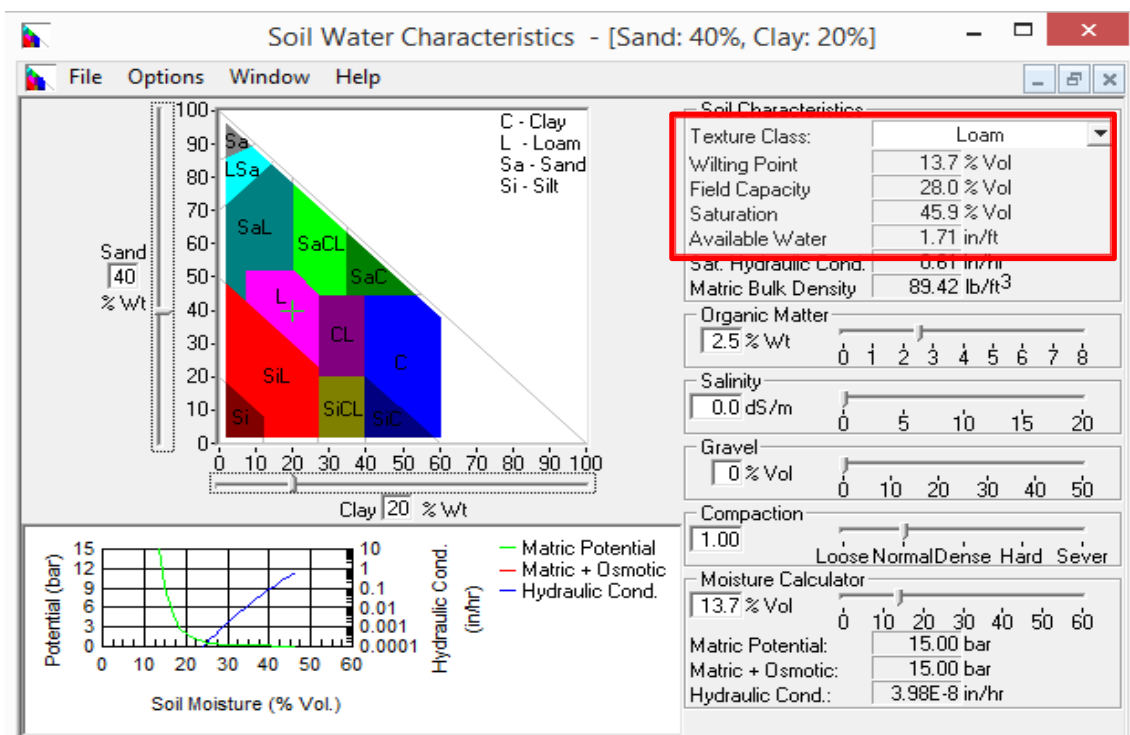
La necesidad bruta del cultivo está relacionada con la etapa fenológica en la que se encuentre el cultivo, por lo tanto, es muy variable, obteniendo en el mes de abril y mayo demandas máximas de 7mm/día, exactamente en la etapa de crecimiento. Realizando la valoración de las láminas/día, por cada mes de riego se llegó a la conclusión de usar una lámina de **5 mm/día** por las siguientes razones:

- La demanda máxima de 7 mm/día, solo la necesita en dos meses.
- Aplicar 7 mm/día lleva a un sobredimensionamiento del sistema de riego.
- Se prefirió tomar el promedio de todas las láminas el cual es de **5 mm/día**.
- Se están cubriendo la demanda de la mayor parte de meses de riego del cultivo.

d) Cálculo de la capacidad de campo (cc) y el punto de marchitez permanente (pmp)

En síntesis, para la determinación de la capacidad de campo y del punto de marchitez permanente se usó un programa de la USDA llamado **“Soil Water Characteristic”** (véase figura 20), calcula además de otras cosas las Cc el PMP y la textura del suelo, una vez ingresando al programa los datos de los porcentajes de arena y arcilla se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 11.

Fig. 20. Resultados de CC y PMP



Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Resultado de CC y PMP

Muestra	Textura	CC (%Vol.)	PMP (%Vol.)
1	Franca	28.2	13.7
2	Franca	28.6	12.6
3	Franca	21.6	8.2
4	Franco arenoso	20.4	8.1
5	Franco	33	16.9
6	Franco Arcilloso	32.7	18
7	Franco	31.9	15.8
8	Franco Limoso	28.5	11.5
9	Franco	26.3	11.5
10	Franco	23.6	10.4

Fuente: Elaboración propia

Con la finalidad de visualizar e interpretar de una mejor manera los resultados obtenidos se realizó una interpolación de los valores generando a través de ArcGIS generando un mapa que nos muestra la incidencia de los mismos (véase anexo J, K).

e) Cálculo de la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) o norma neta del suelo

Según (Romero, et al.) en su estudio del sistema radicular de la caña de azúcar se encontró que el 80% de las raíces se encuentra por encima de los 35 cm y solo un 20% por debajo de este, los resultados de este estudio fueron en suelos des compactados y de textura franco limoso.

Tabla 12. Resultado de lámina de agua rápidamente aprovechable

Muestra	CC (%vol.)	PMP (%vol.)	H (mm)	DPM %	LARA (mm)
1	28	13.7	450	60	38.61
2	28.6	12.6	450	60	43.2
3	21.6	8.2	450	60	36.18
4	20.4	8.1	450	60	33.21
5	33	16.9	450	60	43.47
6	32.7	18	450	60	39.69
7	31.9	15.8	450	60	43.47
8	28.5	11.5	450	60	45.9
9	26.3	11.5	450	60	39.96
10	23.6	10.4	450	60	35.64

Fuente: Elaboración propia

El déficit permitido de manejo (DPM) o umbral de riego para la caña de azúcar se estima según Cenicaña (2015) entre un 40 y un 60% del agua aprovechable. En consideración a lo antes mencionado se utilizó una profundidad radical de 45 cm y un DPM del 60%.

Los resultados de la lámina de agua aprovechable se muestran en la tabla 12.

f) Norma bruta del suelo

Para el cálculo de la norma bruta se dividió la norma neta o LARA entre la eficiencia del sistema, la cual anteriormente se definió como 85% y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 13. Resultados de norma bruta

Muestra	LARA (mm)	Eficiencia %	Norma Bruta (mm)
1	38.61	85	45.42
2	43.2	85	50.82
3	36.18	85	42.56
4	33.21	85	39.07
5	43.47	85	51.14
6	39.69	85	46.69
7	43.47	85	51.14
8	45.9	85	54.00
9	39.96	85	47.01
10	35.64	85	41.93

Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos se realizó un mapa de lámina bruta para la finca, esto con el fin de conocer las partes de la finca que requieren una mayor cantidad de lámina, el mapa fue elaborado auxiliándose del programa ArcGIS (véase anexo L)

Se tomó como lamina de reposición **50 mm** con base al promedio de las láminas máximas obtenidas.

g) Frecuencia de riego

La frecuencia de riego calculada tomando en cuenta la norma neta de suelo y el uso consuntivo del cultivo da un resultado de 10 días.

$$Fr = \frac{50mm}{5mm/dia} = 10 \text{ dias}$$

7.2.9. Cálculos agronómicos para carrete

a) Elección de Carrete y Lamina de Riego

El carrete escogido es de marca Bauer modelo Rainstar T-42 (véase anexo P, Q).

Se escogió esta marca y modelo por ser la que usa actualmente el ingenio Monte Rosa y la cual le ha presentado los mejores resultados.

Según Subiròs (1995) durante las fases iniciales (germinación y emergencia), los riegos deben de ser cortos pero frecuentes, debido al escaso desarrollo radical y a la rápida evaporación de la superficie. A medida que las raíces profundizan, la frecuencia se reduce, pero los volúmenes se aumentan, además experiencias realizadas, indican que riegos cortos pero frecuentes contribuyen a aumentar y mantener la productividad especialmente en suelos con poca capacidad de almacenamiento de agua.

También nos dice que, en suelos de textura liviana, los intervalos deben de ser acortados; lo contrario, se hace en suelos de textura arcillosa.

La Lámina bruta antes calculada fue de **50 mm**, sin embargo, con base a los criterios antes mencionados y tomando en cuenta los estudios de suelo de la finca como la textura franca, la porosidad total alta, se decidió dividir la lámina de reposición de **50 mm** y aplicarla en dos partes, como consecuencia de esto aumentar la frecuencia de riego, esto beneficiará al cultivo debido a que no correrá el riesgo de llegar a estrés hídrico. Se eligió finalmente como lámina de reposición **25 mm**; un 50% de la lámina calculada y se aumentó la frecuencia de riego a la mitad. Para suministrar esta lámina, la velocidad de retracción del carrete será de **26 m/h** (véase anexo P)

Cabe mencionar que, aunque se varió la lámina y la frecuencia de riego, los requerimientos diarios del cultivo de 5 mm están siendo suministrados y que en el último mes de riego la lámina se deja de 50 mm con frecuencias de 10 días, esto con el fin de no afectar la producción de sacarosa en el cultivo.

Las características elegidas de la ficha técnica del carrete se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 14. Carrete de riego BAUER T-42

Aspersor	SR-140 ULTRA BAUER
Diámetro de boquilla (mm)	26
Presión en la boquilla (Bar)	3.5
Radio de alcance (m)	45
Caudal (m ³ /h)	48.6
Long. Manguera (m)	300, (280)
velocidad de retracción (m/h)	26
Lámina aplicada (mm)	25

Fuente: Tomado de ficha técnica BAUER

b) Ancho de franja

El carrete riega una franja con largo máximo a la longitud total de manguera la cual es 300 metros y de la cual solo utilizamos 280 metros por seguridad de la máquina.

El mes donde la velocidad del viento ha sido mayor desde el 2010 a 2018 según estación meteorológica de Monte Rosa es el mes de enero dando un promedio de estos años de **2 m/s**

Diámetro efectivo = $0.9 * 90m = 81\text{metros}$

Ancho de franja (m)= $0.75 * 81 m = 60.75 m$

Redondeando el ancho de franja y tomando en cuenta la distancia de siembra se deja en **60 m**. La cantidad de surco que alcanzan en cada franja de 60 metros son 34 surcos, esto se obtiene dividiendo el ancho de la franja 60 m entre la distancia de siembra 1.75 m.

c) Marco de riego o riego por posición

El marco de riego se obtuvo multiplicando la longitud de la manguera y el ancho de la franja.

$$\text{Marco de riego}(m^2) = (60(m) * 280(m))/10,000 = \mathbf{1.68 Ha}$$

d) Cantidad de carretes

Corresponde a la cantidad de máquinas que pueden regar simultáneamente la finca, esta depende directamente del caudal de la fuente.

$$\text{N}^\circ \text{ de carretes} = \frac{295 (m^3/h)}{48.6 (m^3/h)} = \mathbf{6 Carretes}$$

e) Tiempo de recorrido o retracción

Es el tiempo que tarda el carrete en volver a enrollar la manguera, depende de la velocidad de retracción que se le programado, que en este caso fue de 26 m/h.

$$\text{Tiempo de recorrido (hr)} = \frac{280 m}{26 m/h} = \mathbf{10.8 hr}$$

f) Área asignada por carrete

Cada carrete le corresponde regar un área de 16.6 Ha

$$\text{Área por carrete} = \frac{99.75 (Ha)}{6 Carretes} = \mathbf{16.625 Ha/carrete}$$

g) Distancia recorrida del carrete por área asignada

$$\text{Distancia}(m) = \frac{16.625 (Ha) * 10,000}{60 (m)} = \mathbf{2,771 m}$$

h) Tiempo de riego por área asignada

El tiempo que se tarda un carrete en regar un área de 16.6 ha es de 106.6 horas, esto sin tomar en cuenta tiempos perdidos.

$$\text{Tiempo de riego (hr)} = \frac{2,771 (m)}{26(m/h)} = \mathbf{106.6 hr}$$

i) Frecuencia de riego

La jornada de riego diaria es de 22 horas efectivas, lo que permite tener un máximo de 2 horas de tiempo perdido al día para realizar el cambio de posición de los carretes.

La frecuencia de riego para aplicar una lámina de 25 mm a una velocidad de retracción de 26m/h, en un área de 16.6 ha es de 5 días.

$$\text{Frecuencia de riego(días)} = \frac{106.6 \text{ (hr)}}{22 \text{ (hr)}} = 4.84 \approx 5 \text{ días}$$

j) Área regada por carrete/día

Cada carrete riega en un día un área 3.42 ha

$$\text{Área regada por carrete/día(Ha)} = \left(\frac{1.68 \text{ (Ha)} * 22 \text{ (hr)}}{10.8 \text{ (hr)}} \right) = 3.42 \text{ Ha} \frac{\text{carrete}}{\text{día}}$$

k) Área regada por día

El área total que riegan los 6 carretes al día son 20.52 ha.

$$\text{Área regada/día (Ha)} = (3.42 \text{ Ha} * 6 \text{ carretes}) = 20.52 \text{ Ha/día}$$

7.3. DISEÑO HIDRÁULICO

7.3.1. Fuente de abastecimiento

La fuente de abasteciendo del sistema será por medio de una canal de conducción, este canal vendrá desde el efluente industrial de la fábrica del ingenio Monte Rosa, el caudal necesario para el proyecto es de 1300 gpm.

7.3.2. Diseño geométrico

Una vez obtenido el diseño de la finca y tomando en cuenta el tipo de sistema de riego se procedió a la distribución de la red de tuberías por los caminos trazados previamente, todo esto se llevó a cabo con ayuda del programa ArcGIS.

Se buscó el punto más indicado para la estación de bombeo, ubicado a una elevación de 28 msnm, de fácil acceso, así como la mejor ruta de la red tomando en cuenta la eficiencia, el funcionamiento del sistema de riego, se proyectaron las tuberías maestras, las conductoras y la posición de los hidrantes de riego (véase anexo M).

7.3.3. Calidad de lluvia del aspersor

$$IG = 12.85 * \frac{3.57^{1.3}}{26} = 2.58$$

- D = Diámetros de la boquilla (mm)
- IG < 7= Gotas gruesas.
- IG > 17= Gotas finas.
- IG 7 a 17 = Grosor de gotas recomendables.

Aunque el índice de calidad de lluvia nos indica que tenemos gotas gruesas, estas no causan ningun efecto negativo en el cultivo de la caña, ademas de sufrir menos el impacto de los vientos en el riego.

7.3.4. Intensidad de aplicación

La intensidad de aplicación debe ser menor a la velocidad de infiltración del suelo.

$$Ia = \frac{26 \text{ m/h}}{10.08 \text{ h}} = 2.4 \text{ mm/h}$$

La velocidad de infiltración para suelos francos anda de 8 a 20 mm/h y esta es mayor a la intensidad obtenida de 2.89 mm/h, por lo tanto, se infiere que el cañón no provocara escorrentía en el suelo.

7.3.5. Cálculo de los diámetros de las tuberías

Los diámetros de toda la red de tuberías se calcularon al tanteo hasta llegar al mejor diámetro económico y funcional.

7.3.6. Evaluación de líneas hidráulicas

Teniendo en cuenta el diseño geométrico y operativo, se propusieron los diámetros de las tuberías y se fueron evaluando al tanteo calculando las pérdidas por fricción y las velocidades, hasta encontrar los diámetros adecuados.

En la evaluación de la velocidad se tomó como referencia lo mencionado por Briceño, Álvarez, & Barahona (2012) que la velocidad del agua dentro de la tubería puede variar de 0.6 a 2.4 m/s.

Considerando también lo que establece Fontova & Garcia (2001), en su libro de ingeniería de riego plantean que las pérdidas por fricción en una tubería de riego deben de ser menores al 20% de la presión de operación del aspersor y que las pérdidas por fricción una tubería maestra no debe de ser mayor al 25% de la presión de operación del aspersor.

