Universidad Nacional de Ingeniería

Área de conocimiento de Ingeniería y Afines

“DISEÑO DE SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA POR ESCORRENTÍA EN EL DEPARTAMENTO DE ESTELÍ, MUNICIPIO LA TRINIDAD, COMUNIDAD SAN LORENZO EN LA FINCA EL GUANACASTE”.

Trabajo Monográfico para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por:

Br. Janelly Ariana Moreno Cruz
Carnet: 2018-0358N

Br. Dania Salvadora Ordoñez Acuña
Carnet: 2018-0089N

Br. Alex David Picado Chavarría
Carnet: 2018-0290N

Tutor:

Ing. Lázaro José González Herrera

06 de diciembre de 2024
Managua, Nicaragua

Tabla de contenido

I. Generalidades 1

1.1. Introducción 1

1.2. Antecedentes 2

1.3. Justificación 3

1.4. Objetivos 4

1.4.1. Objetivo general 4

1.4.2. Objetivos específicos 4

II. Marco Teórico 6

2.1. Caracterización de las condiciones socioeconómicas de la unidad de producción familiar 6

2.2. Demanda de recursos hídricos 6

2.2.1. Estimación del déficit de agua en la finca 7

2.2.2. Estimación del déficit de agua para consumo animal 7

2.2.3. Estimación del déficit de agua para consumo agrícola 8

2.3. Estudio topográfico 8

2.4. Estudio Hidrológico 9

2.4.1. Estimación de parámetros morfométricos de la cuenca 9

2.4.2. Parámetros hidrológicos 10

2.4.3. Línea de conducción 12

2.4.4. Red de distribución 12

2.5. Estudio Geotécnico 12

2.6. Sistema de captación 15

2.7. Presupuesto 15
2.7.1. Costos 15
2.7.2. Costos unitarios 15
2.7.3. Costos fijos 16
2.7.4. Costos directos 16
2.7.5. Costos indirectos 16
2.7.6. Take Off 16
III. Diseño metodológico 17
3.1. Tipo de estudio 17
3.2. Localización 17
3.2.1. Macro localización 17
3.2.2. Micro localización 18
3.3. Caracterización de las condiciones socioeconómicas 18
3.4. Demanda de agua 19
3.4.1. Procedimientos para calcular las necesidades de agua 20
3.5. Estudio topográfico 22
3.6. Estudio hidrológico 23
3.6.1. Parámetros morfométricos 23
3.6.2. Parámetros hidrológicos 25
3.7. Estudio Geotécnico 26
3.8. Diseño de la obra de captación 28
3.8.1. Requisitos previos 28
3.8.2. Dimensiones de la obra haciendo uso de las series técnicas cosecha de agua CATIE. 28

3.8.3. Balance del reservorio 31
3.8.4. Diseño hidráulico de la línea de conducción y red de distribución .. 32
3.9. Presupuesto 35
IV. Análisis y Discusión de Resultados 36
4.1. Caracterización de las condiciones socioeconómicas..... 36
4.1.1. Ingresos 36
4.2. Demanda de agua en la Finca 37
4.2.1. Uso del agua..... 37
4.2.2. Cálculo de la demanda de agua. 37
4.2.3. Cálculo del consumo animal 44
4.2.4. Cálculos del balance hídrico 46
4.3. Levantamiento topográfico 49
4.3.1. Reservorio 49
4.3.2. Línea de Conducción 49
4.4. Estudio Hidrológico 50
4.4.1. Parámetros morfométricos de la microcuenca finca El Guanacaste. 50
4.4.2. Parámetros hidrológicos 58
4.5. Estudio Geotécnico 61
4.5.1. Granulometría a través del tamizado, Clasificación de Suelos por el método SUCS 61
4.5.2. Límites de Consistencia de Atterberg y su CBR 65
4.5.3. Ensayo Prueba Proctor Estándar..... 66
4.5.4. Gravedad especifica 67
4.5.5. Relaciones de Volúmenes y pesos 68

4.5.6. Coeficiente de permeabilidad (K) 70
4.6. Diseño de la obra de captación 71
4.6.1. Dimensiones de la Obra 71
4.6.2. Balance del reservorio 78
4.6.3. Diseño hidráulico de la línea de conducción y red de distribución. . 79
4.6.4. Simulación de red en Epanet 89
4.7. Presupuesto de la obra 99
4.8. Conclusiones y recomendaciones ..... - 102 -
4.8.1. Conclusiones ..... - 102 -
4.8.2. Recomendaciones ..... - 103 -
V. Anexos ..... - 108 -
5.1. Anexo 1: Modelo de entrevista I
5.2. Anexo 2: Modelo de Ficha técnica levantada de la unidad de producción familiar. IV
5.3. Anexo 3 Tabla de temperatura del aire V
5.4. Anexo 4: Número máximo de horas de sol VI
5.5. Anexo 5: Tabla de precipitación mensual VII
5.6. Anexo 6: Levantamiento topográfico en la Finca El Guanacaste IX
5.7. Anexo 7: Plano de Elevaciones (método de la cuadricula) IX
5.8. Anexo 8: Plano de Curvas de nivel y sección transversal X
5.9. Anexo 9: Ensayo Granulometría X
5.10. Anexo 10: Estratos tomados de la Calicata del sitio XI
5.11. Anexo 11: Clasificación del Suelo XI
5.12. Anexo 12: Ensayo Limites de Consistencia de Atterberg XII

5.13. Anexo 13: Ensayo Prueba Proctor Estándar XII
5.14. Anexo 14: Ensayo Gravedad Especifica XIII
5.15. Juego de planos XIV
5.16. Anexo 15: Datos de INETER XV
5.17. Anexo 16: Galería de imágenes XVII

Índice de tablas:

Tabla 1: Consumo diario de agua de algunas especies de animales domésticos. 19
Tabla 2: Valores aproximados de necesidades de agua de algunos cultivos estacionales 19
Tabla 3: Cálculo de evaporación 42
Tabla 4: Temperatura promedio 42
Tabla 5: Evapotranspiración del cultivo de referencia 43
Tabla 6: Evapotranspiración del cultivo 43
Tabla 7: Consumo animal 45
Tabla 8: Demanda hídrica de la unidad de producción 46
Tabla 9 Precipitación probabilidad 75% de excedencia de lluvia 47
Tabla 11: Tabla de resumen 58
Tabla 12: Uso de suelo 59
Tabla 13: Coeficiente de escorrentía utilizados 60
Tabla 14: Estación meteorológica por un periodo de retorno de 25 años 60
Tabla 15: Distribución de partículas C1-E1 62
Tabla 16: Distribución de partículas C1-E2 63
Tabla 17: Distribución de partículas C1-E3 64

Tabla 18: Resumen Limites de Consistencia y su CBR 66
Tabla 19: Resultados Prueba Proctor Estándar 67
Tabla 20: Resultados de Gravedad Especifica..... 68
Tabla 21:Datos de laboratorio 68
Tabla 22:Resumen de resultados Peso-Volumen 70
Tabla 23:Valores Típicos de Conductividad hidráulica, K para suelos saturados 71
Tabla 24: Balance del reservorio 79
Tabla 25:Demanda del ganado y cultivo 81
Tabla 26: Caudal para diferentes sifones y condiciones de operación..... 82
Tabla 27:Datos de línea de succión 84
Tabla 28:Datos de línea de conducción 84
Tabla 29: Datos de línea de conducción 86
Tabla 30: Datos de línea de Conducción..... 88
Tabla 31: Velocidades y caudal..... 89
Tabla 32: Presiones en el tramo A-B-C 90
Tabla 33 Velocidades y caudal..... 91
Tabla 34: Presiones en el tramo A-B-D 92
Tabla 35 Presiones con demanda cero 94
Tabla 36: Tabla de cantidad de obra 99
Tabla 37: Tabla Renta de equipos..... 100
Tabla 38:Tabla de take Off 101

Índice de figuras:

Figura 1: Macro Localización 17

Figura 2: Micro Localización 18

Figura 3: Talud típico recomendado para suelo 30

Figura 4: Balance hídrico del año hidrológico en la finca**¡Error! Marcador no definido.**

Figura 5: Modelo de elevación digital “Advanced Land Observing Satellite-1 ALOS PALSAR” 50

Figura 6: Cuencas hidrográficas de Nicaragua 51

Figura 7: Cuenca del Rio San Juan de Nicaragua..... 52

Figura 8: Cuenca La Trinidad 52

Figura 9: Microcuenca Finca El Guanacaste 53

Figura 10: Área, perímetro y altitudes de la Finca 54

Figura 11: Altitudes de la microcuenca Finca El Guanacaste 54

Figura 12: Longitud de la Corriente principal 55

Figura 13: Numero de orden 56

Figura 14: Uso de Suelo 59

Figura 15: Curva Granulométrica C1-E1 62

Figura 16: Curva Granulométrica C1-E2 63

Figura 17: Curva Granulométrica C1-E3 64

Figura 18: Ensayo Prueba Proctor Estándar 67

Figura 19: Superficie de terreno natural 72

Figura 20: Perfil Longitudinal 72

Figura 21: Detalle de reservorio 74

Figura 22: Curvas de nivel del reservorio 75

Figura 23: Dimensiones de la obra 75

Figura 24: Reservorio Semi Excavado 76
Figura 25: Detalle de Talud 77
Figura 26: Vertedero..... 78
Figura 27: Línea de Conducción..... 80
Figura 28: Topología de la red..... 80
Figura 29: Esquema del sifón..... 82
Figura 30: Sección transversal del sifón..... 83
Figura 31: Gradiente piezométrico del abrevadero..... 90
Figura 32: Perfil longitudinal de presiones del abrevadero..... 91
Figura 33: Gradiente piezométrico del cultivo 93
Figura 34: Perfil longitudinal de presiones de cultivo..... 93
Figura 35: Red de distribución..... 95

Dedicatoria

Quiero dedicar este proyecto primeramente a Dios, por darme la fuerza y sabiduría para llevar a cabo mis metas y objetivos. Y a todas esas personas que de una u otra manera influyeron, en este caminar, en especial a Alicia Gutiérrez, un ángel que me motiva desde el cielo.

Janelly ariana M.

Dedicado primeramente a Dios por ser mi fuerza y dirigirme por todo este proceso de mi carrera con sabiduría y persistencia sin decaer, y a dos mujeres que han sido mi más grande apoyo, a mi madre bella por estar dispuesta a acompañarme en cada etapa de mis estudios, por los consejos y presentarme a Dios en cada parte de mi vida, por preocuparse por mi avance; y a mi abuela hermosa por sus oraciones y siempre anhelar lo mejor de mí.

Dania Salvadora O.