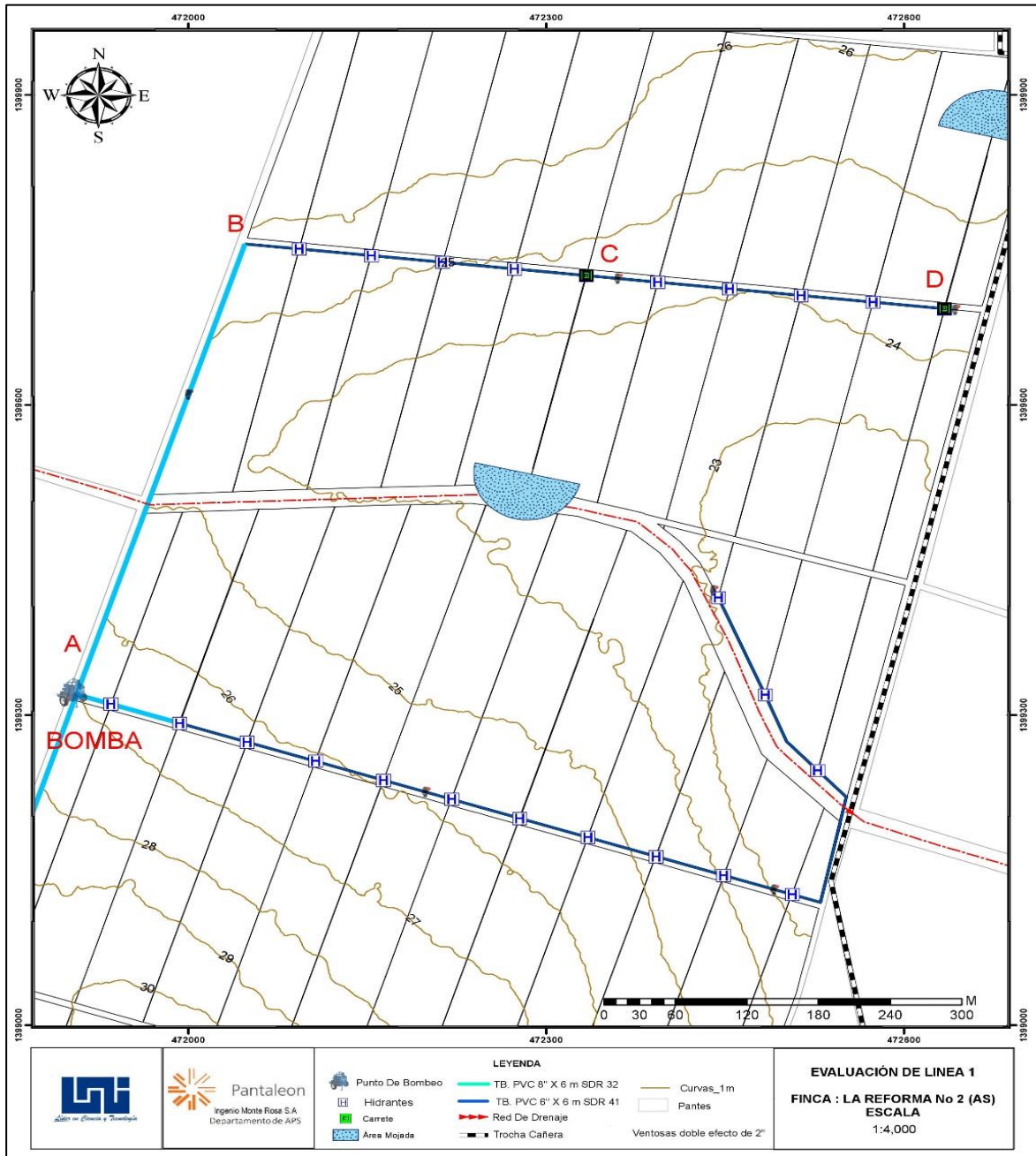
Debido a que este tipo de sistema tiene como característica general que lateral de riego lo constituye una manguera, no se tuvo que diseñar laterales y solamente se aplicó el criterio para las tuberías maestras.

La red se dividió en cuatro líneas y estas se evaluaron en su posición más desfavorable para encontrar así la más crítica de las cuatro, de manera que todo el sistema pueda tener una óptima operación en su punto más desventajoso.

a) Evaluación hidráulica de línea No1.

La línea a continuación evaluada se denominó Línea 1, la cual va desde la bomba hasta la parte norte de la finca como se muestra en la Figura 21. y en la tabla 15 se muestran los resultados obtenidos de la evaluación.

Fig. 21. Evaluación de línea No. 1



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15. Resultados de evaluación de línea 1

TRAMOS	Long. (m)	Caudal		Diámetro Nominal (Pulg.)	Diámetro Interno		C	Veloc. (m/s)	Hf (m)	Hf (PSI)
		GPM	LPS		Pulg.	mm				
Bomba A	10.00	1,300.00	81.90	8	8.205	208.41	150	2.40	0.22	0.31
A B	460.00	433.33	27.30	8	8.205	208.41	150	0.80	1.31	1.86
B C	288.00	428.00	26.96	6	6.301	160.05	150	1.34	2.88	4.10
C D	305.00	214.00	13.48	6	6.301	160.05	150	0.67	0.84	1.20
TOTAL	1,063.00								5.25	7.46

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la evaluación muestran que tanto las velocidades y la suma de las pérdidas por fricción están en el rango adecuado considerando los criterios anteriormente planteados, lo cual significa que los diámetros que se tomaron son los correctos.

Luego de calcular las pérdidas por fricción y las velocidades se tomó en cuenta las cotas del terreno para calcular la carga estática de impulsión y conocer las pérdidas totales de la línea, cabe mencionar que las pérdidas locales o singulares ya van sumadas en la evaluación y que se tomaron como el 8% de las pérdidas por fricción.

- Nivel de terreno natural= 27m
- Altura del eje de la bomba= 1.5 m
- Cota de la Bomba = 27+1.5 = **28.5 m**

- Nivel de terreno natural = 25.29 m
- Altura del trineo= 1.1m
- Cota del aspersor = 25.29 +1.1 = **26.39 m**

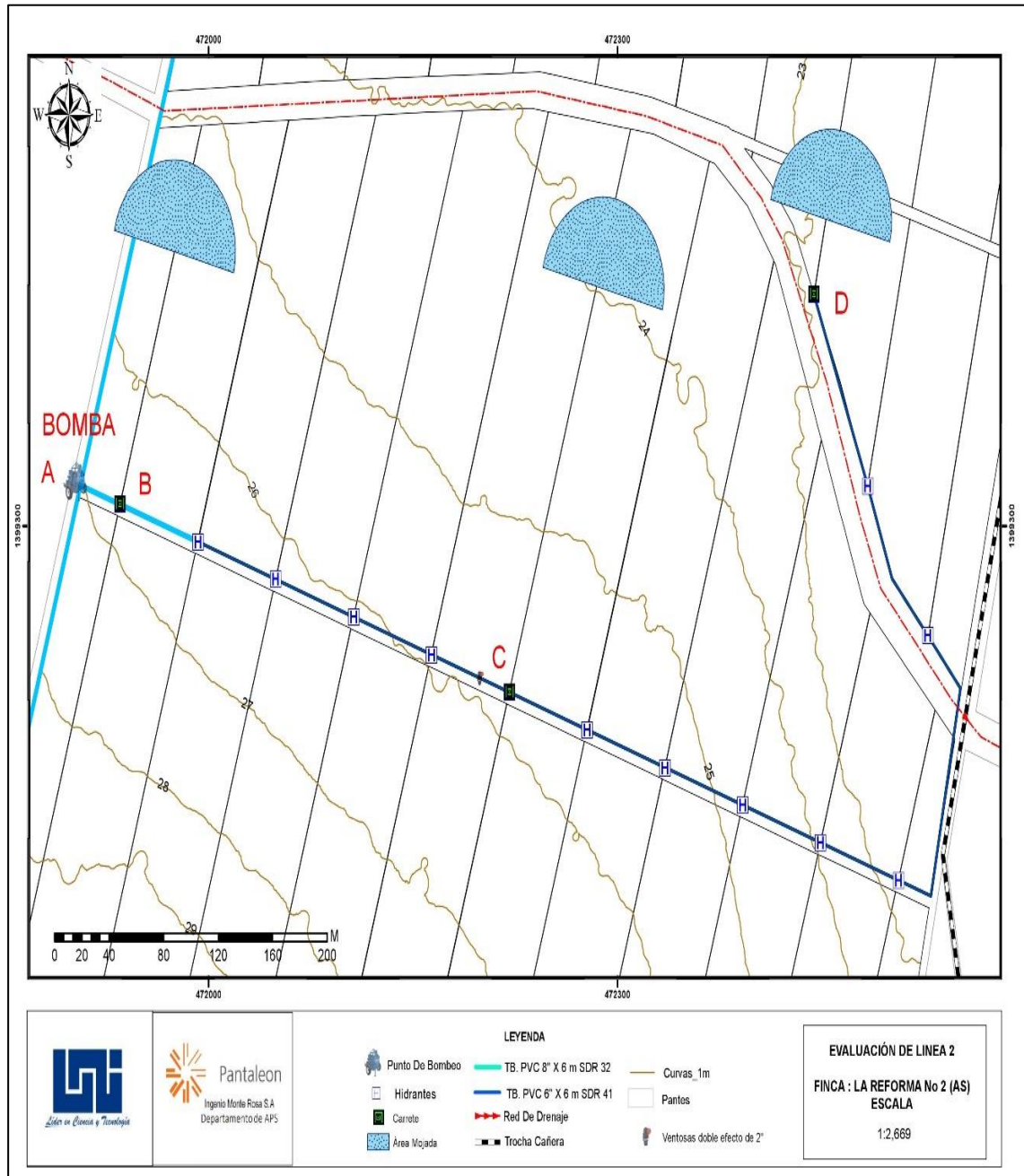
Carga estática de impulsión = (28.5 - 26.39) *1.42= 3 PSI

Pérdidas totales= 7.46 – 3 = 4.46 PSI

b) Evaluación hidráulica de línea No. 2

La siguiente línea de la red que se evaluó se denominó Línea 2, la cual va desde la bomba a la parte este de la finca, como se ve en la Figura 22 y los resultados mostrados en la tabla 16.

Fig. 22. Evaluación de línea No. 2



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16. Resultado de evaluación de línea 2

TRAMOS	Long. (m)	Caudal		Diámetro Nominal (Pulg.)	Diámetro Interno		C	Veloc. (m/s)	Hf (m)	Hf (PSI)
		GPM	LPS		Pulg.	mm				
Bomba A	10.00	1,300.00	81.90	8	8.205	208.41	150	2.40	0.22	0.31
A B	30.00	650.00	40.95	8	8.205	208.41	150	1.20	0.18	0.26
B C	300.00	433.33	27.30	6	6.301	160.05	150	1.36	3.07	4.37
C D	655.00	216.66	13.65	6	6.301	160.05	150	0.68	1.86	2.64
TOTAL	995.00							-	5.32	7.57

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la evaluación arrojados con los diámetros propuestos fueron los adecuados, tanto las velocidades como las pérdidas por fricción.

Las pérdidas singulares al igual que en el caso anterior se estimaron como el 8 % de las pérdidas por fricción y estas ya van sumadas en la evaluación.

Para calcular las pérdidas totales y la carga estática de impulsión se restó la diferencia de nivel de la bomba y del punto de entrega más desfavorable.

- Nivel de terreno natural= 27m
- Altura del eje de la bomba= 1.5 m
- Cota de la Bomba = 27+1.5 =**28.5 m**

- Nivel de terreno natural = 22.9 m
- Altura del trineo= 1.1m
- Cota del aspersor = 22.9 +1.1 = **24 m**

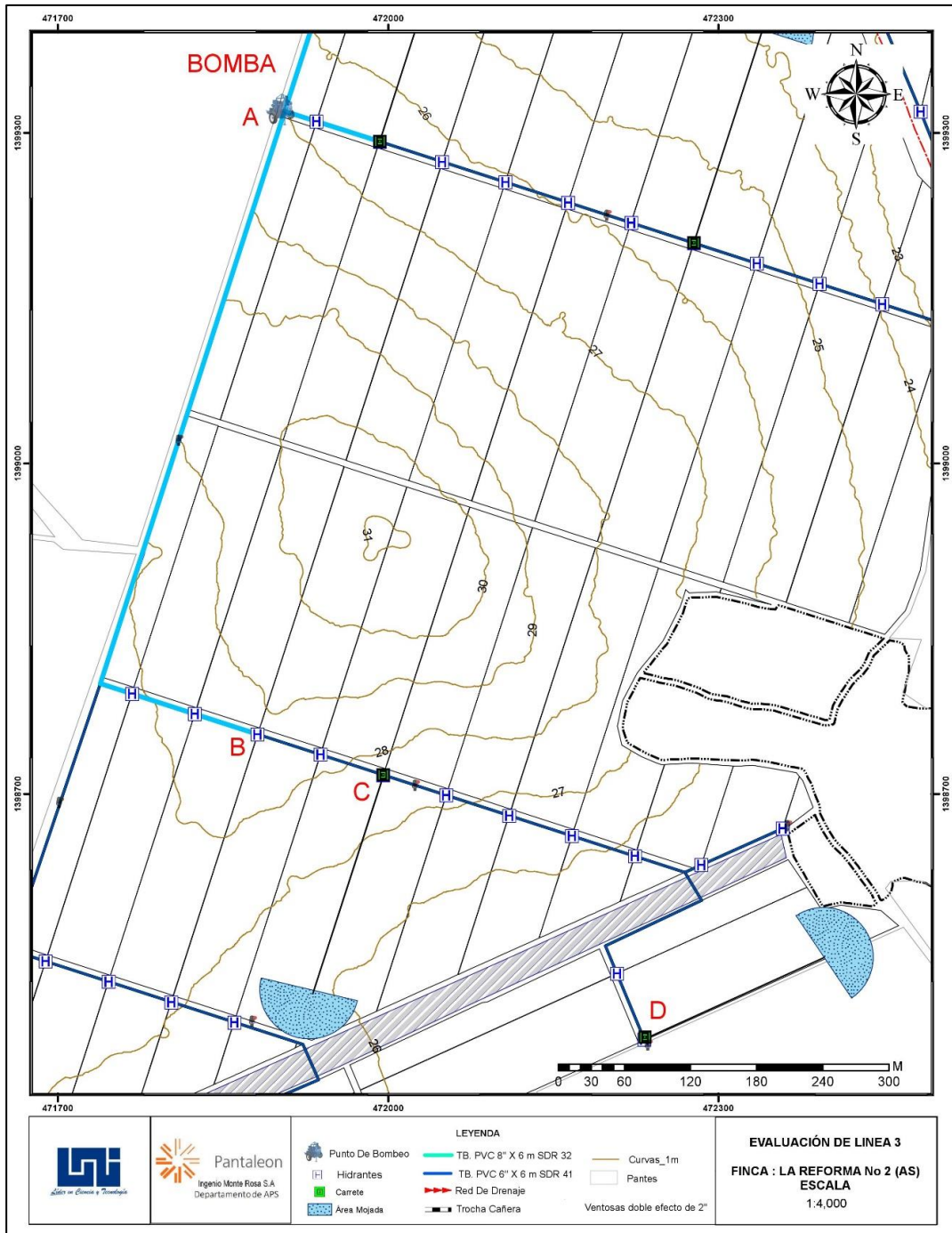
$$\text{Carga estática de impulsión} = (28.5 - 24) * 1.42 = 6.39 \text{ PSI}$$

$$\text{Pérdidas totales} = 7.57 - 6.39 = 1.18 \text{ PSI}$$

c) Evaluación hidráulica de línea No. 3

De igual manera se evaluó la línea 3, la cual va desde la bomba a la parte sureste de la finca como se ve en la Figura 23 y los resultados mostrados en la tabla 17.

Fig. 23. Evaluación de línea No.3



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17. Resultado de evaluación de línea 3

TRAMOS	Long. (m)	Caudal		Diámetro Nominal (Pulg.)	Diámetro Interno		C	Veloc. (m/s)	Hf (m)	Hf (PSI)
		GPM	LPS		Pulg.	mm				
Bomba A	10.00	1,300.00	81.90	8	8.205	208.41	150	2.40	0.22	0.31
A B	696.00	428.00	26.96	8	8.205	208.41	150	0.79	1.93	2.75
B C	180.00	428.00	26.96	6	6.301	160.05	150	1.34	1.80	2.56
C D	445.00	216.00	13.61	6	6.301	160.05	150	0.68	1.25	1.78
TOTAL	1,331.00								5.20	7.40

Fuente: Elaboración Propia

Al igual que los casos anteriores los resultados están en el rango de lo admitido.

Se calculó la carga estática de impulsión y las pérdidas totales de la línea 3.

- Nivel de terreno natural= 27m
- Altura del eje de la bomba= 1.5 m
- Cota de la Bomba = 27+1.5 =**28.5 m**
- Nivel de terreno natural = 25.3 m
- Altura del trineo= 1.1m
- Cota del aspersor = 25.3 +1.1 = **26.4 m**

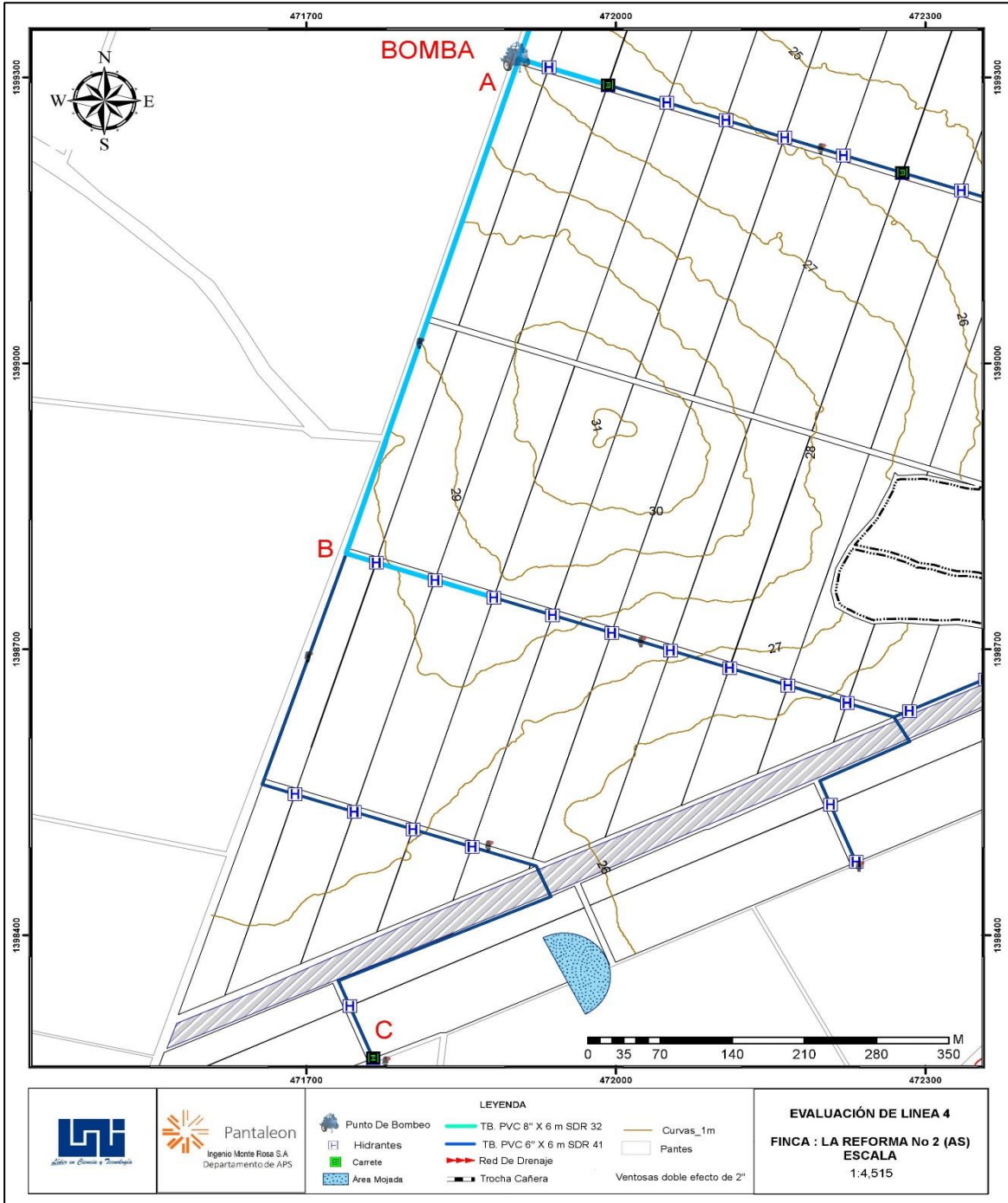
Carga estática de impulsión = (28.5 - 26.4) *1.42 = 3 psi

Pérdidas totales = 7.4 – 3 = 4.4 psi

d) Evaluación hidráulica de línea No. 4

La línea 4 comprende el tramo que va desde la bomba hasta la parte sur de la finca, se muestra en la figura 24 y los resultados de la evaluación en la tabla 18.

Fig. 24. Evaluación de línea No.4



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18. Resultados de evaluación de línea 4

TRAMOS	Long. (m)	Caudal		Diámetro Nominal (Pulg.)	Diámetro Interno		C	Veloc. (m/s)	Hf (m)	Hf (PSI)
		GPM	LPS		Pulg.	mm				
Bomba A	10.00	1,300.00	81.90	8	8.205	208.41	150	2.40	0.22	0.31
A B	546.00	428.00	26.96	8	8.205	208.41	150	0.79	1.51	2.15
B C	884.00	216.00	13.61	6	6.301	160.05	150	0.68	2.49	3.54
TOTAL	1,440.00		0.00		6.301	160.05	150	-	4.22	6.01

Fuente: Elaboracion Propia

La línea 4 es la línea más larga, y los resultados obtenidos están en el rango de los aceptable.

Se calculó como en los casos anteriores la carga estática de impulsión y las pérdidas totales.

- Nivel de terreno natural= 27m
- Altura del eje de la bomba= 1.5 m
- Cota de la Bomba = 27+1.5 =**28.5 m**
- Nivel de terreno natural = 26.1 m
- Altura del trineo= 1.1m
- Cota del aspersor = 26.1 +1.1 = **27.2 m**

Carga estática = (28.5 - 27.2) *1.42 = 1.85 psi

Pérdidas totales= 6.01 - 1.85= 4.16 psi

Después de haber realizado la evaluación hidráulica de las cuatro líneas en sus posiciones más críticas, se llegó a la conclusión que la línea 1 es la más desfavorable y donde se presentan las mayores pérdidas de carga, por lo tanto, es la que se usara en el cálculo de la carga total dinámica.

7.3.7. Válvulas ventosas y lavados

Se colocaron válvulas ventosas de doble efecto y lavados al final o tope de cada línea de la red, además las válvulas se colocaron en los puntos más altos y a cada 300 metros de separación esto con el fin de hacer salir y entrar el aire a la tubería durante el arranque y parada del motor.

Fig. 26 Válvula doble efecto



Fuente: Elaboración Propia

Fig. 25. Lavado



Fuente: Elaboración Propia

7.3.8. Cavitación

Es necesario prevenir el fenómeno de la cavitación se debe cálculo del NPSH disponible (carga neta de succión positiva), el NPSH requerido es el dato que trae la bomba, que para nuestro caso es de 4.6 m.

Para evitar el riesgo de cavitación por presión de succión, se debe cumplir que:

$$\text{NPSH}_{\text{disponible}} > \text{NPSH}_{\text{requerido}}$$

$$\text{NPSH}_{\text{disponible}} = 10.33 - (0.24 + 3.55 + 0.2) = 6.34 \text{ m}$$

$$\text{Se cumple que } 6.34 \geq 4.6$$

7.3.9. Carga dinámica de succión (hs)

Para el cálculo de la carga dinámica de succión, se sumó la carga estática de succión más las pérdidas por fricción en la tubería de succión.

$$\text{HS} = \text{hs} + \text{Hf}$$

a) Carga estática de succión (hs)

Para obtener la carga estática de succión solo se resta la cota del eje de la bomba menos la cota del espejo de agua del canal.

- Nivel de terreno natural= 27m
- Altura del eje de la bomba= 1.5 m
- Cota de la Bomba = 27+1.5 =**28.5 m**
- Nivel de terreno natural = 27 m
- Prof. Espejo de agua= 1 m
- Cota del nivel del agua = 27 - 1 = **26 m**

$$hs \text{ (PSI)} = (28.5 - 26) * 1.42 = 3.55 \text{ PSI}$$

Tabla 19. Pérdidas por fricción en tubería de succión

TRAMOS	Long. (m)	Caudal		Diámetro Nominal (Pulg.)	Diámetro Interno		C	Veloc. (m/s)	Hf (m)	Hf (PSI)
		GPM	LPS		Pulg.	mm				
A Bomba	6.00	1,300.00	81.90	8	8.205	208.41	150	2.40	0.13	0.19

Fuente: Elaboración Propia

b) Perdidas por fricción en la tubería de succión (Hf)

$$Hf = 0.19 \text{ psi}$$

$$Hs = 3.55 + 0.19 = 3.74 \text{ Psi}$$

7.3.10. Carga estática de impulsión (hi)

- Nivel de terreno natural= 27m
- Altura del eje de la bomba= 1.5 m
- Cota de la Bomba = 27+1.5 =**28.5 m**
- Nivel de terreno natural = 25.29 m
- Altura del trineo= 1.1m
- Cota del aspersor = 25.29 + 1.1 = **26.39 m**

$$hi \text{ (psi)} = (28.5 - 26.39) * 1.42 = 3 \text{ PSI}$$

Hf antes calculado es para la línea 1 es de 7.46 psi

$$Hi = 7.46 - 3 = 4.46 \text{ psi}$$

7.3.11. Carga total dinámica (CTD)

$$CTD = H_s + H_i + H_{requerido}$$

La presión requerida en el hidrante más crítico es de 105.85 psi

$$CTD = 3.74 + 4.46 + 105.85$$

$$CTD = 113.99 \text{ PSI} = 114.0 \text{ P}$$

Los 114 se divide entre 1.42 para obtener 80.28 m.c.a.

Presión en la descarga de la bomba

$$105.85 + 4.46 = 110.25 \text{ PSI}$$

7.3.12. Potencia de bombeo

La carga total dinámica calculada anteriormente es de **80.28 m.c.a.**

El caudal total bombeado es de **1,300 gpm** o de 82 l/s

La eficiencia de la bomba es de **76%** según su curva y la del motor de **90%**

Reemplazando los valores de la potencia de la bomba y del motor es de **126.63 hp.**

$$P_b = \frac{82 * 80.28}{76 * 0.9 * 0.76} = 126.63 \text{ hp}$$

7.3.13. Selección de motor y bomba

Se buscó un motor que cumpliera con la potencia requerida de 126 hp a 1,800 rpm (revoluciones por minuto), el motor que se selecciono fue un motor diésel marca John Deere modelo 6068TF150 de 6 cilindros.

El motor seleccionado entrega una potencia de 130 hp a 1800 rpm, el cual es un poco más de lo requerido por la bomba, sin embargo, siempre se escoge la potencia comercial más cercana por exceso (véase anexo R)

Consecuentemente se optó por una bomba que cumpliera con los requerimientos de carga total dinámica de 80.28 m.c.a. y un caudal de bombeo de 1300 gpm, se eligió una bomba centrífuga marca Cornell modelo 4HC EM, con una eficiencia de 76% y un diámetro de rodete de 16.44 pulgadas (véase anexo S, T)

7.4. DISEÑO OPERATIVO

Una vez definido el diseño geométrico de la red, se procedió a realizar el diseño operativo del sistema, el cual en su primera etapa consistió en dividir la finca en las 16.5 ha que le corresponden a cada carrete.

El área de la finca se dividió en 6 partes las cuales corresponden al número de carretes del sistema, tratando que se ajusten lo más posible a las 16.5 Ha, aunque esto es casi imposible por la forma irregular de la finca, sin embargo, siempre se trató de dejar las áreas lo más aproximado a 16.5 ha, esto con la finalidad de que cada carrete termine de regar su respectiva área en un tiempo igual.

Luego de dividir las áreas, se dibujó el sentido de la operatividad o de los movimientos de los carretes por cada puesta o cambio de posición. El cambio y la puesta de los 6 carrete se realiza con un tractor, para poder realizar cada cambio se bajan las revoluciones del motor sin apagarlo esto con el fin de compensar la sobrepresión en el sistema sin dejar que los demás carretes dejen de regar.

Una vez definidos todos estos parámetros se extrajo el plano operativo, el cual es el que utilizan los regadores para realizar toda la operación del riego, todo este diseño se realizó en ArcGIS (véase anexo N).

Tabla 20. Áreas regadas por carrete

N° CARRETE	ÁREA (ha)
Carrete # 1	16.12
Carrete # 2	15.85
Carrete # 3	16.01
Carrete # 4	16.41
Carrete # 5	17.69
Carrete # 6	17.62
TOTAL	99.70

Fuente: Elaboración Propia

7.5. CÁLCULO DE LOS COSTOS DE INVERSIÓN DEL PROYECTO

7.5.1. Costos de tuberías y accesorios

Al contabilizar las cantidades de tuberías, accesorios según su tipo, diámetro, el costo de estos es de 30,361.87 dólares, con base en los precios de proveedores de Monte Rosa; la tabla 21 desglosa a detalle cada uno ellos.

Tabla 21. Costos de tuberías y accesorios

Ítem	Tuberías y Accesorios PVC	Cant.	Costo US\$	
			Unitario	Total
1	Tubo PVC 8"x 20' SDR 32.5 C/Cementado	215	59.66	12,826.90
2	Tubo PVC 6"x 20' SDR 41 C/Cementado	530	27.95	14,813.50
3	Tubo PVC 4"x 20' SDR 41 C/Cementado	10	13.21	132.10
4	Tubo PVC 2"x 20' SDR 32.5 C/Cementado	3	4.64	13.92
5	Flange PVC 8" SCH 40 Eje Libre	2	17.39	34.78
6	Tee Lisa 8" PVC - SCH40	8	54.94	439.52
7	Tee Lisa 6" PVC - SCH40	45	9.08	408.60
8	Tee Lisa 4" PVC - SCH40	6	4.21	25.26
9	Reducción lisa 8"x6" PVC - SCH40	10	27.41	274.10
10	Reducción lisa 6"x4" PVC - SCH40	43	4.50	193.50
11	Reducción lisa 4"x2" PVC - SCH40	14	1.52	21.28
12	Adapt. M 4" PVC - SCH40	3	1.18	3.53
13	Adapt. H 4" PVC - SCH40	43	1.49	63.97
14	Adapt. H 2" PVC - SCH40	14	0.39	5.46
15	Tap. H c/r 4" PVC - SCH40	5	1.70	8.48
16	Codo liso 8"x 90° PVC - SCH40	2	40.93	81.86
17	Codo liso 6"x 90° PVC - SCH40	7	6.68	46.76
18	Codo liso 4"x 90° PVC - SCH40	0	2.41	0.00
19	Codo liso 8"x 45° PVC - SCH40	2	38.57	77.14
20	Codo liso 6"x 45° PVC - SCH40	3	6.68	20.04
21	Codo liso 4"x 45° PVC - SCH40	5	2.58	12.91
22	Unión lisa 8" - SCH40	5	13.79	68.95
23	Unión lisa 6" - SCH40	5	3.45	17.27
24	Unión lisa 4" - SCH40	5	1.16	5.82
25	Pegamento p/PVC (litro)	120	6.20	743.64
26	Tubo Silicón	3	7.53	22.59
Sub - Total:				30,361.87

Fuente: Elaboración Propia

7.5.2. Costo de equipos y accesorios de riego

El costo de los equipos y accesorios de riego se obtuvo de igual manera, los precios son los establecidos por los proveedores del Ingenio Monte Rosa, los costos son de 90,911.64 y 5,700 dólares, (ver tabla 22) igualmente para la sarta de descarga de la bomba respectivamente (ver tabla 23).

Tabla 22. Costos de equipos y accesorios de riego

Ítem	Equipos y accesorios de riego	Cant	Costo US\$	
			Unitario	Total
27	Hidrante 4" Conexión Macho NPT	43	38.83	1,669.69
28	Codo Llave Alum 4" x 3"	6	44.33	265.99
29	Carrete	6	14,500.00	87,000.00
30	Válvula Ventosa 2" Doble Efecto	13	76.61	995.93
31	Válvula Cinética 2"	1	21.99	21.99
32	Válvula de Alivio 2"	1	209.28	209.28
33	Manómetro Glicerina 0-150 psi	1	9.00	9.00
34	Manómetro Glicerina 0-60 psi	6	9.00	54.00
35	Medidor de Caudal 8"	1	378.20	378.20
36	Válvula Check 8"	1	130.14	130.14
37	Junta de Expansión 8"	1	177.42	177.42
Sub - Total:				90,911.64

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 23. Costos de sarta de descarga

Ítem	Sarta de Descarga	Cant	Costo US\$	
			Unitario	Total
38	Sarta de Descarga 8" HG	1	1,500.00	1,500.00
39	Carretón p/motor + Tanque combustible	1	4,200.00	4,200.00
Sub - Total:				5,700.00

Fuente: Elaboración Propia

7.5.3. Costos de mano de obra y maquinaria

El costo de la mano de obra para la instalación del proyecto es de 3,139.90 dólares (ver tabla 24), el de la maquinaria para el zanjeo y el tapado es de 5,996.55 (ver tabla 25).

Tabla 24. Costos de mano de obra para instalación

Ø Tubería	Cant. (mL)	C. Unitario	Total (US\$)
8" SDR-32.5	1,290	0.65	838.50
6" SDR-41	3,180	0.58	1,844.40
4" SDR-41		0.51	0.00
FISCAL MAQUINARIA	10	12.50	125.00
ARMADO DE MAT. RIEGO	1	300.00	300.00
BLOQUES DE REACCIÓN	1	32.00	32.00
TOTAL US\$:			3,139.90

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 25. Costos de maquinaria para instalación

Labor	Cant. (mL)	Rend. (mL/hr)	Horas Máq.	C. Unitario	Total (US\$)
Zanjeo	4,470	100	44.70	70.00	3,129.00
Tapado	4,470	110	40.64	70.00	2,844.55

Traslado Maquinaria:

Labor	Descripción	Dist. (Km)	C. Unitario	Total (US\$)
Traslado	Low boy+Cabezal	20	1.15	23.00
TOTAL US\$:				5,996.55

Fuente: Elaboración Propia

7.5.4. Costo por hectárea del proyecto

La tabla 26 muestra todos los costos del proyecto y el total de la suma de estos que es de 178,029.67 dólares, además se muestra el costo total del proyecto del sistema de riego con carretera por hectárea el cual es de 1,784.76 dólares.