Dedico este trabajo de tesis primeramente a Dios, por ser el inspirador, el que me guío, el que me dio la fuerza, la sabiduría, el que puso en mi camino a todas las personas que manifestaron su apoyo incondicional durante esta trayectoria para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. Especialmente a profe Karen Zielke y mi hermano Wilfredo Picado por su apoyo incondicional y por creer en mí, a mi papa Tomas y mi mama Zenelia por sus consejos, el resultado de lo que logrado es gracias a ustedes, Dios les bendiga.

Alex David P.

Agradecimiento

Gracias infinitas a Dios y nuestros padres por su apoyo incondicional. Su fe en nosotros, incluso en los momentos más difíciles, han sido el pilar de este logro, a nuestro tutor Juan Leonardo Chow Zúñiga, quien con sus conocimientos y apoyo nos orientó a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados que buscábamos.

Resumen

El presente trabajo consiste en el diseño de un sistema de captación de agua por escorrentía, mejorando de este modo la disponibilidad del agua para su uso ganadero y agrícola en la Finca el Guanacaste, en el marco del cambio climático en la zona seca de Nicaragua.

Para el diseño de la obra de captación se realizaron estudios de caracterización de la unidad de producción por medio de entrevista, además se hizo un estudio de la demanda hídrica a través del método de la evapotranspiración de cultivo y dotación del ganado, asimismo se realizó un levantamiento altiplanimetrico realizado en el sitio, también se hizo un estudio hidrológico que incluyo el análisis de los parámetros morfométricos utilizando ráster ALOS PALSAR y parámetros climáticos con datos globales de asimilación del clima (GDLAS), así como datos del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), finalmente se procedió con un estudio geotécnico a través de ensayos de laboratorio como granulométrica y soporte de suelo. Con los resultados de los estudios anteriores se adquirió la información básica para el diseño de la obra de captación y elaboración de presupuesto.

El propietario de la finca se tipificó como mediano productor con 36 mz de tierras, siendo 6 mz de cultivo, con un requerimiento hídrico anual de 6326.076 m^3, la cual será suministrada por la precipitación con una probabilidad del 75% de lluvia excedente y la escorrentía superficial almacenada en una obra de captación semi excavada con capacidad de 1605.35 m^3, impermeabilizada con suelo tipo CH y talud 1.33:1 con corona de 2 m.

El aprovechamiento del agua será mediante una línea de conducción de PVC 2 in SDR41 con 466.549 m, dotada de un sifón y dos hidrantes con caudales de 0.11 l/s y 0.61 l/s cada uno, con presiones de 4.77 m y 2.67 m respectivamente, uno será para uso ganadero y otro para uso agrícola a través de micro riego.

El presupuesto total de la obra esta evaluada en C$ 569,271.68 siendo la renta de equipo el costo más elevado.

I. Generalidades

1.1. Introducción

Nicaragua está ubicado en el corredor seco centroamericano, las zonas secas son los territorios que se caracterizan por la escasez de lluvias que pueden variar de 4 a 6 meses, lo que las convierte en zonas vulnerables al cambio climático.

Así mismo para combatir el cambio climático e impulsar medidas e inversiones para un futuro bajo en emisiones de carbono, en 2015 se adoptó el acuerdo de París, el cual es un tratado internacional que tiene por objetivo mantener el aumento de la temperatura en este siglo por debajo de los 2 grados centígrados (CEPAL, 2015).

Además, a nivel nacional se han trazado lineamientos para mitigar las causas del cambio climático y enfrentar los retos de la adaptación, entre ellos se destacan: decisiones que toman en cuenta el cambio climático con enfoque de mitigación y adaptación para el crecimiento económico; para ello se propone incorporar el desarrollo tecnológico en procesos productivos, estrategias de negocios e inversiones públicas, así como un desarrollo agropecuario resiliente a los impactos de la variabilidad climática actual. Además, se busca impulsar el conocimiento, investigación, financiamiento e información sobre la adaptación y mitigación al cambio climático.

Dando cumplimiento a los lineamientos propuestos por el gobierno, el CATIE y COSUDE está impulsando el proyecto “Cosecha de Agua” en la comunidad de San Lorenzo en el municipio la Trinidad, la cual forma parte del corredor seco nicaragüense, cuya población rural depende de ingresos provenientes de la agricultura y ganadería, rubros que son muy sensibles a los efectos del cambio climático.

Los agricultores y ganaderos afrontan sequías en los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril; y en ocasiones estos períodos de sequía se prolongan hasta por 6 meses. Según los productores de la zona, la principal necesidad en tiempos de sequía es la falta de forrajes y agua para abrevar el ganado.

Por tanto, como medidas para mitigar las sequías en la finca el Guanacaste, se propone realizar un sistema de cosecha de agua, la cual es una alternativa y una práctica efectiva de buen manejo de los recursos hídricos.

Consecuentemente, para el diseño de un sistema de cosecha de agua se realizarán los siguientes estudios: caracterización de las condiciones socioeconómicas de la unidad de producción, determinación de la demanda de agua requerida, realización del levantamiento topográfico del sitio, elaboración de un estudio hidrológico, así como un estudio geotécnico. Basado en los resultados de los estudios antes mencionados se diseñará la obra de captación y se elaborará el presupuesto.

1.2. Antecedentes

La demanda global de agua se ha incrementado durante los últimos años debido al crecimiento de la población y a la necesidad de producir mayor cantidad de bienes y servicios. Sumado a esto, el cambio climático ha modificado los patrones del clima de algunas regiones alterando los periodos de sequía y lluvia (Universidad Autonoma de México, 2019).

Por su parte, Nicaragua es un país altamente vulnerable a sufrir las consecuencias del cambio climático, cuyos primeros efectos ya se han manifestado, afectando la climatología del país, observándose poca o mucha lluvia y altas temperaturas. (CEPAL, 2010).

Por lo tanto, el cambio climático, conduce a un escenario de aumento general de la severidad de las sequías, se han registrado sequías en el país; siendo los años más secos: 1983, 1987, 1992 y 1994. Sequías moderadas se han registrado en los años: 1986, 1989 y 1997 y débil en 1991; todos estos años corresponden al fenómeno climático conocido como El Niño (MARENA - PNUD, 2003).

Los mayores problemas se registran en el corredor seco de Nicaragua, zona donde el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) ha trabajado en el proyecto denominado "Adaptación de la Agricultura al Cambio Climático a través de la Cosecha de Agua" que con la cooperación del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), actualmente promueven los sistemas de cosecha de agua como medida de adaptación climática de la agricultura familiar para más de 2,500 familias rurales en el corredor seco de Nicaragua (enseñanza, 2022).

Ante todos estos eventos de adaptación al cambio climático, la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI RUACS) en conjunto con el CATIE, promueven la adopción de tecnologías para la cosecha de agua en los estudiantes de último año mediante el diseño de reservorios como parte de los procesos monográficos y titulación.

1.3. Justificación

Respecto al cambio climático y su adaptabilidad en Nicaragua, la resolución A. N. No. 003-2009, en su inciso 4, expresa:

Exhortar a las universidades públicas, privadas y organismos de la sociedad civil a que contribuyan con sus investigaciones a la difusión del conocimiento relativo al Cambio Climático y de las mejores prácticas de adaptación, a través de la cotidianidad de las comunidades en el uso eficiente del agua, la disposición adecuada de los residuos sólidos, reforestación, mejora de los hábitos alimentarios y prácticas productivas sostenibles.

Así mismo, la presidencia de la república a través de la secretaría privada para políticas nacionales, se menciona a Nicaragua como la cuarta nación entre los diez países más afectados por eventos climáticos extremos.

Con estas consideraciones y tomando en cuenta que el municipio de la Trinidad es parte del corredor seco y que los productores de la comunidad San Lorenzo son afectados por severas sequías, se propone diseñar en la finca el Guanacaste, un sistema de cosecha de agua, basado en reservorios que sirvan para mitigar la

variación espacial y temporal de las lluvias, con el fin de satisfacer la demanda hídrica para el uso agrícola y ganadero.

Estas acciones vendrán a crear condiciones para el desarrollo socioeconómico de la unidad de producción familiar y permitirá la difusión de las tecnologías en el marco de los métodos de extensión propuestos por MEFCCA, INTA y CATIE, en colaboración con UNI RUACS.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Diseñar sistema de captación de agua por escorrentía mejorando igualmente, la disponibilidad y regulando la estacionalidad del agua para su uso ganadero y agrícola en la finca el Guanacaste.

1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las condiciones socioeconómicas de la unidad de producción familiar a través de la ficha técnica CATIE, conociendo de esta manera la viabilidad de la unidad de producción en la gestión del agua.
- Determinar la demanda de agua requerida en la unidad de producción haciendo uso de criterios presentados en “La Serie Técnica Cosecha de agua Vol. 2” CATIE, obteniendo de esta forma los datos que sirvan al dimensionamiento de la obra de captación.
- Efectuar el levantamiento topográfico del sitio de estudio con el fin de conocer las características de la superficie y obtener los datos geométricos necesarios, para el diseño del sistema de captación de agua por escorrentía.
- Realizar un estudio hidrológico utilizando el software QGIS, obteniendo las características morfométricas de la microcuenca, la precipitación y el escurrimiento superficial de la misma, mediante el análisis las precipitaciones, y el relieve haciendo uso de los modelos de elevación

digital y modelos de asimilación global de datos climáticos proporcionado por la NASA.

- Hacer un estudio geotécnico identificando las propiedades físicas, mecánicas del suelo y su idoneidad en la construcción de reservorios a través de análisis empírico y de laboratorio.
- Diseñar los diferentes componentes de la obra de captación haciendo uso de la serie técnica de cosecha de agua según la metodología CATIE, para que el sistema y sus diferentes elementos sirvan al almacenado de agua por escorrentía y cumplan con la vida útil prevista.
- Elaborar el presupuesto del sistema de captación de agua haciendo uso de la metodología del Fondo de Inversión Social de Emergencia (FISE), de manera que el Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza (CATIE) pueda incluirlo en el plan operativo anual.

II. Marco Teórico

A continuación, se describe cada uno de los conceptos principales necesarios para el desarrollo del presente estudio.

2.1. Caracterización de las condiciones socioeconómicas de la unidad de producción familiar

La caracterización de la unidad de producción familiar, consiste en el acompañamiento técnico para conocer la economía, geología y los recursos ambientales, que permiten tener una visión amplia e integral de una determinada unidad de producción familiar. La finalidad de esta caracterización es evaluar si existe privación de algún recurso, para proporcionar una alternativa ante la problemática (MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018).

2.2. Demanda de recursos hídricos

Es la estimación del déficit de agua para elegir el sitio y el tamaño del sistema de captación de escorrentía, a través del cálculo de la cantidad de agua disponible en la finca y la escorrentía que se requiere para cubrir la demanda del cultivo u otros usos (MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018).

Según MEFCCA, COSUDE & CATIE (2018), lluvia de diseño es la cantidad total de lluvia que cae durante todo el ciclo vegetativo del cultivo. La lluvia que cae sobre el área de captación provee la escorrentía superficial que se requiere almacenar para completar las necesidades de agua del cultivo. Para determinar la lluvia de diseño y cubrir el déficit hídrico, se deben considerar los siguientes datos:

- Fecha de siembra del cultivo
- Duración del ciclo vegetativo
- Seleccionar el menor valor de excedencia o de precipitación efectiva de los datos proporcionados por la estación meteorológica
- Determinar la cantidad de lluvia que cae en todo el ciclo vegetativo del cultivo seleccionado.

El valor mensual de la lluvia de diseño se obtiene a partir de estos valores:

- El P75, es la probabilidad de excedencia del 75% quiere decir que en 3/4 partes del tiempo (medido en años) se puede disponer de una cantidad de lluvia igual o mayor al valor obtenido. Entonces, el P75 es, la precipitación en mm que ocurre durante cada mes del ciclo del cultivo. Por ejemplo, los valores de precipitación para el maíz cultivado en Centroamérica corresponderían a los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre.
- El segundo valor es la cantidad de días por mes en que se desarrolla el cultivo, a partir de la fecha de siembra hasta el día de la cosecha, generalmente, mayo y septiembre.

2.2.1. Estimación del déficit de agua en la finca

Para elegir el tamaño y sistema de captación de escorrentía, se debe elaborar un cálculo de la cantidad de agua que hay en la finca (arroyos, manantiales, pozos, otros), luego se debe establecer la cantidad de agua de escorrentía que se requiere para cubrir el déficit de agua del cultivo y el hato de la finca (MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018).

2.2.2. Estimación del déficit de agua para consumo animal

Para obtener el déficit de agua de hato en la finca, se cuenta el número de cabezas de ganado de las diferentes especies, deben incluirse todos los animales, incluyendo los de patio, como gallinas, pavos, patos, entre otros (MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018).

Cuando el productor no tiene una fuente de agua propia, el total de consumo se contabiliza como déficit. En período invernal, lo más común es que el dueño lleve su ganado a los abrevaderos naturales que recogen escorrentía y reduce a la mitad ese déficit (MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018).

Para enfrentar este déficit en los meses de sequía el agricultor tiene la opción de almacenar escorrentía (MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018).

2.2.3. Estimación del déficit de agua para consumo agrícola

Un cultivo sufre déficit de agua cuando la cantidad de lluvia que cae sobre el área sembrada y se almacena en la zona de las raíces, es menor que la evapotranspiración (MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018).

Cuando el suelo carece de humedad y se combina con ciertas condiciones ambientales adversas, como altas temperaturas, vientos fuertes y una elevada radiación solar, el cultivo fácilmente puede entrar a un riesgoso período de estrés hídrico, lo deseable, en estos casos, es mantener un bajo nivel de transpiración, compatible con la cantidad de agua que se dispone en el suelo o en el reservorio (MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018).

En el trópico seco de América Central, los factores climáticos intensifican la evapotranspiración; por tanto, conocer el déficit de agua en el cultivo seleccionado es una condición necesaria para diseñar sistemas de captación de escorrentía apropiados (MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), cuando se planifica a largo plazo la siembra de varios cultivos en el mismo terreno, se puede estimar el déficit utilizando el valor de la evapotranspiración de referencia (ETo). En el caso de un solo cultivo, se utiliza el valor de evapotranspiración del cultivo (ETc) (MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018).

2.3. Estudio topográfico

“Los levantamientos topográficos se realizan para localizar objetos y medir el relieve, los accidentes del terreno o las variaciones tridimensionales de la superficie terrestre. Proporcionan información detallada sobre las elevaciones y la ubicación de elementos naturales (edificios, caminos, corrientes, etc.), de tal forma que es posible dibujar la información completa en planos topográficos” (McCormac, 2007).

INAA (2006), menciona que, para llevar a cabo un estudio topográfico, se debe reconocer el área perimetral de la población y una vez preseleccionados los sitios convenientes se procederá a efectuar los levantamientos topográficos de

conjunto. Básicamente, estos levantamientos deben dar una perfecta idea de conjunto y tener detalles suficientes para una ejecución posterior bien ubicada.

El proyectista deberá utilizar como punto de partida de cualquier levantamiento topográfico a realizar, la Red Geodésica Nacional, tanto en el levantamiento planimétrico como altimétrico y deberá cumplir con las recomendaciones que al respecto indique el INETER. El levantamiento topográfico se deberá amarrar a la Red Geodésica Nacional de por lo menos dos puntos o mojones aprobados por INETER, convenientemente referenciados y protegidos de tal manera que pueda reconstruirse a partir de ellos el levantamiento de campo realizado, presentándose los resultados en coordenadas UTM (INAA, 2006).

2.4. Estudio Hidrológico

La principal tarea de la Hidrología consiste en el estudio de los procesos de formación del escurrimiento para el desarrollo de métodos de cálculo de los regímenes hidrológicos con el objetivo de suplir distintas necesidades como son: el abastecimiento del agua potable, canaletas, alcantarillas, entre otros (Cedeño, 2016).

2.4.1. Estimación de parámetros morfométricos de la cuenca

A continuación, se presentan la descripción de los principales parámetros morfométricos de una cuenca.

- **Parámetros principales**

De acuerdo con Cedeño (2016), los parámetros principales son: área de la cuenca, perímetro de la cuenca, longitud del río principal, y desnivel. El área de la cuenca es toda el área, limitada por la divisoria y que tiene como lugar de descarga o drenaje al sitio de análisis, lugar donde se va a proyectar una obra. El perímetro se corresponde con la longitud del polígono que define los límites de la cuenca y depende de la superficie y forma de ésta. La longitud del río principal es la longitud desarrollada de la corriente mayoritaria a la que descargan todos los afluentes del sistema de drenaje. Además, se entiende por desnivel a la diferencia de las cotas

de terreno del sitio de análisis y de la parte más elevada de la cuenca ubicada en la divisoria.

- **Parámetros secundarios**

Entre los parámetros secundarios se mencionan: número de corrientes, densidad fluvial, índice de compacidad. El número de corrientes es la cantidad de estructuras de drenaje presentes en la cuenca, la densidad fluvial, es la relación de la longitud total de las corrientes de una cuenca con relación al área total de dicha cuenca y el índice de compacidad de una cuenca o índice de Gravelius, señala la relación entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia de la misma (Cedeño, 2016).

2.4.2. Parámetros hidrológicos

Seguidamente se describen los parámetros hidrológicos a tomar en cuenta en el presente estudio.

- **Precipitación**

La precipitación incluye la lluvia y otros procesos mediante el cual el agua cae a la superficie terrestre, la formación de esta requiere la elevación de una masa de agua a la atmosfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

- **Temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación**

La temperatura está relacionada con la sensación térmica que se percibe en un lugar específico del globo terrestre sobre un cuerpo, y que puede ser medida a través de un termómetro, sensores y/o termistores. La humedad relativa hace referencia a la cantidad porcentual de presión de vapor de agua presente en el aire. mientras que la velocidad del viento representa la velocidad con la cual se mueve el aire sobre la corteza terrestre y que además representa la energía presente en el aire atmosférico y por último la radiación solar, está conformada por el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol (Ortiz Diaz, Escobar Amado, & Sepúlveda Mora., 2018).

- **Evapotranspiración**

La evapotranspiración es la combinación de dos procesos separados pero que ocurren simultáneamente, mediante los cuales se pierde el agua que se evapora de la superficie del suelo y el agua que transpira el cultivo. El agua que se evapora del suelo es agua no productiva, no aprovechada; mientras que el agua que transpira la planta es agua productiva, que en su momento fue absorbida por las raíces junto con nutrientes (MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018).

- **Intensidad máxima de lluvia**

La máxima intensidad de lluvia que se registra en un intervalo de tiempo de referencia, para una tormenta, se establece calculando las alturas de lluvias totales corrientes para ese intervalo de tiempo (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

Los valores de intensidades de lluvia se pueden obtener a partir de las curvas intensidad-duración-frecuencias (IDF) o de ecuaciones de ajuste. El ajuste de los datos de intensidades de lluvias por medio del procedimiento estadístico de los mínimos cuadrados, en la cual se entra con la duración en minutos y se obtiene la intensidad (MTI, 2019).

- **Coeficiente de escorrentía**

Las abstracciones también pueden utilizarse por medio de los coeficientes de escorrentía. La definición más común de un coeficiente de escorrentía es que este es la relación entre la tasa pico de escorrentía directa y la intensidad promedio de precipitación en una tormenta. Estos coeficientes se aplican a precipitaciones y escorrentía de una tormenta, pero también pueden utilizarse para información de caudales mensuales o anuales (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

- **Método racional**

El método racional que se recomienda para áreas menores a 5 Km^2 supone la caída de la precipitación de manera uniforme en toda el área de la cuenca. Aquí juegan un papel muy importante las intensidades máximas de precipitación (Cedeño, 2016).

- **Tiempo de Concentración**

En los cálculos un lugar importante tiene la magnitud denominada tiempo de concentración Tc, la cual se define como tiempo necesario para que una gota de agua del flujo se desplace desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de análisis (Cedeño, 2016).

- **Caudal máximo**

Se determina con la ayuda del hidrograma de la lluvia dada. Estos caudales se emplean en el diseño de obras de drenaje, como son: alcantarillas, aliviaderos en presas y obras de drenaje en general (Cedeño, 2016).

2.4.3. Línea de conducción

Se entiende por línea de conducción al tramo de tubería que transporta agua desde la captación hasta los hidrantes o dependiendo de la configuración del sistema de la obra, la línea de conducción debe seguir, en lo posible, el perfil del terreno y debe ubicarse de manera que pueda inspeccionarse fácilmente, además el servicio adecuado requiere conocer la pendiente hidráulica en los puntos de demanda para el buen funcionamiento de una red distribución (SAGARPA, 2011).

2.4.4. Red de distribución

Una red de distribución (que en lo sucesivo se denominará red) es el conjunto de tubos, accesorios y estructuras que conducen el agua desde tanques de servicio o de distribución hasta la toma o hidrantes. Su finalidad es proporcionar agua para su consumo (Boulevard Adolfo Ruiz Cortines).

2.5. Estudio Geotécnico

El estudio geotécnico es la rama de la ciencia que trata el estudio de sus propiedades físicas y el comportamiento de masas de suelos sometidas a varios tipos de fuerzas (Das B. M., 2001).

Según Villalaz (2004), las propiedades físicas y mecánicas del suelo son aquellas que predicen el futuro comportamiento de un terreno bajo cargas cuando dicho terreno presente diferentes contenidos de humedad.

Para realizar un estudio geotécnico es de vital importancia identificar las propiedades físicas y mecánicas, ya que ciertas características propias del suelo inciden en la capacidad de drenaje, almacenamiento de agua, como es la textura y la estructura, es de vital importancia estudiar todas sus propiedades ya que todas tienen influencia para conocer la calidad del suelo (Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004).