Tabla 26. Costo total del proyecto por hectárea

Área (Ha)	PVC (US\$)	Equipo de Riego (US\$)	BOMBA (US\$)	MOTOR (US\$)	M.O. Y MAQ. (US\$)	TOTAL (US\$)	INVERSIÓN (US\$ / ha)
99.75	30,361.87	96,611.64	19,000.00	18,000.50	14,055.67	178,029.67	1,784.76

Fuente: Elaboración Propia

VIII. CONCLUSIONES

Una vez completado el diseño del proyecto se concluye lo siguiente:

a) *Diseño de finca*

Se determinaron las curvas de nivel, permitiendo establecer direcciones de surcos adecuadas, evitando la erosión hídrica y optimizando las operaciones de la maquinaria; además, se estableció la red de caminos secundarios con un ancho de 6 metros, calles de 2 metros de ancho para la operación del trineo del carrete, se dividió la finca en 3 lotes, con un área productiva de 99.75 ha y un área improductiva de 14.82 ha, la que equivale a un 12.9 % del área total.

b) *Diseño agronómico*

Del análisis de suelo se obtuvo que las densidad aparente y real son bajas, indicando que el suelo no está compactado; porosidad total fue alta, lo que indica que la velocidad de infiltración es buena; textura Franca en un 73% del área total de la finca, siendo esta la textura ideal para el desarrollo radicular de la caña. En el diseño agronómico se determinó una evapotranspiración ajustada de **5 mm/día**, aplicando láminas de **25 mm** por riego a una velocidad de 26 m/h con una frecuencia de 5 días, la cantidad de carretes son 6 y estos riegan cerca de 20 ha por día.

c) *Diseño hidráulico y operativo*

El diseño hidráulico, requiere una carga total dinámica de 82 m.c.a. una presión en la descarga de 110 PSI, con requerimientos de potencia de 127 hp, se escogió un motor John Deere modelo 6068 TF 150 el cual brinda una potencia de 130 hp a 1800 rpm, por consiguiente, necesita una bomba centrifuga Cornell con diámetro de rodete de 16.44 pulgadas.

d) *Costo del proyecto*

El costo total del proyecto se determinó en base al cálculo de las tuberías, accesorios PVC, los materiales y equipos de riego, mano de obra y maquinaria, obteniendo un costo total de **U\$ 178,029.77**, lo cual equivale a **U\$ 1,784.76** dólares por hectárea.

IX. RECOMENDACIONES

Una vez concluido el diseño del proyecto se recomienda lo siguiente:

a) *Diseño de finca*

Al momento de implementar en campo el diseño de la finca, este sea lo más certero posible respecto al plano de diseño, la calle de los carretes no debe de quedar más anchas que 2.10 m, esto para evitar reducir el área agrícola, también se debe de tomar en cuenta las distancias de los hidrantes, que estas sean las indicadas en los planos, además se recomienda realizar un estudio de los costos del diseño de finca y agregarse al costo total del proyecto ya que este estuvo fuera de los alcances de este estudio.

b) *Diseño agronómico*

En el diseño agronómico se recomienda realizar una evaluación de la eficiencia del sistema de riego una vez este se encuentre operando, esto con el fin de confirmar el coeficiente de uniformidad del mismo.

c) *Diseño hidráulico*

Al momento de la instalación hidráulica, esta debe ser estrictamente supervisada para que siga las indicaciones del plano, para que cada elemento quede en el lugar que le corresponde y con una buena calidad en la instalación.

d) *Costo del proyecto*

También se recomienda actualizar los costos de materiales y equipos una vez que se apruebe este proyecto, a fin de evaluar financieramente la ejecución del mismo.

Finalmente se recomienda realizar un estudio de los costos operativos del sistema ya que este estuvo fuera de los objetivos de este proyecto sin embargo el costo operativo es un estudio de suma importancia y complementario a este proyecto.

X. Bibliografía

- Romero, J., Roque , C., Sosa, F., Sotomayor, C., Morandini, M., & Aranda, N. (s.f.). Estudios del sistema radicular. *Suelos y Nutrición Vegetal*, 7.
- Aguilar, N., Algara, M., & Olvera, L. (2015). Gestión del agua como factor limitante de productividad cañera en México. *Revista de Geografía Norte Grande*, 18.
- BAUER. (s.f.). Obtenido de <https://www.bauer-at.com/es/products/irrigation/rainstar>
- Briceño, M., Álvarez, F., & Barahona, U. (2012). *manual de riego y drenaje*. Honduras.
- Carrete de Riego. (21 de Noviembre de 2017). *Tiempo de negocios hoy*. Obtenido de Carretes de riego: un sistema con grandes ventajas: <https://www.tiempodenegocioshoy.com/negocios/carretes-de-riego-un-sistema-con-grandes-ventajas>
- Cenicaña. (31 de 04 de 2015). *Cenicaña*. Obtenido de <https://www.cenicana.org/determinacion-en-campo-de-la-lara-para-el-balance-hidrico/>
- Centro de Ecosistemas Acuaticos, Universidad centroamericana. (2007). *Línea de Base y Trayectoria del Cambio, Comunidad de Aserradores*. El Viejo.
- Comisión Nacional del Agua . (DICIEMBRE de 2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. (S. d. Naturales, Ed.) Tlalpan, México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Obtenido de www.conagua.gob.mx : <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/09DisenoDeInstalacionesMecanicas.pdf>
- EcuRed. (s.f.). *Sistema_de_Riego-EcuRed*. Recuperado el 02 de Octubre de 2019, de https://www.ecured.cu/Sistema_de_Riego#Riego_con_aspersores

FAO. (1990). *Evapotranspiración del cultivo*.

FAO. (s.f.). *FAO*. Obtenido de http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/GeneraI/x6706s/x6706s06.htm

FAO. (s.f.). *FAO.org*. Obtenido de III. Factores que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego más adecuado: <http://www.fao.org/3/aj470s/aj470s02.pdf>

Fernández Gómez, Rafael. (2010). Manual de riego para agricultores. *Riego por aspersión*, 30,31,32,33,34,35. SEVILLA : Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación. Recuperado el 26 de Diciembre de 2019

Fontova, M., & Garcia, H. (2001). *INGENIERIA DE RIEGO*. La Habana: Felix Varela.

Galeas, G. (s.f.). *Prácticas sobre tuberías*, MEXICHEM. Obtenido de <https://www.slideshare.net/gwpcam/prctica-sobre-tuberias>

Hernandez, F. (s.f.). *Agrotecnología tropical*. Obtenido de Densidad aparente suelo o sustrato y su relación con los programas de fertilización y riego: http://www.agro-tecnologia-tropical.com/densidad_aparente.html

MASAGRO. (s.f.). *AGROSCOPIO.COM*. Obtenido de AGROSCOPIO.COM: <http://www.agroscopio.com/ec/directorio/masagro/>

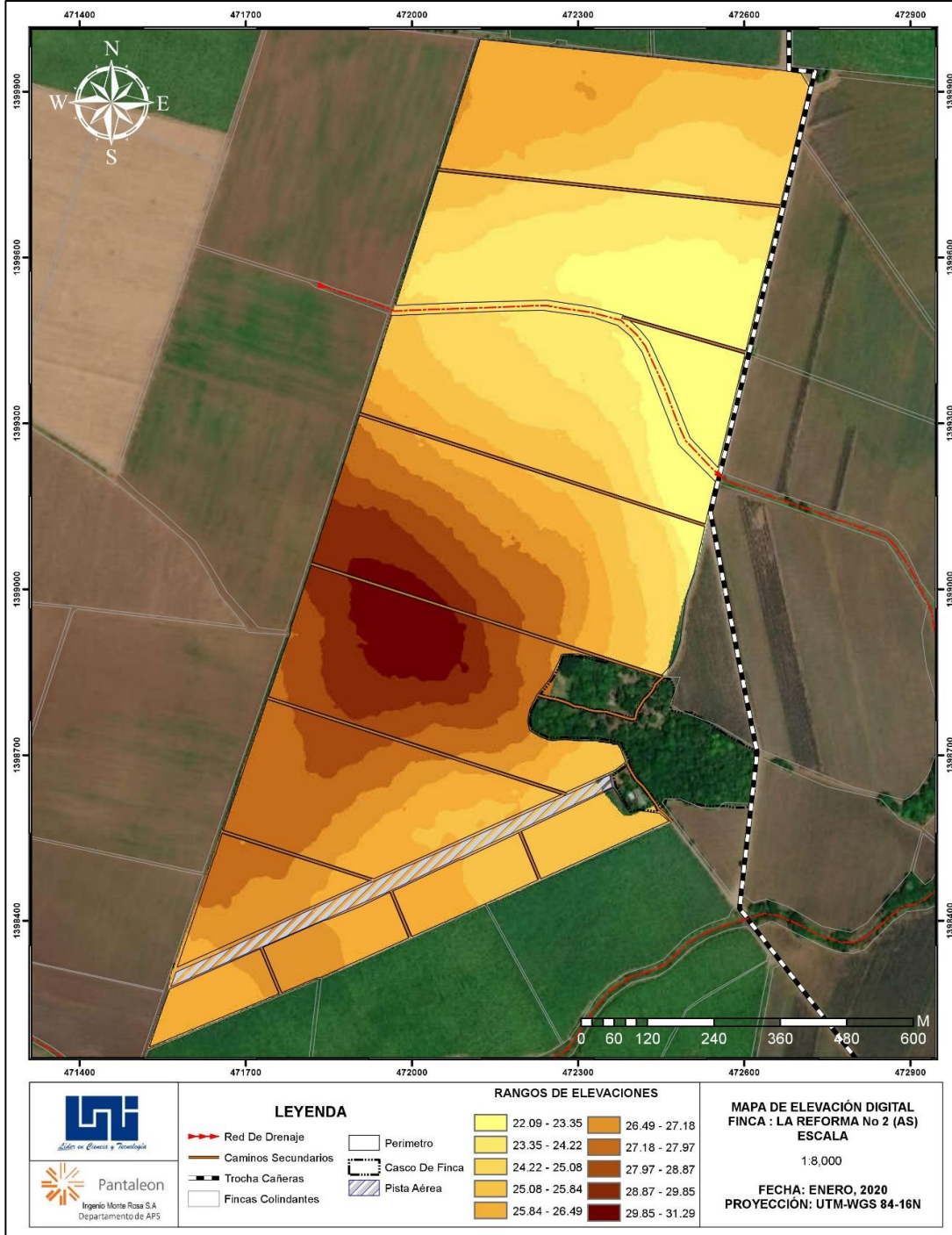
Portalfruticola. (04 de septiembre de 2017). *Infiltración del agua en el suelo. Importancia y métodos para medirla*. Obtenido de Portalfruticola.com: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/09/04/infiltracion-del-agua-en-el-suelo-importancia-y-metodos-para-medirla/>

PRESSMAN. (Abril de 2018). *PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍAS*. Obtenido de WWW.MULTIPRESSMAN.COM: <http://www.eepm.es/wp-content/uploads/2018/04/PRESSMAN-Pe%CC%81rdida-de-Carga-en-Tuberi%CC%81as.pdf>

- Sanchez, R. (12 de Febrero de 2012). *El Bulón: Actualidad en agroecología y maquinaria agrícola*. Obtenido de Clasificación y selección de los sistemas de riego: <http://elbulon.blogspot.com/2012/02/clasificacion-y-seleccion-de-los.html>
- Subiròs, F. (1995). *EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZUCAR*. San José: Universidad Estatal a distancia.
- Torres, A., & Rodríguez, L. (2018). Evaluación hidráulica del riego con enrolladores en el cultivo de la caña de azúcar. *Granmense de Desarrollo Local*, 9.
- TRADING, R & M. (2015). Conceptos de riego fertirriego y mantenimiento en riego por goteo. *CURSO ING AGRICOLA 2015*, (pág. 148). Chinandega.
- TRAXCO. (08 de 04 de 2010). *TRAXCO*. Obtenido de <https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/riego-de-canon-enrollador-de-polietileno>
- TRAXCO. (8 de Abril de 2010). *TRAXCO: Componentes para sistemas de riego Pivot*. Obtenido de Riego de cañon enrollador de polietileno: <https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/riego-de-canon-enrollador-de-polietileno>
- TRAXCO S.A. (03 de 07 de 2018). *TRAXCO*. Recuperado el 26 de Diciembre de 2019, de <https://www.traxco.es/blog/pivotes-de-riego/sistema-de-riego-por-pivote>
- Valiente y Barros. (09 de 06 de 2018). *Valiente y Barros*. Obtenido de <http://www.valientebarros.cl/Detalle.php?pro=104>
- Velázquez, A. (2012). *Comparación del cañon viajero contra el cañon estacionario en riego por aspersion*. Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

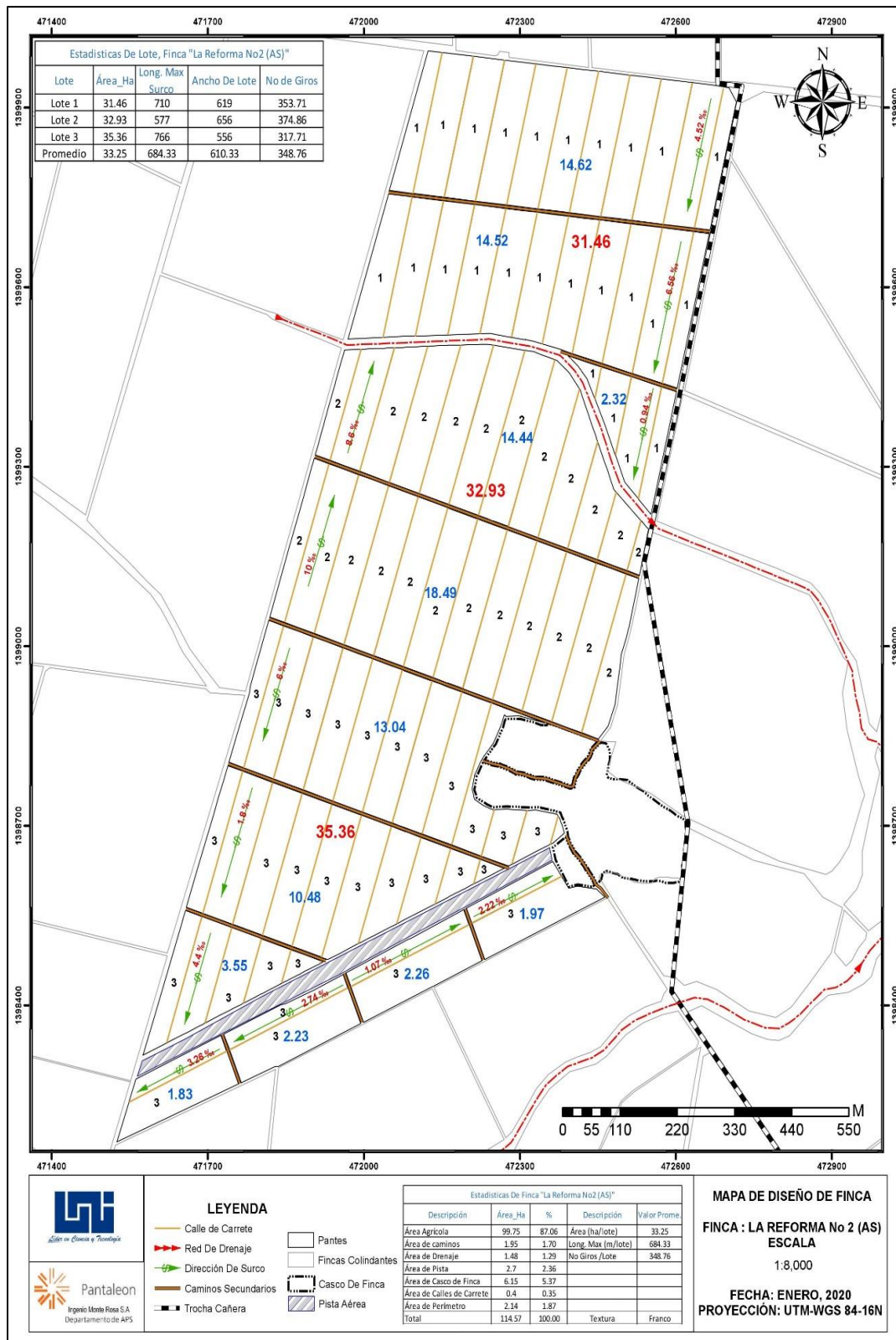
XI. ANEXOS

Anexo A. MAPA DE ELEVACIÓN DIGITAL



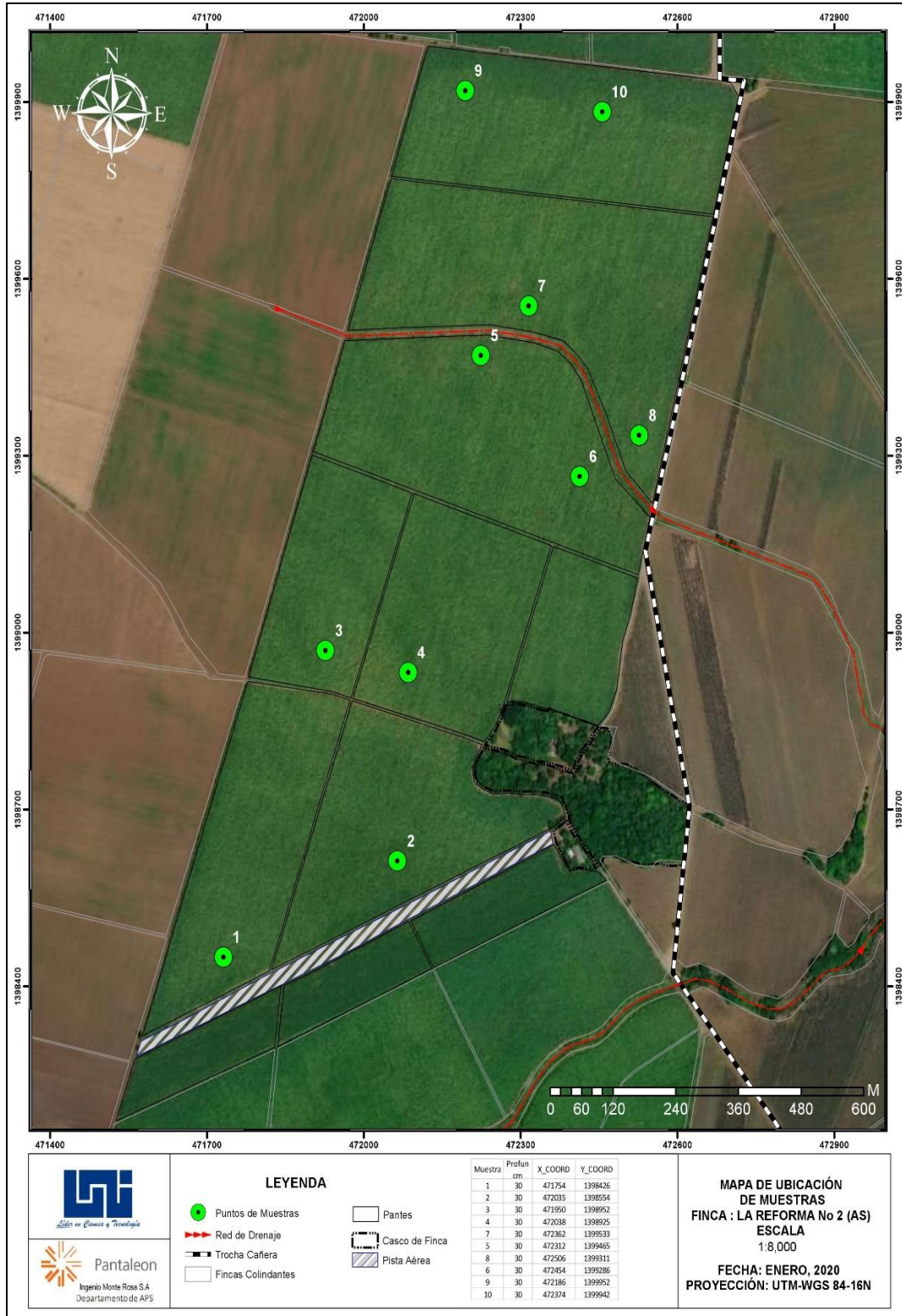
Fuente: Elaboración Propia

Anexo B. MAPA DE DISEÑO DE FINCA LA REFORMA No 2 (AS)