- **Granulometría**

El análisis granulométrico es “La determinación de la cantidad en porciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo” (Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004, p.46).

- **Textura**

La textura de un suelo es una propiedad la cual expresa la distribución del tamaño de las partículas sólidas de las que está compuesto el suelo. (Serna, 2011, p.44).

- **Límites de Atterberg**

Atterberg estableció las fronteras entre los diferentes estados de consistencia y las denominó límites de consistencia, dentro de ellos se destacan el límite líquido, límite plástico y índice de plasticidad, los cuales definen el rango de humedades dentro del cual el suelo se comporta plásticamente (Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004).

Se define el límite líquido como el contenido de humedad expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico y el límite plástico se define como el contenido de humedad, expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido aun estado plástico, así mismo se denomina el índice de plasticidad como la diferencia numérica entre los limites líquido y plástico, e indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico (Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004).|

- **Valor relativo de soporte normal del suelo CBR**

El valor soporte del suelo es un índice de su resistencia al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad (Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004, p.112).

- **Compactación a través de prueba Proctor Estándar**

Se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad, el cual sirve para aumentar la resistencia y disminuir la compresibilidad del suelo (Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004, págs. 99,102).

- **Gravedad especifica**

La gravedad especifica de los sólidos de un suelo es la relación entre la masa de una unidad de volumen de solidos del suelo y la masa del mismo volumen de agua destilada sin gas a 20°C (Materials, 2014, p.2).

- **Relación de volumen**

Las relaciones de volumen de uso común para las tres fases en un elemento del suelo son la porosidad, relación de vacíos y grado de saturación (Das B. , 2012).

La porosidad (n), es la relación del volumen de vacíos entre el volumen de la muestra de suelo, la relación de vacíos (e), es la relación del volumen de vacíos al volumen de solidos de un suelo en una masa de suelo dada y el grado de saturación (S), es la relación del volumen de agua de los espacios vacíos entre el volumen de vacíos, se expresa en porcentaje (Das B. , 2012, págs. 5,6,7)

- **Relación de peso**

Las relaciones de peso comunes son el contenido de humedad, el peso específico húmedo y seco (Das B. , 2012).

El contenido de humedad (w), se define como la relación del peso del agua entre el peso de sólidos en un volumen dado de suelo, peso específico húmedo (γ), es el peso de suelo por volumen unitario y peso específico seco (γd), es el peso por volumen unitario del suelo excluida el agua (Das B. , 2012, p.19).

- **Coeficiente de permeabilidad (k)**

Es la facilidad con la que un determinado liquido fluye a través de un determinado suelo (P.Coduto, 1999, p.222)

2.6. Sistema de captación

Un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia consiste en un diseño que permita interceptar, recolectar y almacenar el agua de lluvia, el cual sirve como estrategia de adaptación frente a las sequias que se vienen acentuando por efectos del cambio climático (Belelli, Eduardo; Vázquez, Lucas;, 2019).

El sistema de captación de escorrentía puede resolver los problemas relacionados con la sequía, para ello, el diseño deberá considerar las características del área en estudio, tomará en cuenta el objetivo que cumplirá la obra, tendrá en consideración criterios de accesibilidad al lugar y los espacios disponibles para la construcción del reservorio (MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018).

Los parámetros a considerar para el diseño del reservorio según (MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018) son: Precipitación, Evapotranspiración, Geología de suelos, Topografía, pendiente, Precipitación efectiva y lluvia de diseño.

2.7. Presupuesto

Es la estimación futura de las operaciones y los recursos de una empresa, se elabora para obtener los objetivos económicos y financieros propuestos en un periodo determinado (Perez, 2021, p.6).

2.7.1. Costos

Conjunto de arrogaciones o desembolso indispensable para elaborar un producto o ejecutar un trabajo, sin ninguna utilidad (Perez, 2021, p.4).

2.7.2. Costos unitarios

Es el costo de producir una unidad de producto o servicio (Perez, 2021, p.4).

2.7.3. Costos fijos

Son aquellos que permanecen constantes en su monto total independientemente de los cambios en el nivel de la actividad (Perez, 2021, p.4).

2.7.4. Costos directos

Se define como la suma de los costos de los materiales, mano de obra y equipo necesario para la realización de la obra (Perez, 2021, p.6).

2.7.5. Costos indirectos

Son todas aquellas arrogaciones que generalmente se hacen para llevar a cabo la administración de la obra, tales gastos incluyen salarios, prestaciones sociales, seguros, gastos administrativos, legales, fianza entre otros (Perez, 2021, p.7).

2.7.6. Take Off

Se define Take Off a todas aquellas cantidades de materiales que involucran los costos de una determinada obra (Perez, 2021, p.6).

III. Diseño metodológico

En este capítulo se presenta los métodos necesarios para alcanzar los objetivos planteados en el presente estudio monográfico.

3.1. Tipo de estudio

Se realizó un estudio descriptivo utilizando métodos cuantitativos y cualitativos, el primero corresponde a todos los cálculos numéricos que se realizaron en los diferentes estudios previstos, así como en el diseño del reservorio, mientras que el segundo corresponde a la entrevista realizada en el campo.

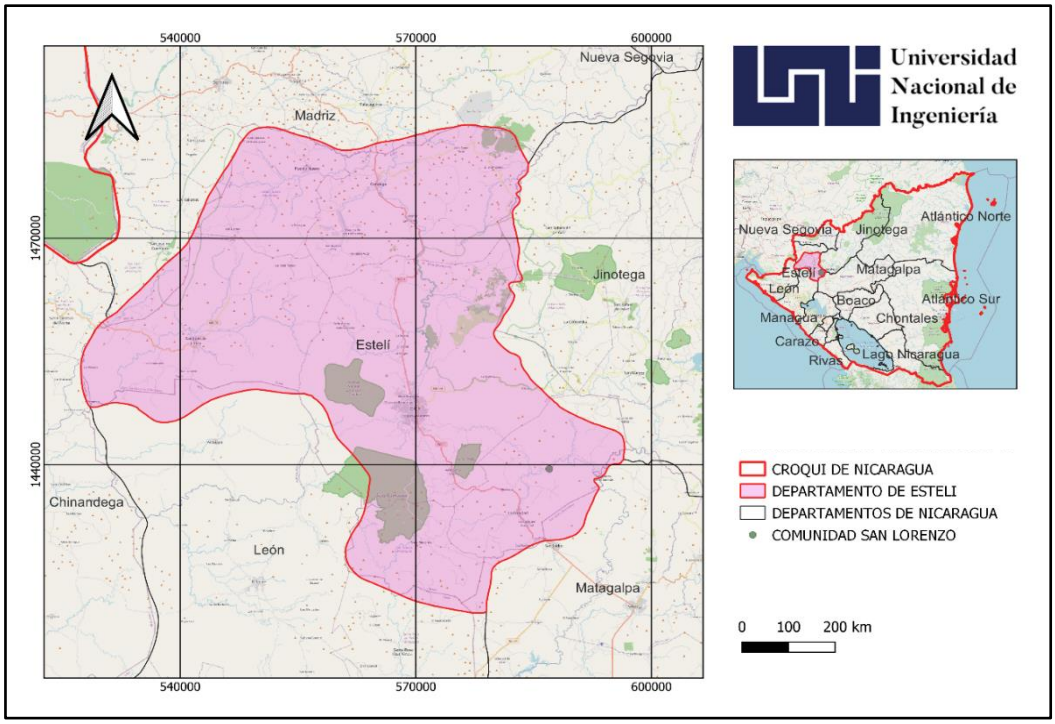
3.2. Localización

A continuación, se presenta la ubicación de la zona de estudio, identificado sus límites políticos en mapas y coordenadas del mismo.

3.2.1. Macro localización

El área de estudio se sitúa en el departamento de Estelí, municipio de La Trinidad en la comunidad de San Lorenzo y la localización se presenta en la figura 1.

Figura 1: Macro Localización

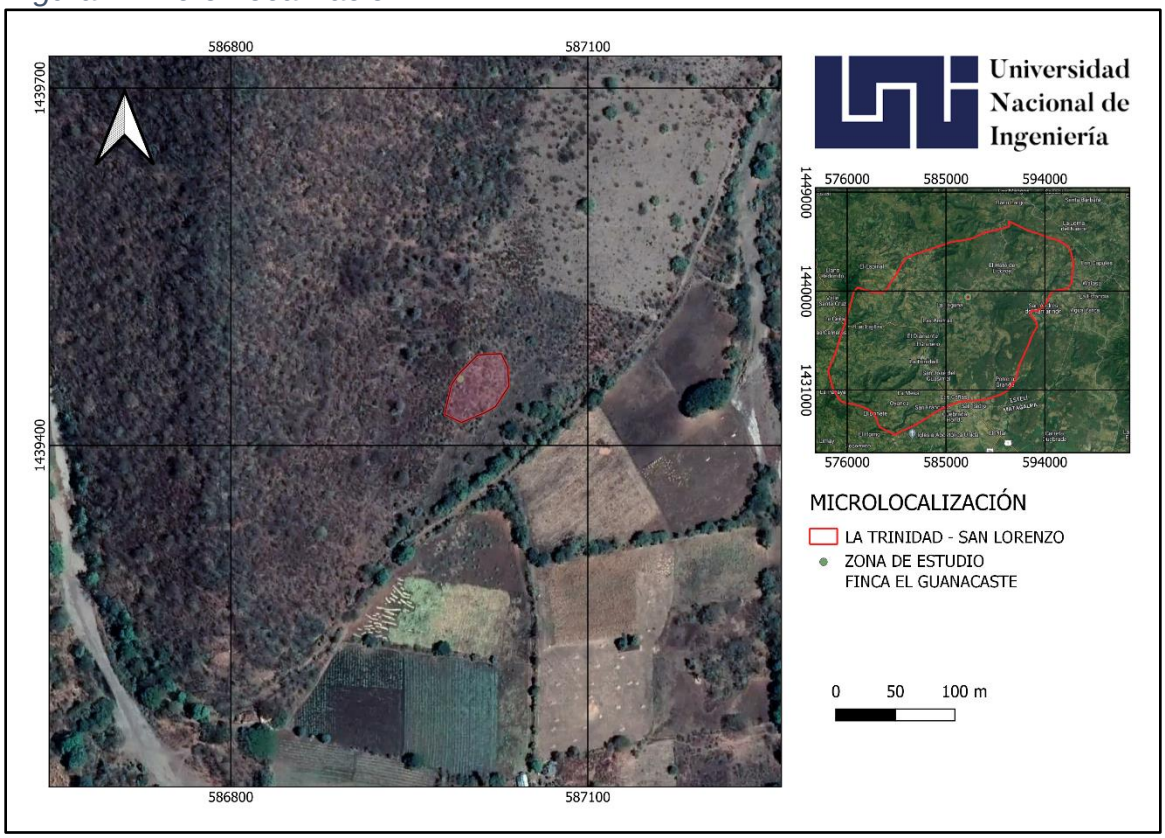


Fuente: Elaboración Propia

3.2.2. Micro localización

La zona de estudio donde se diseñó el reservorio se ubica en la comunidad San Lorenzo finca el Guanacaste – La Trinidad a 34 km de la ciudad de Estelí, con las siguientes coordenadas WGS84 UTM 16P X:586993, Y:1439456 como se presenta en la figura 2.