Fuente: Elaboración Propia

Anexo C. MAPA DE UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREOS



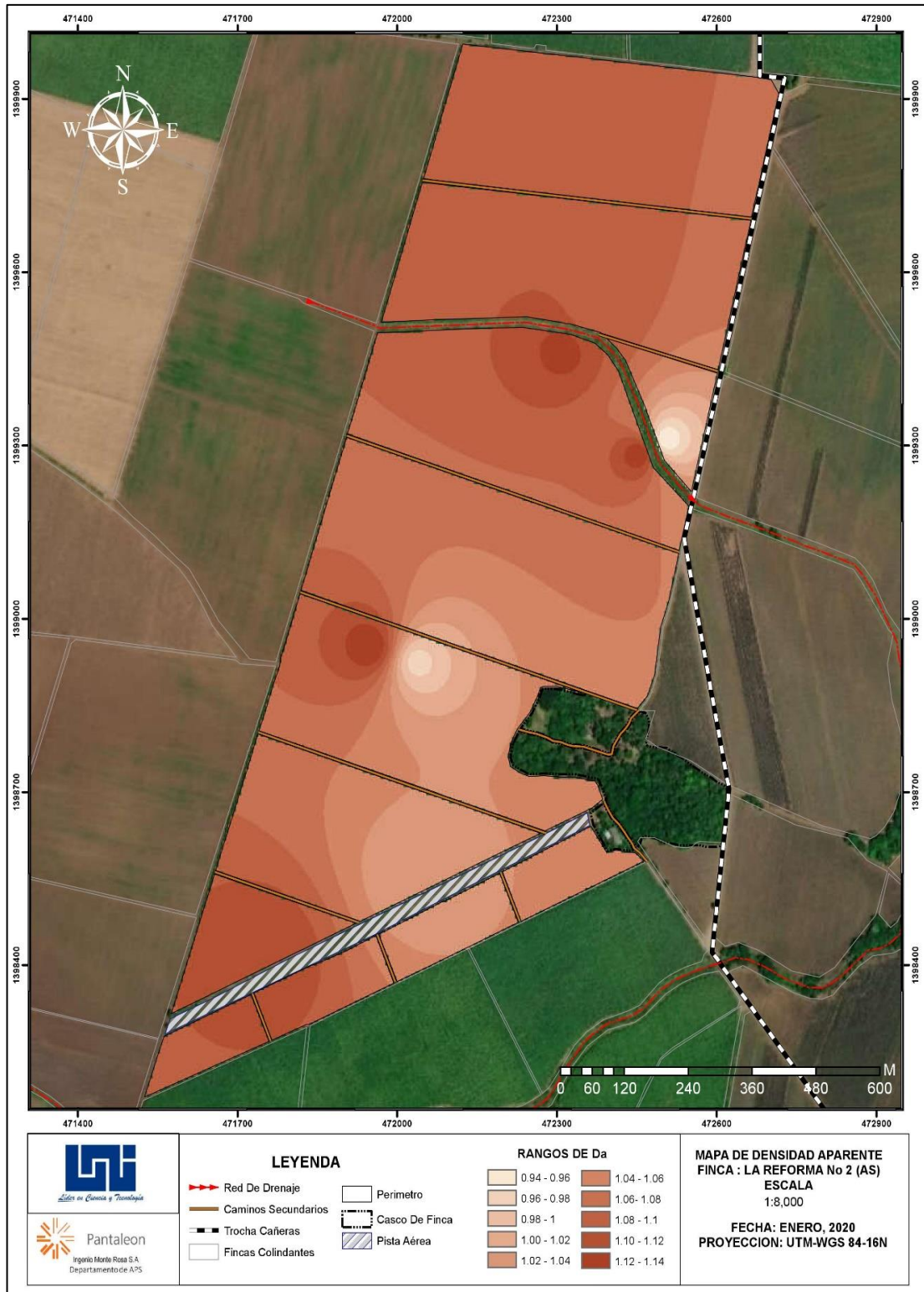
Fuente: *Elaboración Propia*

Anexo D. TOMA DE MUESTRAS



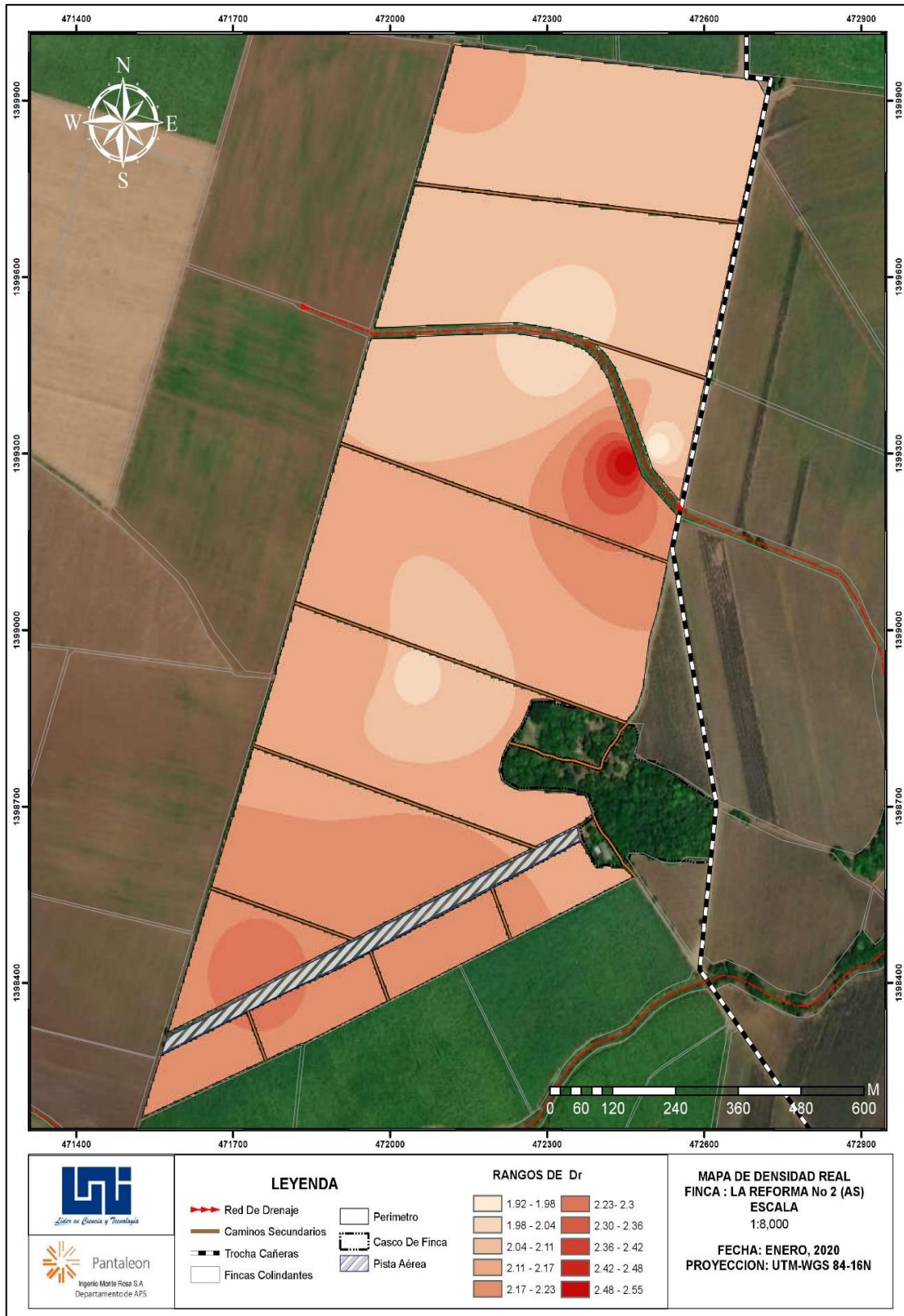
Fuente: Elaboración Propia

Anexo E. MAPA DE DENSIDAD APARENTE (DA)



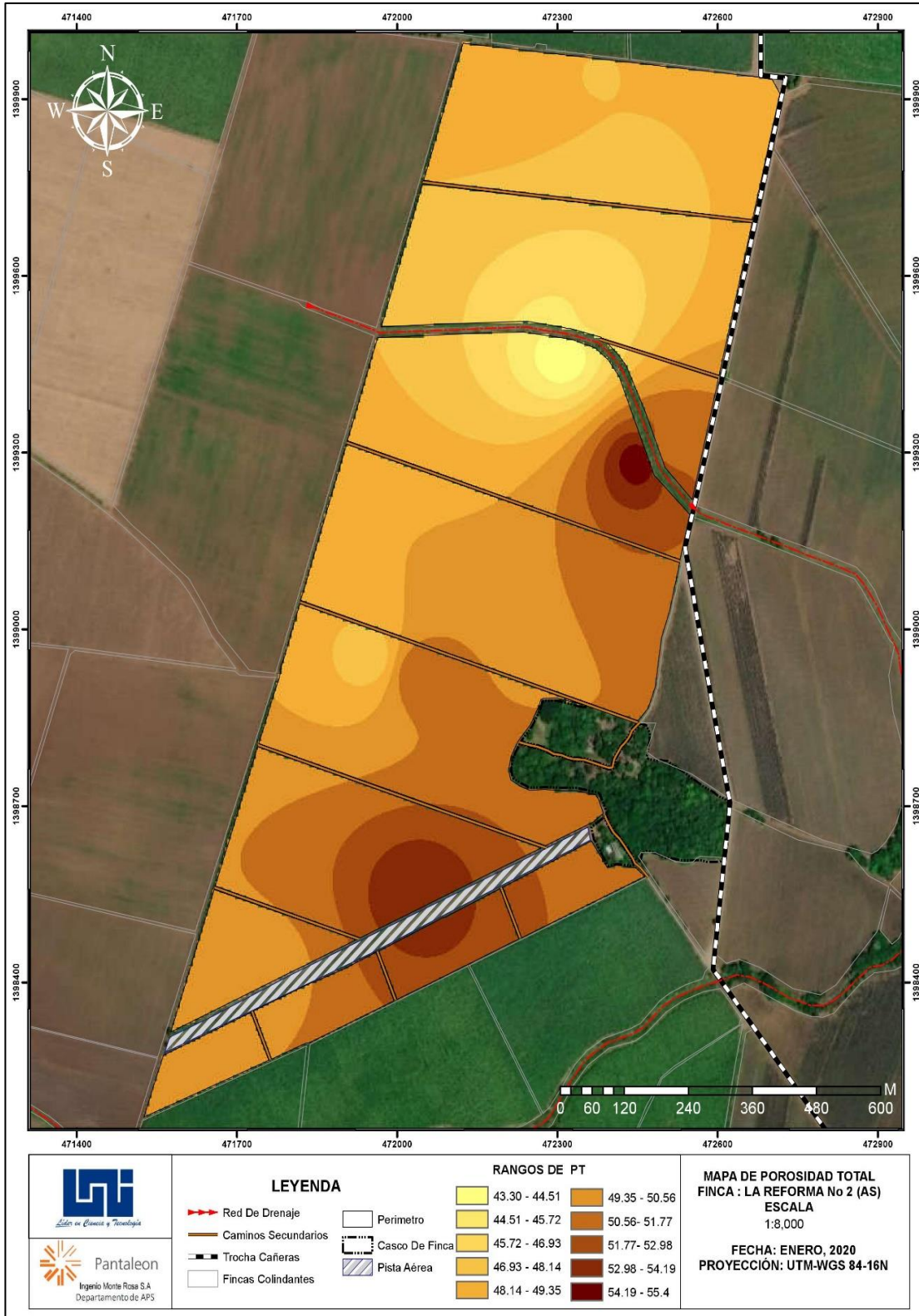
Fuente: Elaboración Propia

Anexo F. MAPA DE DENSIDAD REAL (DR)