Figura 2: Micro Localización



Fuente: Elaboración Propia

3.3. Caracterización de las condiciones socioeconómicas

Esta caracterización se llevó a cabo mediante la documentación y sistematización de la información recopilada en campo mediante observaciones en el área de la finca y las entrevistas que se realizaron a los habitantes del sitio, se mostrará el modelo de entrevista a realizar en el capítulo V, anexo 1.

3.4. Demanda de agua

A continuación, se presentan las metodologías para determinar la demanda de agua necesaria para el buen funcionamiento de la finca.

La demanda de agua en la finca se determina tomando en cuenta dos categorías una agrícola y pecuaria, las cuales tienen sus propias dotaciones y se presentan en la tabla 1 y 2.

Tabla 1: Consumo diario de agua de algunas especies de animales domésticos.

Especie	Condición de consumo	Consumo
Gallinas		15 litros/día x 100 cabezas
Pavos		30 litros/día x 100 cabezas
Cerdos	Hasta 12 meses	11 litros/día x 100 kg de materia
	Engorde	3 a 4 litros/día x kg de materia seca consumida
	En lactancia	15 a 20 litros/día
Caprinos		4.5 a 8.0 litros/día
Bovinos		45 litros/día
Equinos		25 litros/día

(MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018, pág. 19)

Tabla 2: Valores aproximados de necesidades de agua de algunos cultivos estacionales

Cultivo	Necesidad de agua de los cultivos durante todo su período vegetativo (mm/total)
Frijol	300-500
Cítricos	900-1200
Maíz	500-800

(MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018, pág. 22)

3.4.1. Procedimientos para calcular las necesidades de agua

A continuación, se describen los pasos para calcular las necesidades hídricas para las actividades productivas de la finca:

- Categorizar el consumo: consiste en identificar los rubros que demandan agua.
- Identificar las actividades por rubro: consiste en el análisis de las actividades productivas levantadas en la entrevista.
- Calcular la demanda de agua por actividad: se calcula el consumo de agua basado en las tablas 1 y 2 del inciso 4.4, así mismo en el caso de los cultivos agrícolas podrá utilizarse el método del uso consultivo; el cual consiste en estimar el déficit de evapotranspiración de referencia (Eto), mediante la ecuación 1 de Thorntnwaite (Trezza, 2008, pág. 90).

$ET_C = K_C \times ET_o\, corregida$	*Ecuación 1*

Donde:

ET_C: Evapotranspiración del cultivo, mm

K_c: Coeficiente de cultivo, adim (FAO 24, 1986)

ET_O: Evapotranspiración de referencia, mm, fórmula de Thornthwite

Para calcular la evapotranspiración de referencia son necesarios los siguientes pasos:

- Descargar datos de temperatura del aire del servidor Nasa Giovanni utilizando las coordenadas 86.3086,12.9548,-86.207,13.032.
- Hacer promedios mensuales y anuales de la temperatura del aire
- Calcular el índice de calor mensual (i) utilizando la ecuación 2

$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.5114}$	*Ecuación 2*

- Cálculo del índice de calor anual (I) haciendo una suma de los índices de calor mensual.
- Se calcula la Eto mensual sin corregir utilizando la ecuación 3

$ET_o \sin corregir = 16\left(10 \times \left(\frac{t}{I}\right)\right)^a$	*Ecuación 3*

Donde:

t: Temperatura mensual, °C.

I: Índice de calor anual.

$a = ((675 \times 10\text{^} - 9) \times (\text{I}\text{^}3)) - ((771 \times 10\text{^} - 7) \times (\text{I}\text{^}2))$
$+ ((1792 \times 10\text{^} - 5) \times \text{I}) + 0.49239$

- Corrección para °n de días del mes y °n de horas de sol mediante la ecuación 4.

$ET_o = \ ET_o \sin corregir \times \left(\frac{N}{12}\right) \times \left(\frac{d}{30}\right)$	*Ecuación 4*

Donde:

d: número de días del mes.

N: Número máximo de horas de sol, dependiendo del mes y de la latitud (anexo 8).

El municipio de La trinidad se encuentra en latitud 13°, debido a que no se halló datos puntuales en la tabla de máximo de horas de sol en ese valor de latitud, se utilizaron los datos de latitud 12° para todos los meses del año.

Para calcular la demanda hídrica del cultivo mensual es necesario:

- Conocer el área de cultivo de cada tipo, en el caso de esta finca: maíz, frijol y cítricos.
- El coeficiente de cultivo adimensional Kc (FAO 24, 1986)
- Evapotranspiración de cultivo multiplicado Eto por Kc, para cada uno de los meses de cultivo por cada tipo.

- Encontrar el número máximo para cada mes encontrado en el paso anterior.

- Para calcular la demanda hídrica del consumo animal son necesarios los siguientes pasos:
- Encontrar según datos de la ficha técnica, qué especie de animales hay en la finca y cuántos hay de cada hato.
- Utilizando la tabla 1 y tomando en cuenta los días de cada mes, se multiplica la cantidad del hato, el consumo diario y los días del mes, haciendo este procedimiento para cada uno de los meses y eso tendrá como resultado el consumo total de los animales en la finca en litros/mes.

- Calcular balance hídrico: Del servidor Nasa Giovanni se descargan los datos de precipitación mensual del modelo Global Land Data Assimilation System (GLDAS), se promedian por mes y acumulan por año, se calcula la desviación estándar para cada mes y se calcula el percentil 25 de la serie de precipitación anual.
- Consolidación de la demanda hídrica de la finca: consiste en la sumatoria de cada actividad según su consumo y se expresa en términos de caudal.

3.5. Estudio topográfico

Los levantamientos topográficos para realizar el diseño correspondiente deben cumplir con los requisitos de precisión, cierre y metodología que se indican a continuación:

- El levantamiento altiplanimetrico debe referenciarse a un BM Geodésico

aprobado por INETER, se hacen estacionamientos no mayores de 20 m y se toman todos los accidentes que se presenten entre estos estacionamientos, tales como cauces, depresiones, cunetas, alcantarillas y otras tuberías existentes, etc.

- Se debe conformar al menos una poligonal cerrada de manera que se logre comprobar el cierre.

- En lugares convenientemente ubicados que garanticen su conservación, se colocan estacas que permitan el replanteo del polígono, estas deben colocarse antes del inicio de las mediciones y no al levantamiento.
- Las curvas de nivel tendrán un intervalo de 0.50 m a 1.00 m y en terreno accidentado el intervalo será mayor.

3.6. Estudio hidrológico

A continuación, se presenta la metodología para la caracterización hidrológica de la zona de estudio.

3.6.1. Parámetros morfométricos

Para el cálculo de los parámetros morfométricos se realiza lo siguiente:

- Descarga del modelo de elevación digital de servidor de la NASA: Se utiliza el DEM “Advanced Land Observing Satellite-1 ALOS PALSAR”, con resolución espacial de 12.5 m X 12.5 m.
- Delimitación de la microcuenca: Se utiliza el Software QGIS con el cual se procesa el modelo de elevación digital (DEM), para obtener una delimitación automática de la cuenca y las variables geométricas de la misma, así como el sistema de drenaje.
- Área de la microcuenca: El área de la cuenca se determina directamente con la calculadora vectorial del software QGIS.
- Perímetro de la microcuenca: Se calcula directamente con la calculadora vectorial del software QGIS.
- Longitud del rio Principal: Se calcula del drenaje con mayor número de orden mediante la calculadora vectorial del software QGIS.
- Desnivel: Mediante el software QGIS, se identifica la cota más elevada y la cota más baja en el punto de cierre de la microcuenca, el cálculo se hará con la ecuación 5 (Cedeño, 2016, p.183).

$H = C1 - C2$	*Ecuación 5*

Donde:

H: Diferencia de desnivel

C1: Cota mayor, m

C2: Cota menor, m

- Tiempo de concentración: El tiempo de concentración se determina con la ecuación 6 de Kirpich:

$T_C = 0.0195\left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385} (minutos)$	*Ecuación 6*

Donde:

L: Longitud del río principal, m

H: Diferencia de nivel entre la cota más elevada de la cuenca y la cota del sitio de análisis, m

- Numero de Corriente: Sumatoria de las corrientes identificadas mediante el procesamiento del ráster.
- Clasificación de las corrientes: Se clasifica mediante el método de Horton.
- Densidad fluvial: Se calcula mediante la ecuación 7 (Cedeño, 2016, p.185).

$D = \frac{L_s}{A}$	*Ecuación 7*

Donde:

D: Densidad Fluvial, adim

Ls: Longitud total de las corrientes, km

A: Área total de la cuenca, Km^2

- Índice de Compacidad: Para calcular el índice de compacidad se calcula con la siguiente ecuación 8 (Cedeño, 2016, p.186).

$I_c = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$	*Ecuación 8*

Donde:

Ic: Índice de compacidad

P: Perímetro de la cuenca, Km

A: Área de la cuenca, Km^2

3.6.2. Parámetros hidrológicos

- Precipitación: Los datos de precipitación se toman de los registros históricos del INETER y las series de tiempo de 22 años del Sistema Mundial de Asimilación de datos de la tierra (GDLAS) con resolución espacial de 0.25 grados.
- Temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación: Se obtiene del dato de Sistema Mundial de Asimilación de datos de la tierra (GDLAS).
- Evapotranspiración potencial: Se calcula con el método de Thornthwaite haciendo uso del Software PETP V2.00.
- Intensidad máxima de lluvia: Para el cálculo de la intensidad máxima se toman datos de la estación meteorológica de San Isidro con las siguientes coordenadas 12°54’48’’ LN, 86°11’30’’ LW con cota de 480 msnm.
- Coeficiente de escorrentía: Se toman datos de coeficientes de escorrentía para el método racional de la serie técnica cosecha de Agua Vol. 2 p.24.
- Caudal máximo: Para el cálculo del caudal máximo con intensidad cuyo periodo de retorno sea de 25 años (MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018, p.29) guía 2 CATIE, se realiza mediante el método racional con la ecuación 9 (Cedeño, 2016, p.215) y se toma en cuenta el área de recarga donde se construirá el reservorio.

$Q = \frac{CIA}{360}$	*Ecuación 9*

Donde:

Q: Caudal de la escorrentía, m^3/s

C: Coeficiente de escorrentía, adim

I: Intensidad máxima de lluvia, mm/h

A: Área de la cuenca o microcuenca, ha

3.7. Estudio Geotécnico

Realizar estudio geotécnico del área, determinando sus características físicas y mecánicas del suelo.

Primeramente, se toman las muestras de campo de una calicata la que estará ubicada al pie de donde se prevé colocar la cortina.

Una vez tomada las muestras se realizan los siguientes ensayos: Granulometría a través del tamizado donde se determina su tamaño máximo nominal, textura y su distribución de partículas, ensayo de límites de consistencia de Atterberg del cual se calcula el CBR (Relación de Soporte de California) con la ecuación 10 de (Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004, p.116) asimismo se realiza ensayo prueba Proctor estándar, gravedad específica para calcular las relaciones de peso (relación de vacíos, porosidad, grado de saturación) y relaciones de volumen (contenido de humedad, peso específico húmedo y seco) desde la ecuación 11 hasta la 16 de (Das B. , 2012, págs. 5-12) y por último se identifica el coeficiente de permeabilidad a partir de la clasificación del suelo (P.Coduto, 1999, p.222).

CBR:

$C.B.R = \frac{4500}{(L.L)(I.P)}$	*Ecuación 10*

Donde:

L.L = Limite liquido

I.P = Índice de plasticidad

Relación de vacíos:

$e = \frac{Vv}{Vs}$	*Ecuación 11*

Donde:

Vv = Volumen de vacíos

Vs = Volumen de solidos

Porosidad:

$n = \frac{Vv}{V}$	*Ecuación 12*

Donde:

V= Volumen total del suelo

Grado de saturación:

$S = \frac{Vw}{Vv}$	*Ecuación 13*

Donde:

Vw= Volumen de agua

Contenido de humedad:

$W = \frac{Ww}{Ws}$	*Ecuación 14*

Donde:

Ww= peso del agua

Ws= Peso de los sólidos del suelo

Peso específico húmedo:

$\gamma = \frac{W}{V}$	*Ecuación 15*

Donde:

W= Peso total de la muestra de suelo

Peso específico seco:

$\gamma d = \frac{Ws}{V}$	*Ecuación 16*

3.8. Diseño de la obra de captación

A continuación, se presenta la metodología para el pre dimensionamiento del reservorio.

3.8.1. Requisitos previos

Los estudios básicos, técnicos y socioeconómicos, que deben ser realizados previamente al diseño de un reservorio de almacenamiento de agua, son los siguientes:

- Evaluar el sistema del abastecimiento de agua existente.
- Determinación del consumo promedio de agua y sus variaciones.
- Estudios geotécnicos para determinar las condiciones y estabilidad del suelo.

3.8.2. Dimensiones de la obra haciendo uso de las series técnicas cosecha de agua CATIE.

Para el diseño de la obra de captación se hace un análisis detallado basado en recomendaciones y las Guías Técnicas de Cosecha de Agua CATIE, que tendrá

como finalidad presentar los pasos y metodología más acertada para el predi mensionamiento del reservorio en la finca El Guanacaste.

- Selección del sitio en la finca: Primeramente, se realiza un recorrido en la finca acompañado de un técnico o especialista, para determinar cuál es el mejor sitio donde convergen 4 componentes importantes, los cuales son: área de recarga, pendiente, área para establecer el reservorio y área de cultivo o abrevadero.
- Georreferenciar la zona en estudio, (Referencia espacial WGS 84/ UTM Zona 16N).
- Importar puntos de levantamiento topográfico para la creación de curvas de nivel haciendo uso del software Civil 3D.
- Elaborar el perfil longitudinal y secciones transversales para posteriormente realizar cálculos de movimiento de tierra.
- Área de captación: Para establecer el área que tendrá el área de recarga se usa la ecuación 17 (MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018, p.25), según la guía técnica del CATIE Vol.2, para el diseño de captación de escorrentía.

$CAPT = \frac{Ac \times (NAP - LLd)}{Lld \times CE \times Fe}$	*Ecuación 17*

Donde:

CAPT: Área de captación, m^2

Ac: Área Cultivada, m^2

NAP: Necesidad de agua de las plantas, m

LLd: Lluvia de diseño, m

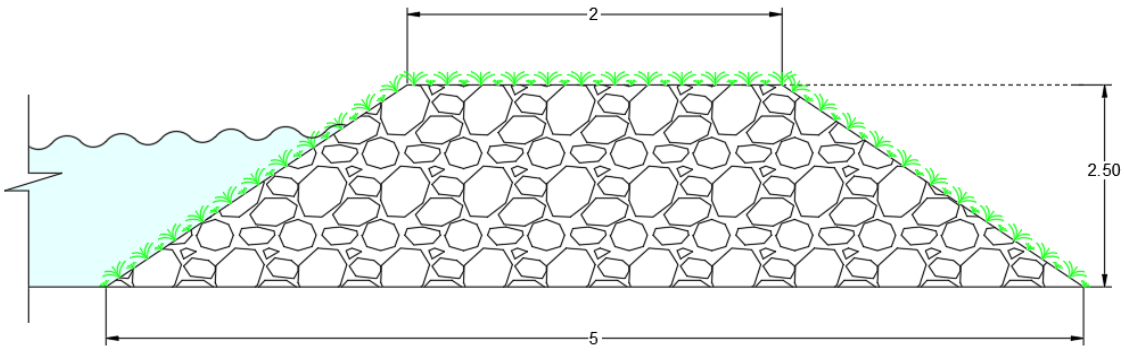
CE: Coeficiente de escorrentía según el uso del suelo, adm

FE: Factor de eficiencia, adim

- Dimensiones de la obra: La dimensión de la obra de captación depende directamente del déficit de agua en la unidad de producción o bien para cubrir todo el periodo vegetativo de un cultivo sembrado en verano.

- Características de la obra: Una vez que se ha seleccionado el sitio en estudio se procede a calcular el volumen neto de agua según las características observadas, ya sea un reservorio rectangular, circular o uno semi circular.
- Cálculo del caudal instantáneo: Para calcular el aumento rápido de una corriente ocasionada por una tormenta donde interviene la intensidad de la lluvia se determina con la ecuación 9 del método racional que se describe en la sección de caracterización hidrológica del presente estudio.
- Dimensiones de talud: Para garantizar una mayor estabilidad de la obra, se recomienda establecer la pendiente de los taludes en 45 grados. La geometría del talud tiene que cumplir los requisitos mínimos especificados en la guía tres “construcción y supervisión de reservorios para captación de escorrentía Vol.3” p.21, a continuación, se muestra las dimensiones mínimas en la figura 3, todas especificadas en m. No obstante, el talud definitivo depende del estudio geotécnico y el hidrológico.

Figura 3: Talud típico recomendado para suelo



(MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018, p.21)

- Vertedero: Para obtener las medidas apropiadas del vertedero, en relación con el caudal Instantáneo, se calcula en base a la ecuación 18 (MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018, p.44), según la guía 2, diseño de captación de escorrentía.

$Q = mb\sqrt{2g}\,h^{3/2}$	*Ecuación 18*

Donde:

Q: Caudal máximo instantáneo, m^3/s

m: Coeficiente de vertedero, asumir 0.42

b: Ancho del canal del vertedero, m

h: Altura de agua sobre el vertedero, m

3.8.3. Balance del reservorio

Para los cálculos del balance del reservorio se utilizan los datos del balance hídrico realizado en el software Inner Soft, se realizará el cálculo para encontrar el volumen de escorrentía el cual consiste en restar el área de la microcuenca menos el dato de escorrentía calculado en Inner Soft; la evapotranspiración de la laguna es el resultado del producto de área del reservorio por la evapotranspiración del cultivo de referencia, para encontrar el volumen neto disponible en la laguna se le restará al volumen de escurrimiento la evapotranspiración de la laguna y el volumen de infiltración para el primer mes del año hidrológico y a los siguientes meses se hará el cálculo donde al volumen de agua acumulado en el mes anterior se le restará el volumen de escurrimiento, la evapotranspiración de la laguna y el volumen de infiltración, luego de conocer el volumen neto del reservorio, el área del reservorio y el área donde se cultivará y conociendo los meses de consumo del reservorio los cuales son de noviembre a mayo se procederá a hacer el balance del reservorio que consiste en restarle al volumen del reservorio el volumen de infiltración, la demanda del cultivo, el volumen de evapotranspiración del embalse (el cual será el producto de la evaporación por el área del reservorio) y el consumo del ganado, para cada uno de los meses de consumo empezando por el mes de noviembre hasta el mes de mayo.

3.8.4. Diseño hidráulico de la línea de conducción y red de distribución

Para los cálculos se hace una simulación hidráulica con EPANET configurando las pérdidas de carga con la ecuación de Hazen Williams ecuación 19 (Instituto Nicaraguense de Acueductos y Alcantarillados Ente Regulador, 2021, p.202), para el análisis se utilizan los caudales máximos de la demanda de los cultivos y el hato. Como criterios de diseño se adoptan los presentados en “Manual Práctico para el Diseño de Sistemas de Minirriego” (FAO-SAG, 2007), con velocidades de flujo de 0.5m/s a 3 m/s, y con presiones entre 5 m y 10 m, esto para garantizar el buen funcionamiento de las cintas de goteo. El diámetro mínimo para línea de conducción y red de distribución de 1.5 pulgadas. Las longitudes y cotas de la línea de conducción y red de distribución se obtienen del estudio topográfico.

$h_f = 10.679 \frac{Q^{1.85}}{C^{1.85} \times D^{4.87}} \times L$	*Ecuación 19*

Donde:

Hf: Perdidas de carga por fricción, m

Q: Caudal, m^3/s

C: Rugosidad para PVC 150, adim

D: Diámetro, m

L: Longitud total, m

- La línea de conducción por gravedad estará conformada por un sifón para la obra de toma, válvula para el llenado de la tubería del sifón, válvula check en el inicio de la toma de la tubería del sifón, válvula de compuerta y filtro de 120 mesh al final de la línea de conducción.
- La red de distribución: Es una red tipo abierta en la cual se instalan al menos dos hidrantes o nodos concentrados, en dependencia de la cantidad

de cultivos. El hidrante está conformado por una tee, una válvula de compuerta, un manómetro, dos niples, un codo.

- Cálculo de la velocidad: Para las velocidades en la línea de conducción se utilizó la ecuación 20 (Cedeño, 2016, p.265).

$v = \frac{Q}{\pi \times \frac{D^2}{4}}$	*Ecuación 20*

Donde:

V: velocidad, m/s

Q: Caudal, m^3/s

D: Diámetro de la tubería, cm

- Cálculo de las pérdidas locales: Se calculan las perdidas locales con la ecuación 21 (Cedeño, 2016, p.71), para la válvula check, la válvula de control de la línea de conducción, las válvulas y accesorios de los hidrantes y el filtro.