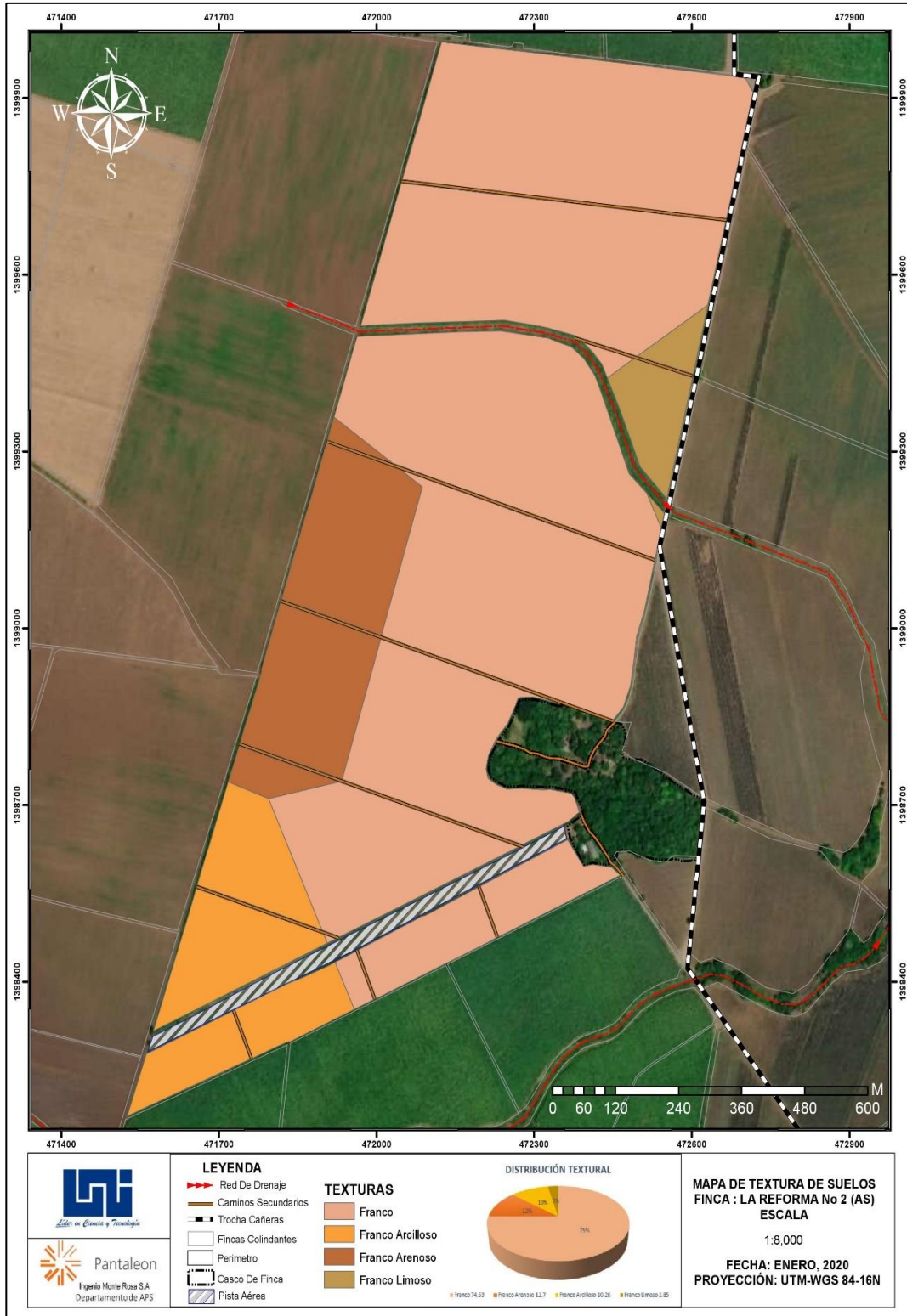
Fuente: Elaboración Propia

Anexo G. MAPA DE POROSIDAD TOTAL



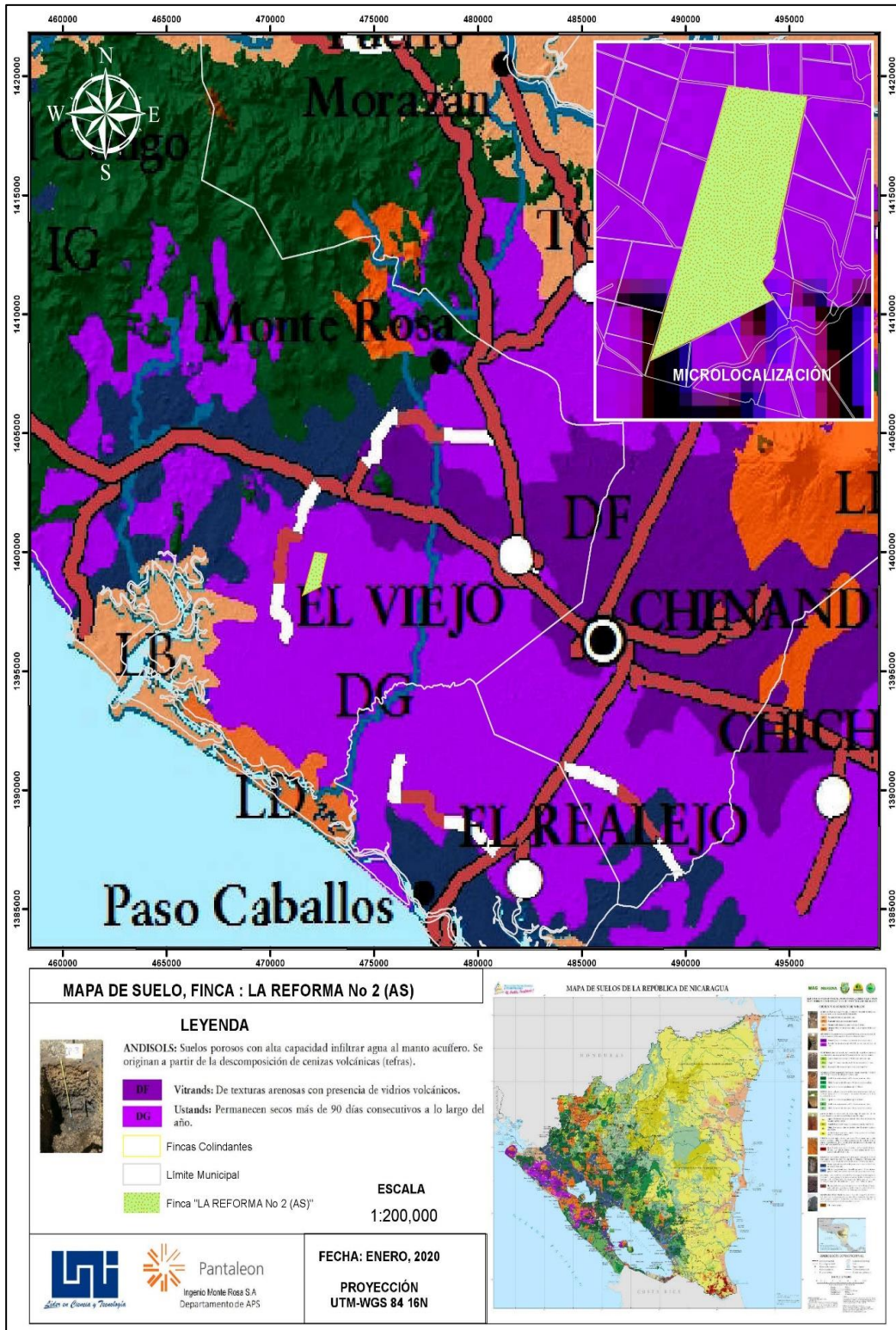
Fuente: Elaboración Propia

Anexo H. MAPA DE TEXTURA DE SUELO



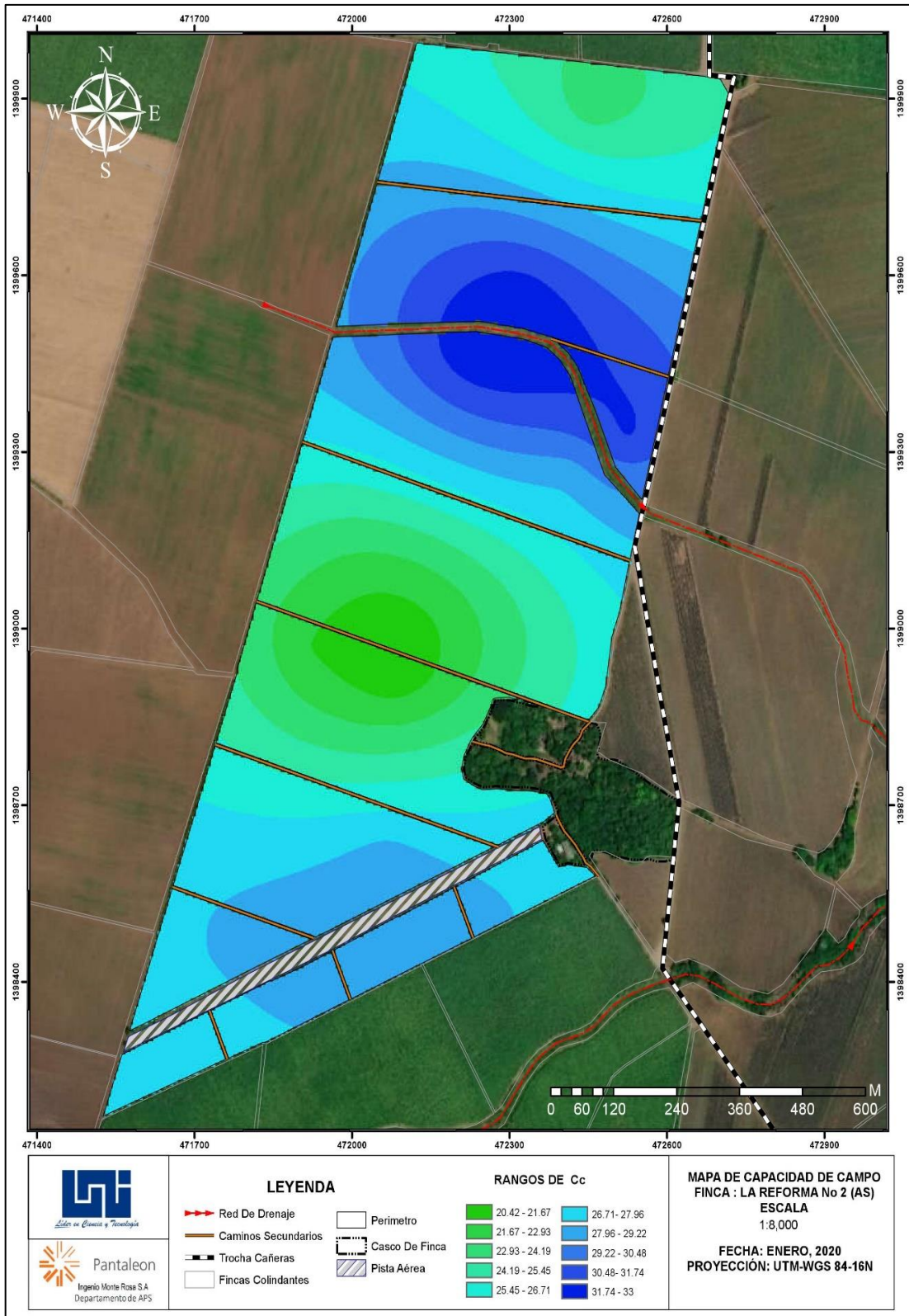
Fuente: Elaboración Propia

Anexo I. MAPA DE TIPO DE SUELO



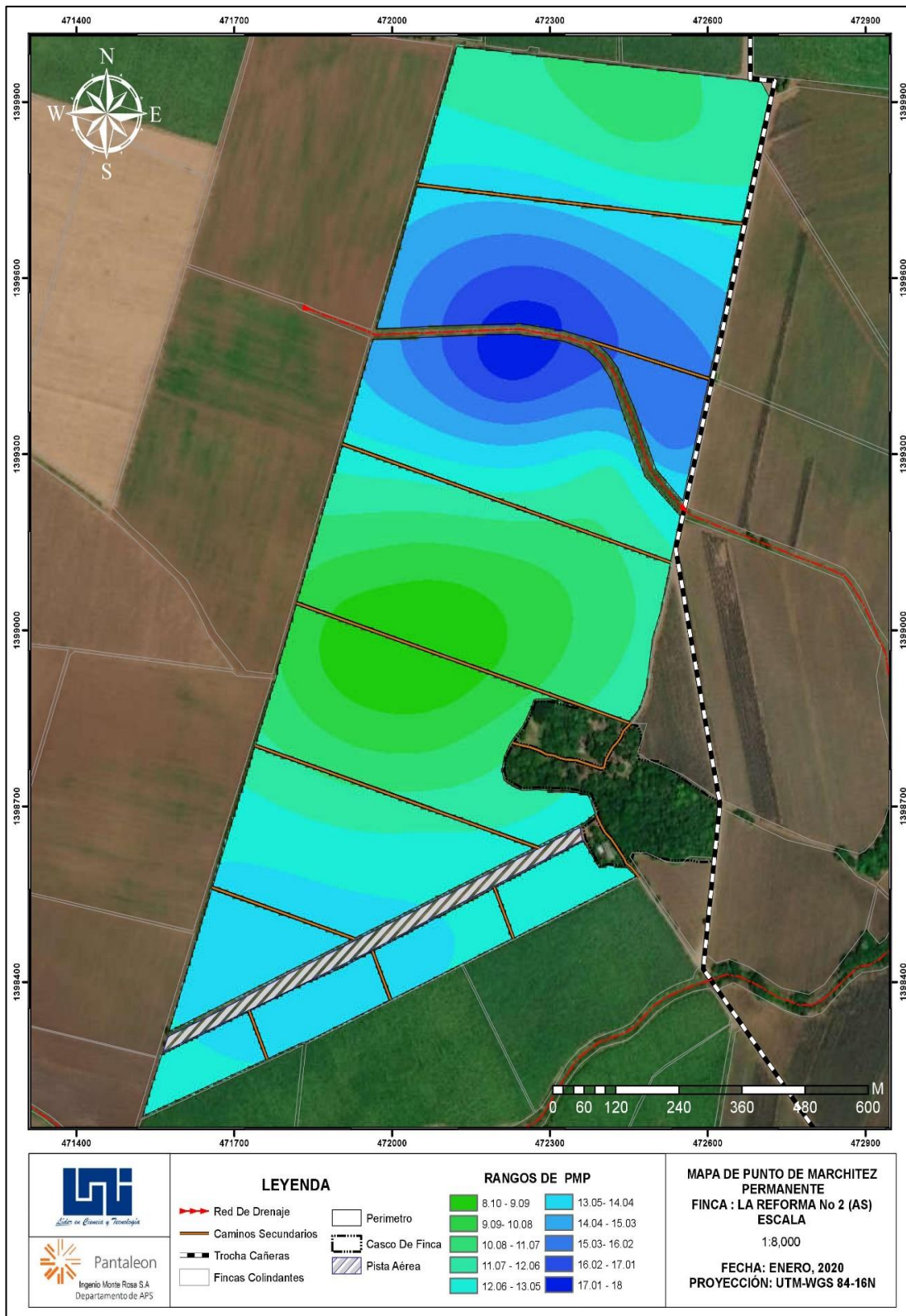
Fuente: Elaboración Propia

Anexo J. MAPA DE CAPACIDAD DE CAMPO (CC)



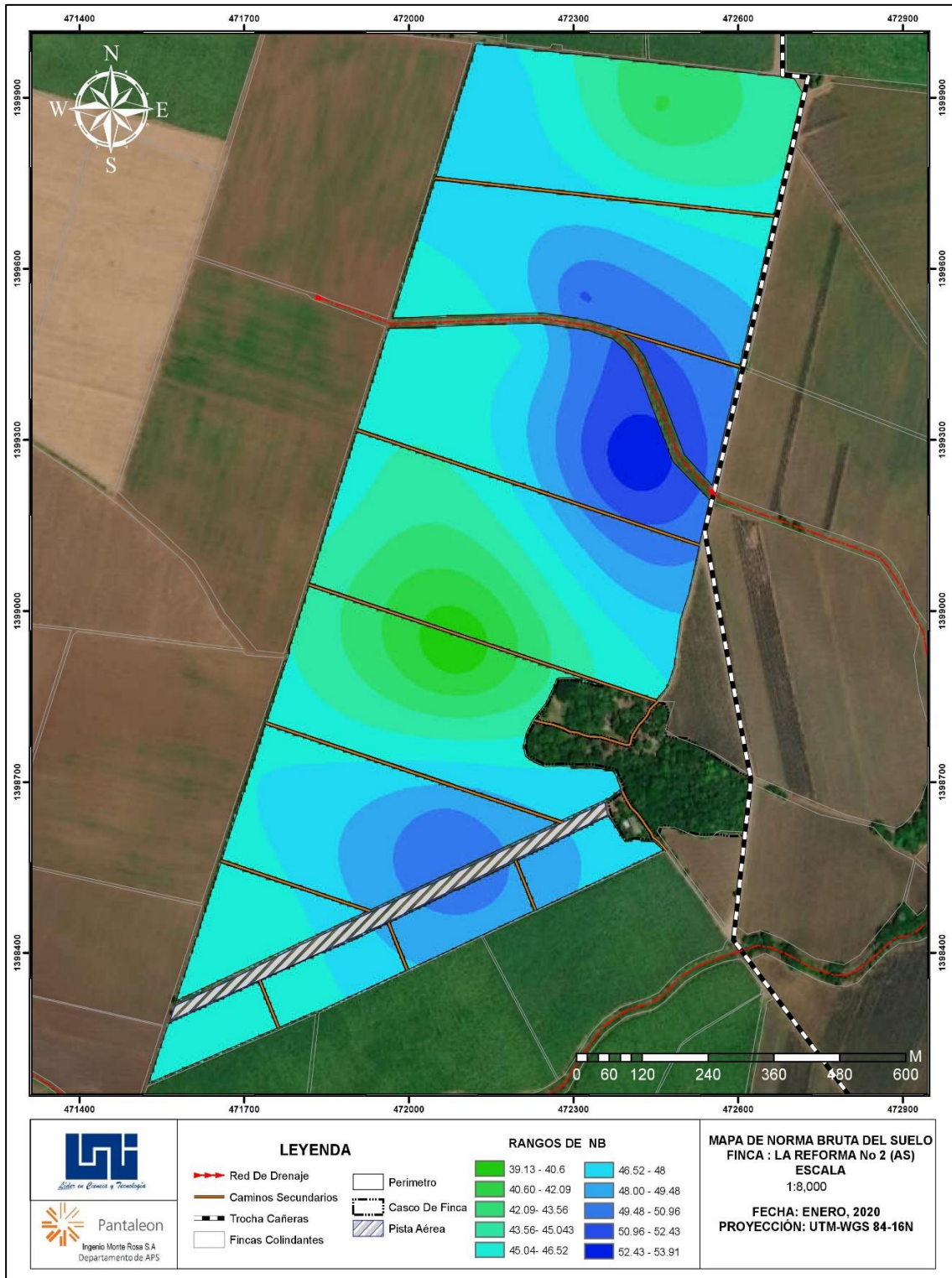
Fuente: Elaboración Propia

Anexo K. MAPA DE PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (PMP)



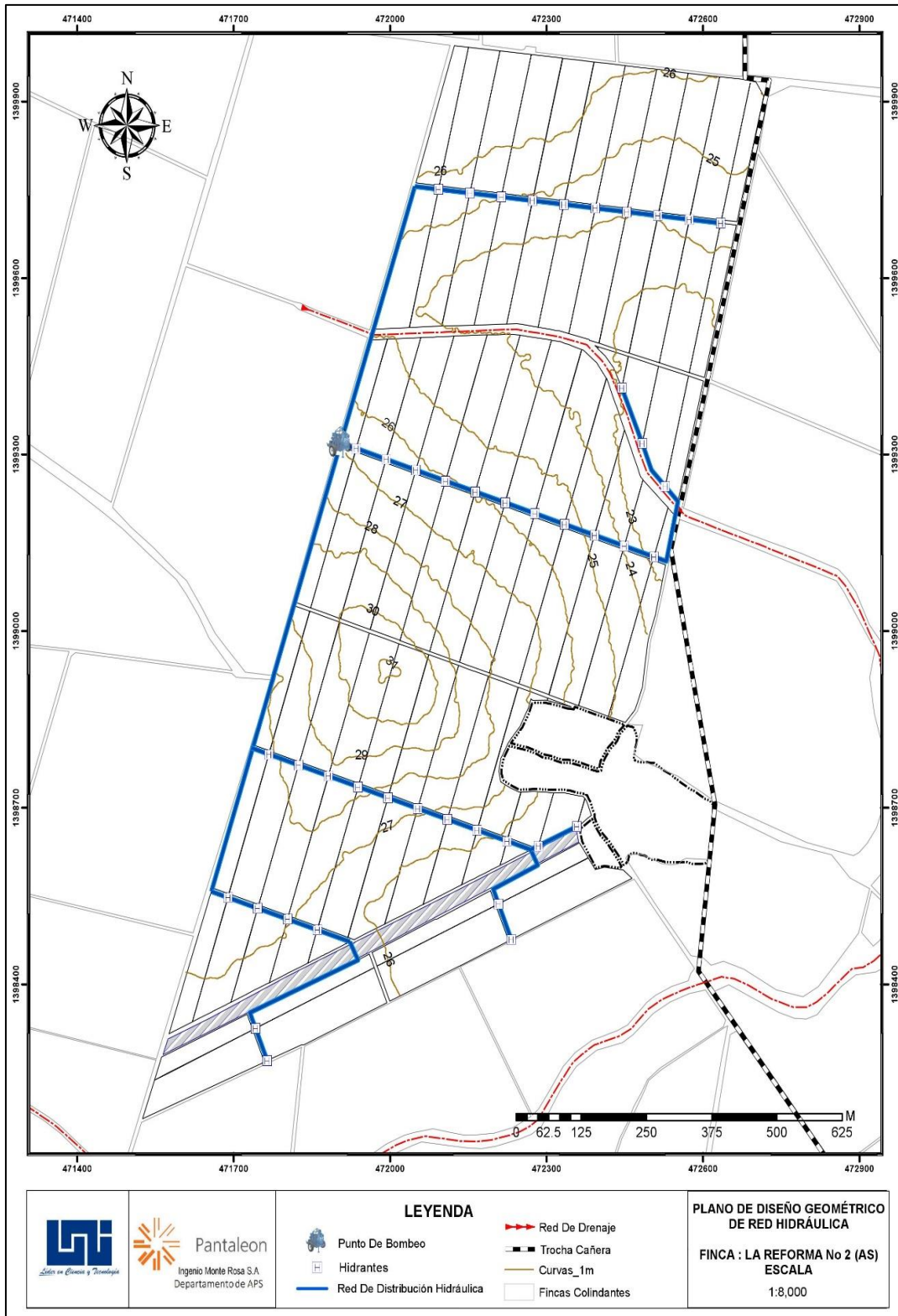
Fuente: Elaboración Propia

Anexo L. MAPA DE NORMA BRUTA DE SUELO O LARA



Fuente: Elaboración Propia

Anexo M. DISEÑO GEOMÉTRICO DEL SISTEMA DE RIEGO POR CARRETE



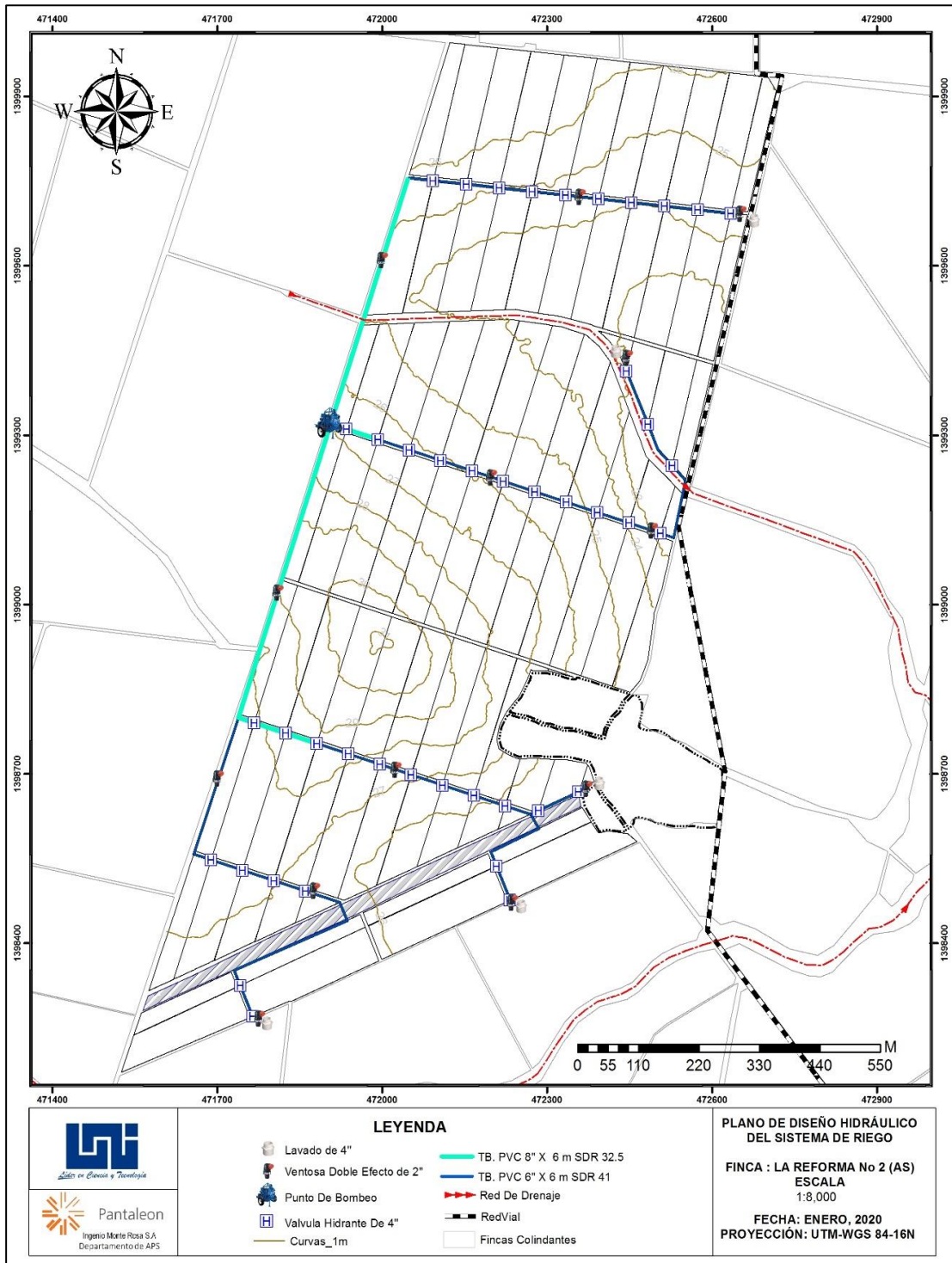
Fuente: Elaboración Propia

Anexo N. DISEÑO OPERATIVO DEL SISTEMA DE RIEGO POR CARRETE




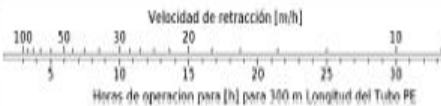
Fuente: Elaboración Propia

Anexo O. DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE RIEGO POR CARRETE



Fuente: Elaboración Propia

Anexo P. FICHA TÉCNICA DE OPERACIÓN DEL CARRETE BAUER T 42

RAINSTAR					TABLA DE RENDIMIENTOS RAINSTAR T42 90-300										
Tubo PE		90 mm x 300 m		Area máx. regada		2 x 2.83= 5.66 ha									
Tipo aspersor		SR 140 ULTRA BAUER		Longitud máx. de la franja		2 x 345 m									
Diámetro de la boquilla mm	Presión en la boquilla bar	Alcance m	Ancho de la franja * m	Consumo de agua m ³ /h	Velocidad de retracción [m/h] y presión de conexión [bar] con precipitación de										
					6 mm m/h - bar	7 mm m/h - bar	8 mm m/h - bar	10 mm m/h - bar	15 mm m/h - bar	20 mm m/h - bar	25 mm m/h - bar	30 mm m/h - bar	35 mm m/h - bar		
16.0	3.5	35	58	18.4	53 - 5.2	45 - 5.1	40 - 5.0	32 - 4.9	21 - 4.6	16 - 4.5	13 - 4.4	11 - 4.4	9 - 4.4		
	4.0	36	61	19.7	54 - 5.8	46 - 5.7	40 - 5.6	32 - 5.5	21 - 5.1	16 - 5.0	13 - 5.0	11 - 5.0	9 - 5.0		
	4.5	38	64	20.9	54 - 6.3	47 - 6.2	41 - 6.1	33 - 5.9	22 - 5.7	16 - 5.6	13 - 5.5	11 - 5.6	9 - 5.5		
	5.0	40	67	22.0	55 - 6.9	47 - 6.8	41 - 6.6	33 - 6.4	22 - 6.3	16 - 6.2	13 - 6.2	11 - 6.1	9 - 6.1		
18.0	2.5	32	55	19.7	60 - 4.4	51 - 4.2	45 - 4.2	36 - 4.0	24 - 3.7	18 - 3.6	14 - 3.6	12 - 3.5	10 - 3.5		
	3.0	35	58	21.5	62 - 4.9	53 - 4.8	46 - 4.8	37 - 4.5	25 - 4.3	19 - 4.2	15 - 4.1	12 - 4.1	11 - 4.1		
	3.5	37	62	23.3	63 - 5.6	54 - 5.5	47 - 5.3	38 - 5.1	25 - 4.9	19 - 4.8	15 - 4.8	13 - 4.7	11 - 4.7		
	4.0	39	65	24.9	64 - 6.2	55 - 6.0	48 - 5.9	38 - 5.7	26 - 5.5	19 - 5.4	15 - 5.3	13 - 5.3	11 - 5.3		
	4.5	40	68	26.4	65 - 6.7	55 - 6.5	49 - 6.5	39 - 6.3	26 - 6.2	19 - 6.0	16 - 5.9	13 - 5.9	11 - 5.9		
20.0	3.0	37	62	26.6	72 - 5.3	61 - 5.1	54 - 5.0	43 - 4.9	29 - 4.8	21 - 4.6	17 - 4.5	14 - 4.4	12 - 4.4		
	3.5	39	66	28.7	73 - 5.9	62 - 5.8	54 - 5.6	44 - 5.5	29 - 5.4	22 - 5.3	17 - 5.1	15 - 5.1	12 - 5.1		
	4.0	41	69	30.7	74 - 6.6	64 - 6.4	56 - 6.3	45 - 6.2	30 - 6.0	22 - 5.9	18 - 5.8	15 - 5.8	13 - 5.7		
	4.5	43	72	32.6	75 - 7.2	65 - 7.3	57 - 7.1	45 - 6.9	30 - 6.7	23 - 6.6	18 - 6.5	15 - 6.4	13 - 6.4		
	5.0	45	75	34.3	76 - 8.1	65 - 8.0	57 - 7.8	46 - 7.5	31 - 7.4	23 - 7.2	18 - 7.2	15 - 7.1	13 - 7.0		
22.0	3.0	39	65	32.2	83 - 5.8	71 - 5.6	62 - 5.5	50 - 5.5	33 - 5.2	25 - 5.1	20 - 5.0	17 - 4.9	14 - 4.9		
	3.5	41	69	34.8	84 - 6.8	72 - 6.5	63 - 6.4	50 - 6.2	34 - 5.9	25 - 5.8	20 - 5.7	17 - 5.7	14 - 5.6		
	4.0	43	73	37.2	85 - 7.4	73 - 7.2	64 - 7.0	51 - 6.9	34 - 6.7	25 - 6.5	20 - 6.5	17 - 6.5	15 - 6.4		
	4.5	45	76	39.4	86 - 8.1	74 - 7.9	65 - 7.8	52 - 7.6	35 - 7.3	26 - 7.2	21 - 7.2	17 - 7.2	15 - 7.1		
	5.0	47	79	41.6	88 - 8.8	75 - 8.6	66 - 8.5	53 - 8.3	35 - 8.1	26 - 8.0	21 - 7.9	18 - 7.9	15 - 7.9		
24.0	3.0	41	68	38.3	94 - 6.7	80 - 6.4	70 - 6.2	56 - 6.1	36 - 5.8	28 - 5.6	23 - 5.6	19 - 5.5	16 - 5.5		
	3.5	43	73	41.4	94 - 7.4	81 - 7.2	71 - 7.0	57 - 6.9	36 - 6.6	28 - 6.5	23 - 6.4	19 - 6.3	16 - 6.4		
	4.0	45	76	44.2	97 - 8.3	83 - 8.0	73 - 7.9	58 - 7.7	36 - 7.4	29 - 7.3	23 - 7.2	19 - 7.2	17 - 7.2		
	4.5	47	80	46.9	98 - 9.1	84 - 8.8	73 - 8.7	59 - 8.5	36 - 8.3	29 - 8.1	23 - 8.1	20 - 8.0	17 - 8.0		
26.0	3.0	42	71	45.0	106 - 7.5	90 - 7.2	79 - 7.0	63 - 6.8	42 - 6.6	32 - 6.4	25 - 6.4	21 - 6.3	18 - 6.3		
	3.5	45	76	48.6	106 - 8.4	91 - 8.2	80 - 8.0	64 - 7.7	43 - 7.5	32 - 7.4	26 - 7.3	21 - 7.2	18 - 7.2		
	4.0	47	80	51.9	108 - 9.4	93 - 9.1	81 - 8.9	65 - 8.7	43 - 8.4	32 - 8.3	26 - 8.2	22 - 8.2	19 - 8.1		

BAUER Ges.mbH. A-8570 Voitsberg/Austria Tel.03142/200-0 Fax:03142/23095

* 85 % Del diámetro regado

31-08-2016 ES

Fuente: Bauer

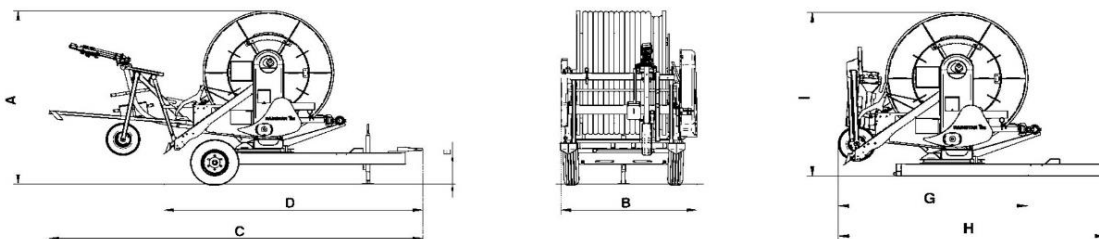
Anexo Q. DATOS TÉCNICOS DE LOS CARRETES BAUER T42



15 Technical Data

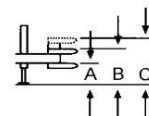
Machine Dimensions T

Basic model	Height	Width	Length with cart	Length without cart	Clearance	Tyres	Track-width	Height	Length drum cart	Length without drawbar eye
	A	B	C	D	E			I	G	H
T 32	2600	1950	5370	3720	260	195/70	1500-2000	2330	2510	3540
T 42	2850	1950	5370	3720	275	205 R 14		2815	2670	3540



Drawbar coupling height

Basic model	Eye bottom mounted [A mm]	Eye top mounted B [mm]	+ with-adapter C [mm]
T 32	220	500	750
T 42	240	520	770

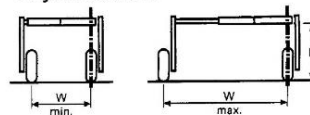


symmetrical

Cart dimensions

Basic model	Track width height	Sym. cart	asym. cart	tyres
T 32, T 42	W H	1200-3000 (3800) 1100	1200-2000 1100	145 / 10"

asymmetrical



Rainstar T Indication of Tyre Pressure

To secure long durability of the tyres and safe transportation of the Rainstars it is important to give the tyres sufficient air pressure.