$h_l = \sum K \frac{v^2}{2g}$	*Ecuación 21*

Donde:

Hl: Perdidas locales, m

K: Coeficientes de pérdidas por accesorios, adm

v: Velocidad de flujo, m/s

g: Gravedad, m/s^2

- Simulación con máxima demanda: Se hace la simulación de máxima demanda para conocer las velocidades y presiones y verificar que estas cumplan con los criterios de diseño.
- Se realiza una simulación con demanda cero: Se hace una simulación sin consumo para conocer las presiones máximas

- Cálculo del golpe de ariete: se calculará el golpe de ariete con la ecuación 22, de (AMANCO, 2005, p.31).

$a = \frac{1420}{\sqrt{1 + \left(\frac{K}{E}\right)(SDR - 2)}}$	*Ecuación 22*

Donde:

a: Velocidad de la onda, m/s

K: Modulo de compresión del agua =2,06x10^4 kg/cm^2

E: Modulo de elasticidad de la tubería =2,81x10^4 kg/cm^2

SDR: Razón dimensional estándar

- Tiempo de la onda de presión: para la magnitud de retraso de la onda de choque se calculará con la ecuación 23 (Cedeño, 2016, p.136).

$t = \frac{2 \times L}{a}$	*Ecuación 23*

t: Tiempo de la onda de presión, min

L: Longitud de la tubería, m

a: Velocidad de la onda, m/s

- Velocidad ponderada: En el caso de la conducción está constituida por tramos de tubos se calculará como la media ponderada de las velocidades de cada tramo con la ecuación 24 $(\text{Real}, 2010, \text{p.}\,5)$.

$v = \frac{L}{\sum \frac{L_i}{v_i}}$	*Ecuación 24*

V: Velocidad del flujo, m/s

L: Longitud de tubería, m

- Sobrepresión: Para la sobrepresión generada en la válvula se calculó con la ecuación 25 (Real, 2010, p.9)

$\Delta H = \frac{2 \times L \times V}{g \times T}$	*Ecuación 25*

Donde:

∆H: Sobre presión debida al golpe de ariete, m

L: Longitud de tubería, m

V: Velocidad de régimen del agua, m/s

T: Tiempo de cierre, s

g: Aceleración de la gravedad, m/s^2

- ❖ Todos los planos del diseño de la obra se realizan en formato ISO A3.

3.9. Presupuesto

La Estimación del costo de la obra se hace mediante la elaboración de Take Off y presupuesto haciendo uso de la guía de costos FISE en una hoja de cálculo en Microsoft Excel.

- ❖ Realización de cálculos de Take Off según planos de diseño, usando el catálogo de actividades del FISE en una hoja de cálculo en Microsoft Excel.
- ❖ Determinación de la cantidad de equipos a utilizar para la ejecución del de las obras, a fin de calcular los costos de renta horaria de los mismos.
- ❖ Presentar presupuesto por etapas y subetapas, según costos y cantidades de obra de una manera detallada.

IV. Análisis y Discusión de Resultados

4.1. Caracterización de las condiciones socioeconómicas

Es este apartado se describen las condiciones socioeconómicas del productor la cual se basó en la ficha técnica modelo CATIE, levantada el 27 de septiembre del 2022 que se presenta en el anexo 2.

La finca cuenta con un área total de 36 manzanas equivalentes a 25.71 hectáreas, la cual se divide en 6 manzanas destinadas al uso agrícola de las que se siembran por ciclo 1 mz de maíz, 0.50 mz de frijol y 0.10 mz de cítricos hasta completar 6 mz en todo los ciclos agrícolas, asimismo se aprovechan 30 mz para el uso pecuario en el cual se pastorean 30 cabezas de ganado , se encuentra ubicada en la Comunidad San Lorenzo del municipio la Trinidad sus coordenadas UTM zona 16P X: 587017, Y: 1439452 a 570 msnm, con un clima tropical seco la temperatura de 24.38 °C y precipitación anual de 1443.44 mm/año.

De acuerdo a la mencionada Ficha se encontró que el productor clasifica como mediano productor de acuerdo a los parámetros establecidos por la (FAO, 2012), la cual considera que toda área cultivada menor a 1 hectárea son pequeños productores, de 1 a 10 medianos productores y más de 10 hectáreas en grandes productores.

Las condiciones del sitio son excelentes para la construcción del reservorio, existe escasez de agua para la unidad de producción familiar, camino de fácil acceso y de todo tiempo, ubicado a 900 m del centro de la comunidad San Lorenzo.

4.1.1. Ingresos

Los ingresos que el productor obtiene provienen de las actividades agrícolas y ganaderas, por lo que el ingreso anual puede variar según las condiciones climáticas y de mercado fundamentalmente.

Se estima que el ingreso anual del productor en años con buenos precios y rendimientos puede alcanzar C$ 300,000 no obstante en años con bajos precios y malos rendimientos a causa de fenómenos naturales el ingreso puede disminuir hasta C$ 200,000 donde se considera que, de cada 10 años, cinco son de buenos ingresos y cinco de malos ingresos.

4.2. Demanda de agua en la Finca

A continuación, se presentan los resultados de la demanda de agua, obtenidos de la entrevista que se le realizo al productor de la finca el Guanacaste y cálculos realizados.

4.2.1. Uso del agua

La finca tiene servicio de agua del sistema público, el cual paga C$105.00 por un volumen de 8-10 m3 al mes, el cual considera insuficiente para los gastos de la finca.

Además, el productor utiliza un sistema de riego por gravedad (línea de conducción) el cual se distribuye a las parcelas por goteo con una frecuencia de riego cada tres días.

El productor considera que el ultimo invierno fue bueno, debido a que obtuvo una excelente cosecha.

4.2.2. Cálculo de la demanda de agua.

La demanda de agua se calculó en base a los rubros identificados en la entrevista, se obtuvo la temperatura de los datos de Global Land Data Assimilation System (GLDAS), proporcionado por La Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), descargado del servidor Nasa Giovanni (anexo 3), a partir de las cuales se calculó la evapotranspiración de referencia con el método Thornthwaite haciendo uso de la ecuación 2 para el cálculo del índice de calor mensual (ver tabla 3 y 4), 3 temperatura promedio, evapotranspiración sin corregir utilizando la temperatura mensual (como se muestra en la tabla 4), y corrección para el °n de días del mes °n de horas de sol para la evapotranspiración del cultivo de referencia (en la tabla 5 y el anexo 4), así mismo se calculó la evapotranspiración del cultivo (utilizando la ecuación 1) para calcular la demanda hídrica ver tabla 6 para lo cual se utilizó el coeficiente de cultivo.

Además, se calculó la demanda para el consumo animal (como se muestra en la tabla 7), la cual se basó en las dotaciones proporcionadas por CATIE (tabla 1) y la cantidad de ganado proporcionada por el agricultor a través de la entrevista.

Los cálculos y resultados de la evapotranspiración de referencia fueron los siguientes:

- Índice de calor mensual utilizando la ecuación 2 (ver resultado en tabla 4)

  Donde:

  ET_C: Evapotranspiración del cultivo

  ET_O: Evapotranspiración de referencia

  t: Temperatura mensual, °C para cada mes del año (ver resultado en tabla 3)

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.5114}$$

Enero:

$$i = \left(\frac{23.05}{5}\right)^{1.5114} = 10.11$$

Febrero:

$$i = \left(\frac{24.93}{5}\right)^{1.5114} = 11.39$$

Marzo:

$$i = \left(\frac{27.11}{5}\right)^{1.5114} = 12.93$$

Abril:

$$i = \left(\frac{29.09}{5}\right)^{1.5114} = 14.39$$

Mayo:

$$i = \left(\frac{27.11}{5}\right)^{1.5114} = 12.93$$

Junio:

$$i = \left(\frac{24.23}{5}\right)^{1.5114} = 10.90$$

Julio:

$$i = \left(\frac{23.65}{5}\right)^{1.5114} = 11.51$$

Agosto:

$$i = \left(\frac{23.82}{5}\right)^{1.5114} = 10.63$$

Septiembre:

$$i = \left(\frac{23.38}{5}\right)^{1.5114} = 10.33$$

Octubre:

$$i = \left(\frac{22.47}{5}\right)^{1.5114} = 9.73$$

Noviembre:

$$i = \left(\frac{21.70}{5}\right)^{1.5114} = 9.23$$

Diciembre:

$$i = \left(\frac{21.99}{5}\right)^{1.5114} = 9.42$$

- Índice de calor anual

  Donde:

  I: Índice de calor anual

  i: índice de calor mensual

$$I = \sum i$$

$$I = 10.11 + 11.39 + 12.93 + 14.39 + 12.93 + 10.90 + 10.51 + 10.63 + 10.33 + 9.73 + 9.23 + 9.42$$

$$I = 132.5$$

- Evapotranspiración de referencia mensual sin corregir utilizando ecuación 3.

$$ET_o\ sin\ corregir = 16(10 \times t/I)\text{^}a16(10 \times t/I)^a$$

$$a = ((675 \times 10\text{^} - 9) \times (I\text{^}3)) - ((771x10\text{^} - 7) \times (I\text{^}2)) + ((1792 \times 10\text{^} - 5) \times I) + 0.49239$$

$$a = ((675x10\text{^} - 9) \times (132.5\text{^}3)) - ((771x10\text{^} - 7) \times (132.5\text{^}2)) + ((1792 \times 10\text{^} - 5) \times 132.5) + 0.49239$$

$$a = 3.08$$

$$ET_o \sin corregir = 16\left(10 \times \left(\frac{23.05}{132.5}\right)\right)^{3.08}$$

$$ET_o \sin corregir = 88.19\ mm/mes$$

- Corrección para °n de días del mes y °n de horas de sol (tabla 5)

  Donde:

  d: número de días del mes.