Standard Rainstar T

Model	Tyre size	Required Tyre Pressure
T 32	195 / 70 R 14	2,7 bar
T 42	205 R 14 C	3,5 bar

Fuente: Bauer

Anexo R. FICHA TÉCNICA DEL MOTOR JOHN DEERE 6068TF150



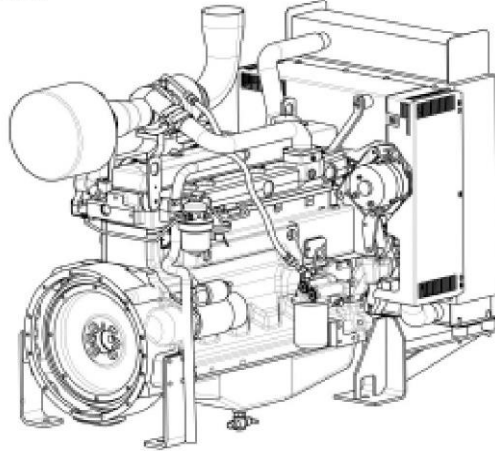
JOHN DEERE

6068TF150

PowerTECH
SPECIFICATIONS
For Variable Speed

Tier-1 Emission Certifications:
CARB; EPA; EU

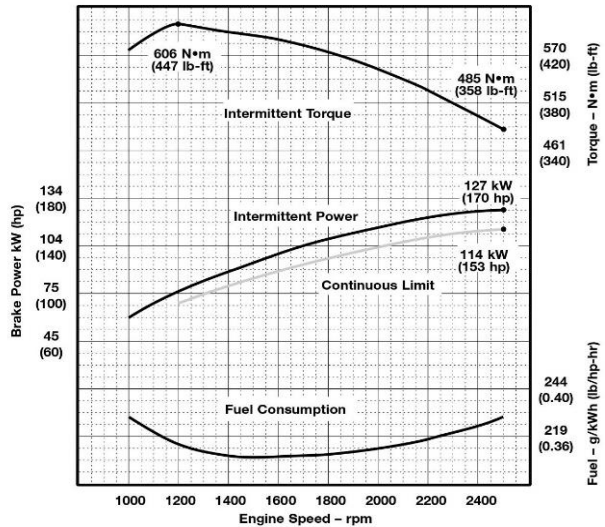
Power Units



Performance Data

Gross Rated Power (without fan) – kW (hp)	[C]..... 114 (153)
	[I]..... 127 (170)
Rated Speed – rpm 2500
Peak Torque – N•m (lb-ft)	[C]..... 540 (398)
	[I]..... 606 (447)
Peak Torque Speed – rpm 1200
Low Idle Speed – rpm 850
BMEP – kPa (psi)	[C]..... 807 (117)
	[I]..... 898 (130)
Friction Power @ Rated Speed – kW (hp) 34 (46)
Altitude Capability – m (ft) 2300 (7500)
Air: Fuel Ratio	[C]..... 32.1 : 1
	[I]..... 30 : 1
Smoke @ Rated Speed – Bosch No.	[C]..... < 2
	[I]..... < 2
Noise – dB(A) @ 1 m	[C]..... 96.0
	[I]..... 96.5

Engine Speed rpm	Contin. Limit kW (hp)	Intermit. Power kW (hp)	Intermit. Torque N•m (lb-ft)	BSFC g/kWh (lb/hp-hr)
2500	114 (153)	127 (170)	485 (358)	230 (0.377)
2400	113 (151)	126 (169)	500 (369)	225 (0.369)
2200	110 (147)	122 (163)	530 (391)	218 (0.358)
2000	104 (139)	116 (155)	554 (409)	213 (0.349)
1800	97 (130)	108 (145)	573 (423)	210 (0.344)
1600	89 (119)	99 (133)	590 (435)	209 (0.343)
1400	79 (106)	88 (118)	602 (440)	210 (0.344)
1200	68 (91)	76 (102)	606 (447)	215 (0.353)
1000	-	-	60 (80)	229 (0.376)



Gross power guaranteed within + or – 5% at SAE J1995 and ISO 3046 conditions:
 77 °F (25 °C) air inlet temperature
 29.31 in.Hg (99 kPa) barometer
 104 °F (40 °C) fuel inlet temperature
 0.853 fuel specific gravity @ 60 °F (15.5 °C)

Conversion factors:
 Power: kW = hp x 0.746
 Fuel: 1 gal = 7.1 lb, 1 L = 0.85 kg
 Torque: N•m = lb-ft x 1.356

Fuente: John Deere

Anexo S. FICHA TÉCNICA DE BOMBA CENTRIFUGA CORNELL 4HC EM



DATA SHEET

4HC

AVAILABLE MOUNTING CONFIGURATIONS

4HC-RP-F REDI-PRIME FRAME MOUNT
 4HC-F FRAME MOUNT
 4HC-RP-EM REDI-PRIME ENGINE MOUNT
 4HC-EM ENGINE MOUNT
 4HC-VF VERTICAL FRAME MOUNT
 4HC-VC VERTICAL COUPLED
 4HC-CC CLOSE COUPLED

OPERATING LEVELS

MIN FLOW	165 GPM	37.5 m ³ /h
MAX FLOW	1680 GPM	381.6 m ³ /h
DISCHARGE SIZE	4"	101.6 mm
SUCTION SIZE	8"	203.2 mm
SOLIDS HANDLING	.6"	15.7 mm
MAX SPEED	2100 RPM	2100 RPM
SHUT-OFF HEAD	430'	131 m
BEP HEAD	400'	122 m
BEP FLOW	1540 GPM	350 m ³ /h
BEP PERCENT	74%	74%



A typical picture of the pump is shown. Please contact Cornell Pump Company for further details. All information is approximate and for general guidance only.

PARTS	STANDARD MATERIAL (ALL IRON)
WEAR RING	CAST IRON
IMPELLER	CAST IRON
VOLUTE	CAST IRON
SHAFT	STRESSPROOF STEEL
SHAFT SLEEVE	STAINLESS
BACKPLATE	CAST IRON
BEARING FRAME	CAST IRON - F16,F18

The 4HC pump is designed with Cornell's renowned quality and durability. It features a 4" discharge, 8" suction, and enclosed impeller. Available in All Iron or CD4MCu materials. Cornell's patented Cycloseal® design is standard, with a Type 2 single mechanical seal with Buna-N or Viton elastomers, stainless steel hardware and tungsten carbide vs. silicon carbide seal faces for abrasion resistance.

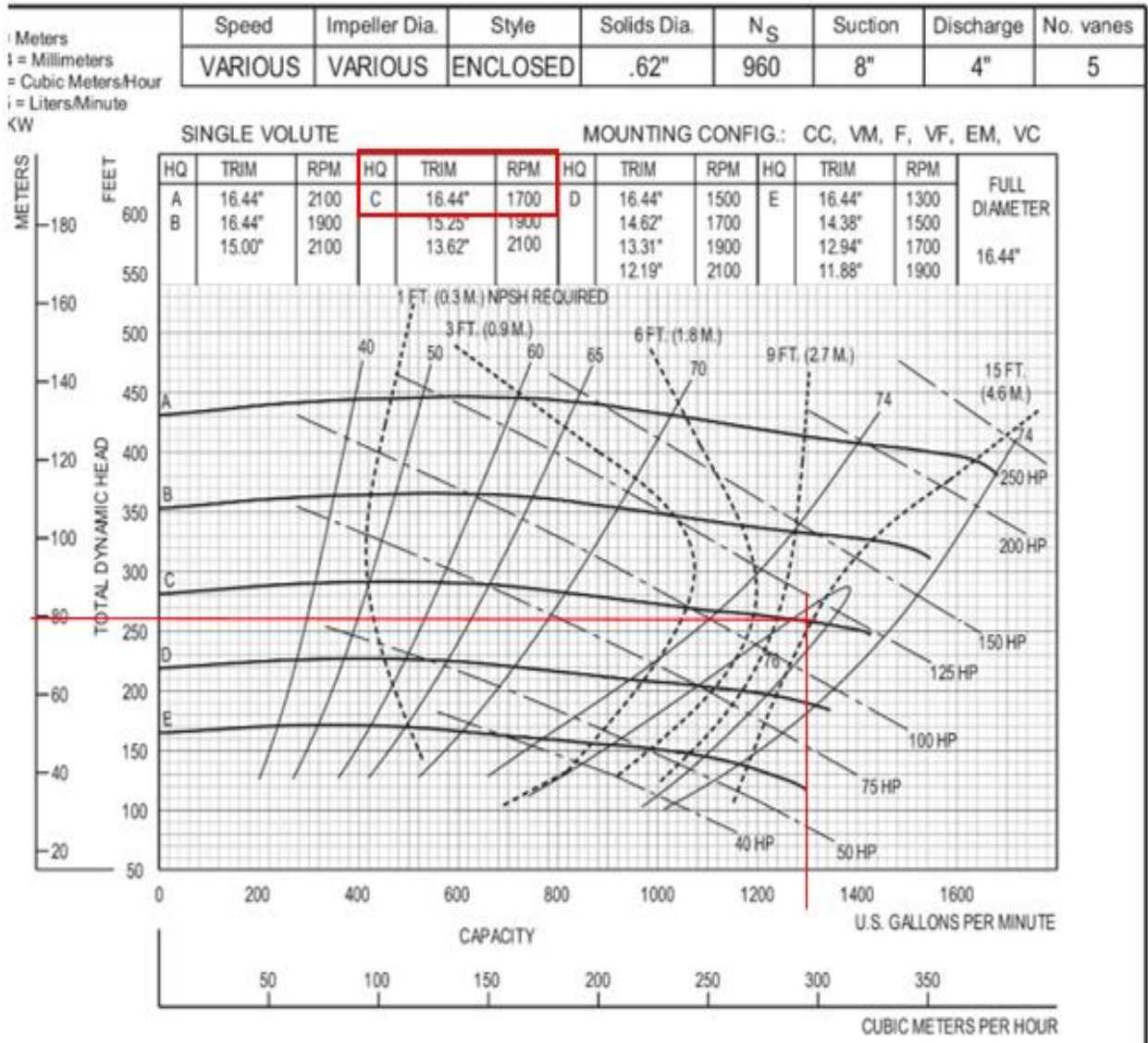
- Enclosed impeller for higher efficiency
- Excellent NPSHr
- Heavy duty construction
- Industry-leading efficiencies
- Patented Cycloseal design



Cornell Pump Company | Clackamas, OR 97015 USA | www.cornellpump.com | P: +1 (503) 653-0330 | F: +1 (503) 653-0338

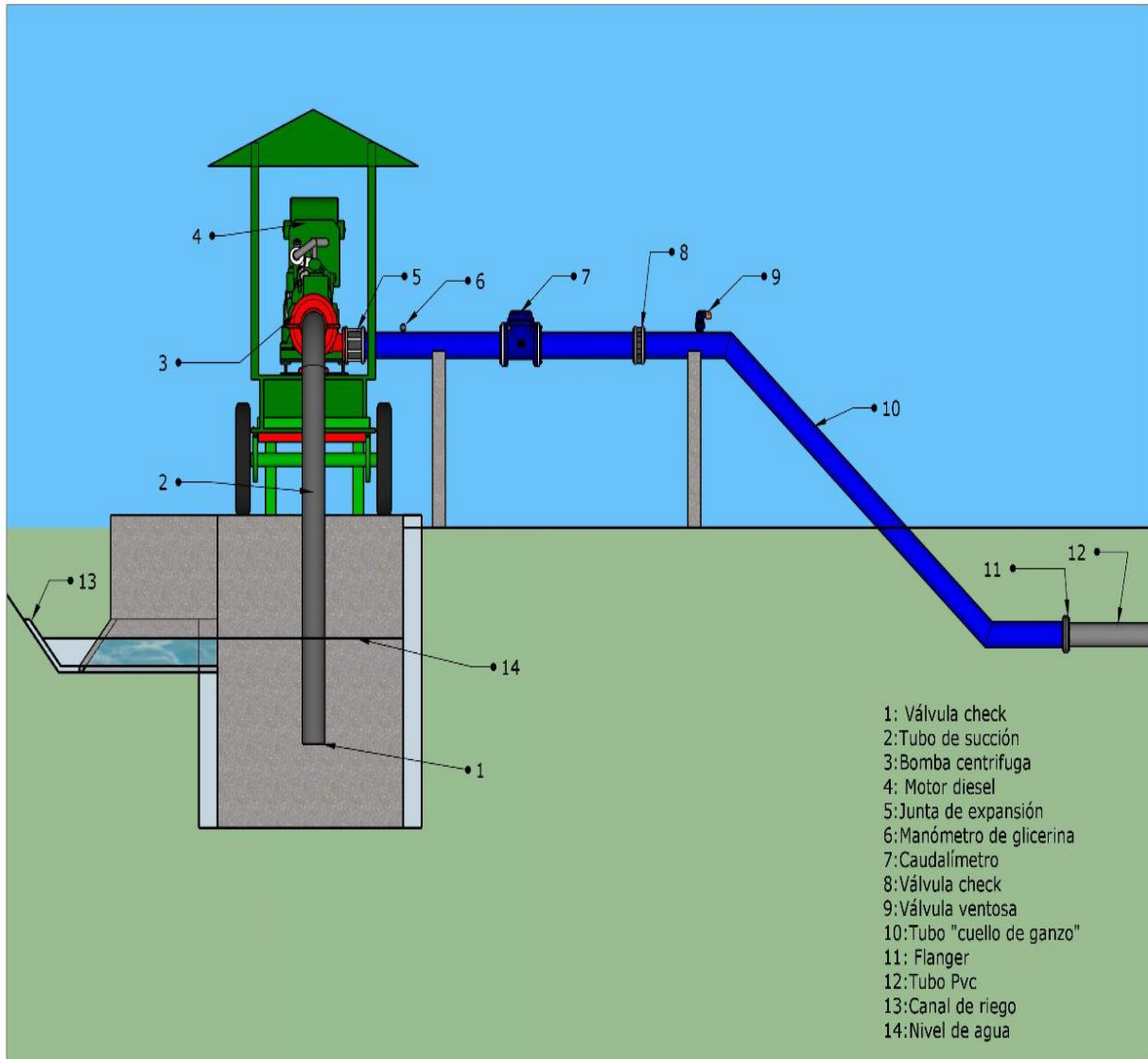
Fuente: CORNELL



Anexo T. CURVA CARACTERÍSTICA DE BOMBA CENTRIFUGA CORNELL 4HC EM



Fuente: CORNELL

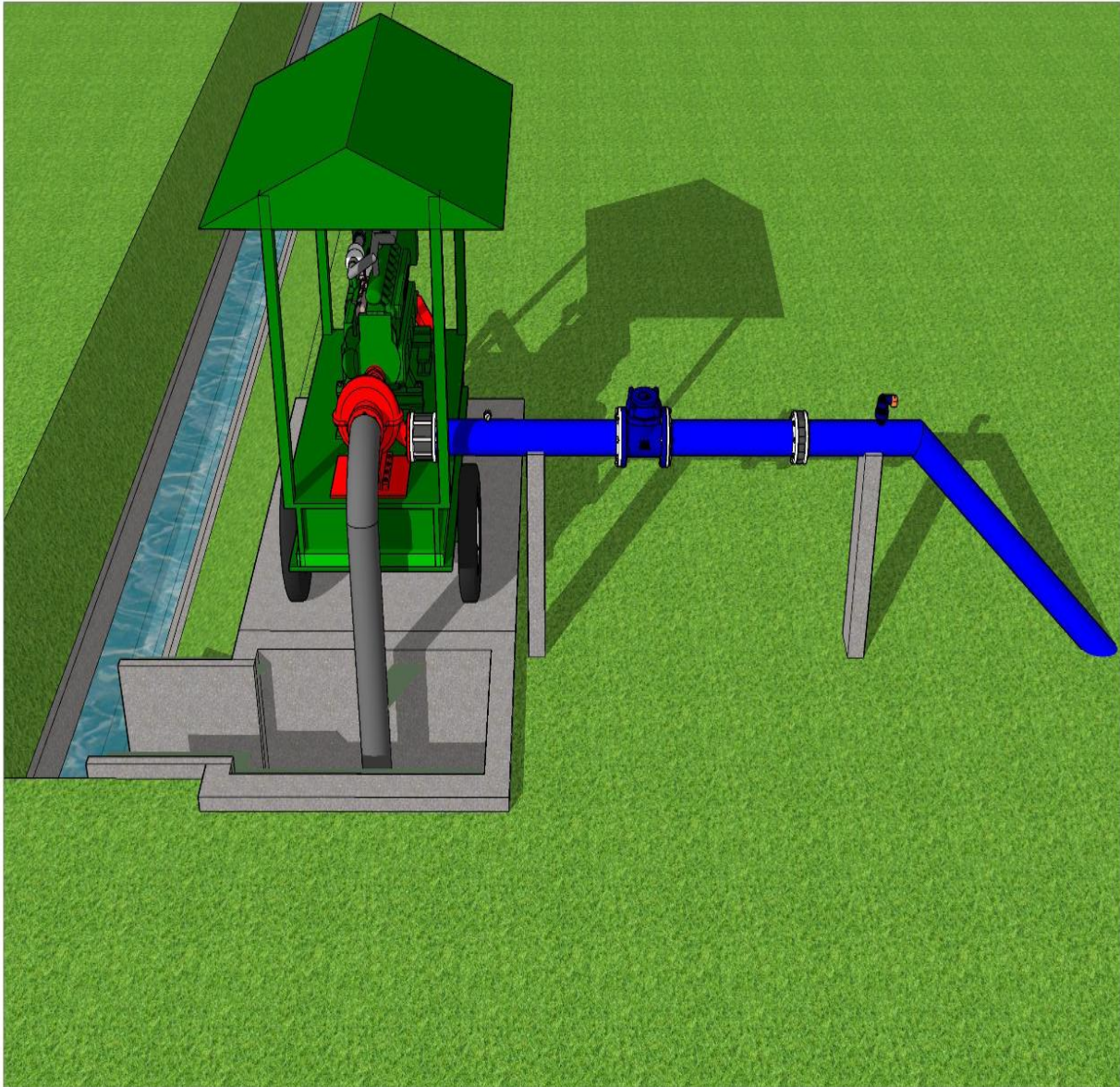
ANEXO U. ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE PUNTO DE BOMBEO Y SARTA DE DESCARGA.





	 <p>Pantaleon Ingenieros Ingeniero Walter Rojas S.A. Departamento de APS</p>	<p>DETALLE DE DESCARGA PARA SISTEMA DE RIEGO POR CARRETE</p>	<p>Fecha: Enero 2020</p>	<p>1 / 3</p>
---	---	--	--------------------------	--------------

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO W. DETALLE DE DESCARGA DE SISTEMA DE RIEGO POR CARRETE.



 <p>LIT Laboratorio de Ingeniería y Tecnología</p>	 <p>Pantaleon Ingeniería Muelle Rosas S.A. Departamento de AFS</p>	DETALLE DE DESCARGA PARA SISTEMA DE RIEGO POR CARRETE	Fecha: Enero 2020	3 3
---	---	---	-------------------	--------

Fuente: Elaboración Propia