  N: Número máximo de horas de sol, dependiendo del mes y de la latitud (anexo 4)

$$ET_o = \ ET_o \sin corregir \times \left(\frac{N}{12}\right) \times \left(\frac{d}{30}\right)$$

  Enero:

$$ET_o = \ 88.19 \times \left(\frac{11.4}{12}\right) \times \left(\frac{31}{30}\right) = 86.57\ mm/mes$$

  Febrero:

$$ET_o = \ 112.35 \times \left(\frac{11.6}{12}\right) \times \left(\frac{28}{30}\right) = 101.36\ mm/mes$$

  Marzo:

$$ET_o = \ 145.45 \times \left(\frac{11.9}{12}\right) \times \left(\frac{31}{30}\right) = 149.05\ mm/mes$$

Abril:

$$ET_o = \ 180.86 \times \left(\frac{12.3}{12}\right) \times \left(\frac{30}{30}\right) = 185.38\ mm/mes$$

Mayo:

$$ET_o = \ 145.49 \times \left(\frac{12.6}{12}\right) \times \left(\frac{31}{30}\right) = 157.86\ mm/mes$$

Junio:

$$ET_o = \ 102.84 \times \left(\frac{12.7}{12}\right) \times \left(\frac{30}{30}\right) = 108.83\ mm/mes$$

Julio:

$$ET_o = \ 95.50 \times \left(\frac{12.6}{12}\right) \times \left(\frac{31}{30}\right) = 103.62\ mm/mes$$

Agosto:

$$ET_o = \ 97.65 \times \left(\frac{12.4}{12}\right) \times \left(\frac{31}{30}\right) = 104.26\ mm/mes$$

Septiembre:

$$ET_o = \ 92.15 \times \left(\frac{12.1}{12}\right) \times \left(\frac{30}{30}\right) = 92.92\ mm/mes$$

Octubre:

$$ET_o = \ 81.55 \times \left(\frac{11.7}{12}\right) \times \left(\frac{31}{30}\right) = 82.16\ mm/mes$$

Noviembre:

$$ET_o = \ 73.20 \times \left(\frac{11.4}{12}\right) \times \left(\frac{30}{30}\right) = 69.54\ mm/mes$$

Diciembre:

$$ET_o = \ 73.31 \times \left(\frac{11.3}{12}\right) \times \left(\frac{31}{30}\right) = 74.25\ mm/mes$$

Los resultados de la demanda hídrica por cultivo mensual (ver anexo 17), se obtuvieron luego de calcular datos de evapotranspiración de referencia (Eto) y el coeficiente máximo de cultivo (Kc) aplicando la ecuación 1 (ver tabla 6):

Donde:

K_c: Coeficiente de cultivo, adim (FAO 24, 1986)

$$ET_C = K_C \ \times \ ET_o\ corregida$$

Tabla 3: Temperatura promedio

Temperatura promedio													
Meses	**ene**	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**	**Al año**
°C	**23.05**	**24.93**	**27.11**	**29.09**	**27.11**	**24.23**	**23.65**	**23.82**	**23.38**	**22.47**	**21.70**	**21.99**	**24.38 °C**

Fuente: Nasa Giovanni

Tabla 4: Cálculo de evapotranspiración sin corregir

Eto sin Corregir												
Meses	**ene**	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
i:	**10.11**	**11.39**	**12.93**	**14.39**	**12.93**	**10.90**	**10.51**	**10.63**	10.33	9.73	9.23	9.42
I:	**132.5**											
a=	**3.08**											
Eto sin corregir	**88.19**	**112.35**	**145.45**	**180.86**	**145.49**	**102.84**	**95.50**	**97.65**	**92.15**	**81.55**	**73.20**	**76.31**
Días del mes	**31**	**28**	**31**	**30**	**31**	**30**	**31**	**31**	**30**	**31**	**30**	**31**
N	**11.4**	**11.6**	**11.9**	**12.3**	**12.6**	**12.7**	**12.6**	**12.4**	**12.1**	**11.7**	**11.4**	**11.3**

Tabla 5: Evapotranspiración del cultivo de referencia

Evapotranspiración de cultivo de referencia												
Meses	**ene**	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eto mm/mes	**86.57**	**101.36**	**149.05**	**185.38**	**157.86**	**108.83**	**103.62**	**104.26**	**92.92**	**82.16**	**69.54**	**74.25**

Tabla 6: Demanda Hídrica del cultivo mensual

Demanda Hídrica del cultivo mensual (m3)													
Cultivo	**Área de cultivo**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**
Maiz	1.00 Mz	0	0	-72.4548174	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Frijol	0.50 Mz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Citricos	0.10 Mz	0.00	0.00	-1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	-33.37	-31.34	-44.13	-72.80	-85.49
Demanda Hídrica del cultivo mensual (m3		0	0	-73.66	0	0	0	0	-33.37	-31.34	-44.13	-72.80	-85.49
Demanda estacion:		-73.659						-267.131					
Demanda Total=		**-340.790**											

4.2.3. Cálculo del consumo animal

Los cálculos y resultados de la demanda del consumo animal fueron los siguientes (ver tabla 7):

Donde:

Cantidad de ganado= 30 cabezas

Consumo diario= 45 lt

$$Consumo\ por\ mes = días\ del\ mes \times cantidad\ de\ ganado \times consumo\ diario$$

Enero:

$$Consumo\ por\ mes = 31 \times 30 \times 45 = 41850\ lt/mes$$

Febrero:

$$Consumo\ por\ mes = 28 \times 30 \times 45 = 37800\ lt/mes$$

Marzo:

$$Consumo\ por\ mes = 31 \times 30 \times 45 = 41850\ lt/mes$$

Abril:

$$Consumo\ por\ mes = 30 \times 30 \times 45 = 40500\ lt/mes$$

Mayo:

$$Consumo\ por\ mes = 31 \times 30 \times 45 = 41850\ lt/mes$$

Junio:

$$Consumo\ por\ mes = 30 \times 30 \times 45 = 40500\ lt/mes$$

Julio:

$$Consumo\ por\ mes = 31 \times 30 \times 45 = 41850\ lt/mes$$

Agosto:

$$Consumo\ por\ mes = 31 \times 30 \times 45 = 41850\ lt/mes$$

Septiembre:

$$Consumo\ por\ mes = 30 \times 30 \times 45 = 40500\ lt/mes$$

Octubre:

$$Consumo\ por\ mes = 31 \times 30 \times 45 = 41850\ lt/mes$$

Noviembre:

$$Consumo\ por\ mes = 30 \times 30 \times 45 = 40500\ lt/mes$$

Diciembre:

$$Consumo\ por\ mes = 31 \times 30 \times 45 = 41850\ lt/mes$$

Tabla 7: Consumo animal

CONSUMO ANIMAL												
Consumo animal	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**	**ene**	**feb**	**mar**	**abr**
m3/mes	**41.85**	**40.5**	**41.85**	**41.85**	**40.5**	**41.85**	**40.5**	**41.85**	**41.85**	**37.8**	**41.85**	**40.5**
Días	**31**	**30**	**31**	**31**	**30**	**31**	**30**	**31**	**31**	**28**	**31**	**30**

A continuación, se presenta un resumen anual de la demanda hídrica de la finca y de 6 meses de periodo seco, como se describe en la tabla 8.

Tabla 8: Demanda hídrica de la unidad de producción

Demanda Hídrica de la Unidad de Producción (m3)	
Meses	Total, anual
Cultivo	-340.79
Animal	-492.75
Total	**-833.540**
Demanda hídrica en periodo seco (m3)	
Meses	De noviembre a abril
Cultivo	-267.131
Animal	-244.35
Total	**-511.481**

4.2.1. Cálculos del balance hídrico

El balance del cultivo se hizo con datos del servidor NASA Giovanni, siendo estos: datos de precipitación mensual de 21 años de registros descrita en el anexo 5.

Con los datos de precipitación se calculó: promedios y desviación estándar por mes, también P25, cuyo número de orden fue 5.5, valor entre el orden 5 y 6 de una serie de 21 años registrados y corresponde a 1,166.57 mm

Cálculo P25:

$$P25 = \frac{25}{100}(n+1)$$

$$P25 = \frac{25}{100}(21+1) = 5.5$$

En la serie de datos del anexo 5, se busca la posición No 5 y No 6 con los valores asociados de precipitación anual que son:

No5=1118.45 mm

No6=1214.69 mm

Para P (25) número de orden No 5.5:

$$(P25)No5.5 = \frac{Precipitación\ del\ orden\ No5 + Precipitación\ del\ orden\ No6}{2}$$

$$(P25)No5.5 = \frac{1118.45\ mm + 1214.69\ mm}{2}$$

$$(P25)No5.5 = 1166.57\ mm$$

Los resultados de la precipitación confiable percentil 25 (P25) se presentan en la tabla 9.

Según FAO (2013), el percentil veinticinco (P25), es adecuado en regiones donde hay alta variabilidad de la precipitación y, por tanto, no se recomienda usar la precipitación promedio (P50), sino más bien el (P25) cuyo valor de precipitación de excedencia es del 75% o mayor.

Esto quiere decir que la probabilidad de excedencia equivale a la probabilidad de excedencia de lluvia del 75%, sugiere que, de cada 10 años, aproximadamente 7 años recibirán la lluvia que se espera.

Tabla 9: Precipitación probabilidad 75% de excedencia de lluvia

Precipitación con 75% de excedencia de lluvia en mm												
Meses	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**
PP 75% (mm)	133.05	123.205	47.81	141.75	381.355	256.955	46.425	4.305	15.83	7.905	0.34	7.64

Fuente: elaboración propia

Con los datos de precipitación, utilizando el mes de mayo como primer mes del año hidrológico y una capacidad de campo de 23 mm, así como la evapotranspiración calculada con el método de Thornthwaite se obtuvieron los resultados del balance hídrico utilizando el software InnerSoft, como la reserva, variación de la reserva, evapotranspiración real, excedente o escorrentía y déficit hídrico, (ver anexo 18 y 19), a partir de estos datos calculamos escurrimiento, área cultivada y volumen de escorrentía por cada parcela (ver anexo 20).

Finalmente se obtuvieron resultados finales de variaciones de volumen del almacenamiento en el reservorio (ver anexo 21).

Se observó escorrentía en los meses de mayo, junio, agosto, septiembre y octubre, por tanto, son los meses en que los cultivos no requieren de riego y los reservorios suelen llenarse.

Según los resultados del balance la clasificación climática de Thornthwaite indica que es clima C2, subdivisión climática S2 que significa un largo verano con déficit de humedad.

4.3. Levantamiento topográfico

En este apartado se realizó el levantamiento topográfico en la Finca El Guanacaste (ver anexo 6); de las áreas fundamentales donde se ejecutará la obra siendo estas el área del reservorio y línea de conducción.

4.3.1. Reservorio

Primeramente, se obtuvieron datos de Qgis para la microcuenca que cuenta con un área de drenaje de 13914.8 m^2, una elevación máxima de 602 msnm y mínima de 554 msnm, en la cual se construirá el reservorio ubicado en la cota 554 msnm en las coordenadas UTM 16P X:587022.432, Y: 1439435.266 (ver figura 9).

Para el levantamiento se aplicó el método de la cuadricula para encontrar las elevaciones (ver anexo 7), donde se calculó un área 1296 m^2, con una longitud de la poligonal de 144 m, una elevación máxima de 570.1 msnm y elevación mínima de 566.804 msnm, asimismo se encontró un error de cierre de 0.05 m tomado en campo, posteriormente se hicieron los cálculos debidos para encontrar las curvas de nivel y elaboración del plano de su sección transversal (ver anexo 8).

El análisis se realizó con distancia entre curvas principales de 0.50 m y 0.10 m de las curvas secundarias.

4.3.2. Línea de Conducción

El levantamiento de los puntos de la línea de conducción se realizó mediante la herramienta GPSMAP modelo 64s en el cual se obtuvo en el punto de inicio (reservorio) cota de 558.771 msnm asimismo en el abrevadero se observó una cota de 551.86 msnm y en el hidrante para cultivo una cota de 553.54 msnm. El levantamiento total fue de 466.549ml (ver figura 27).

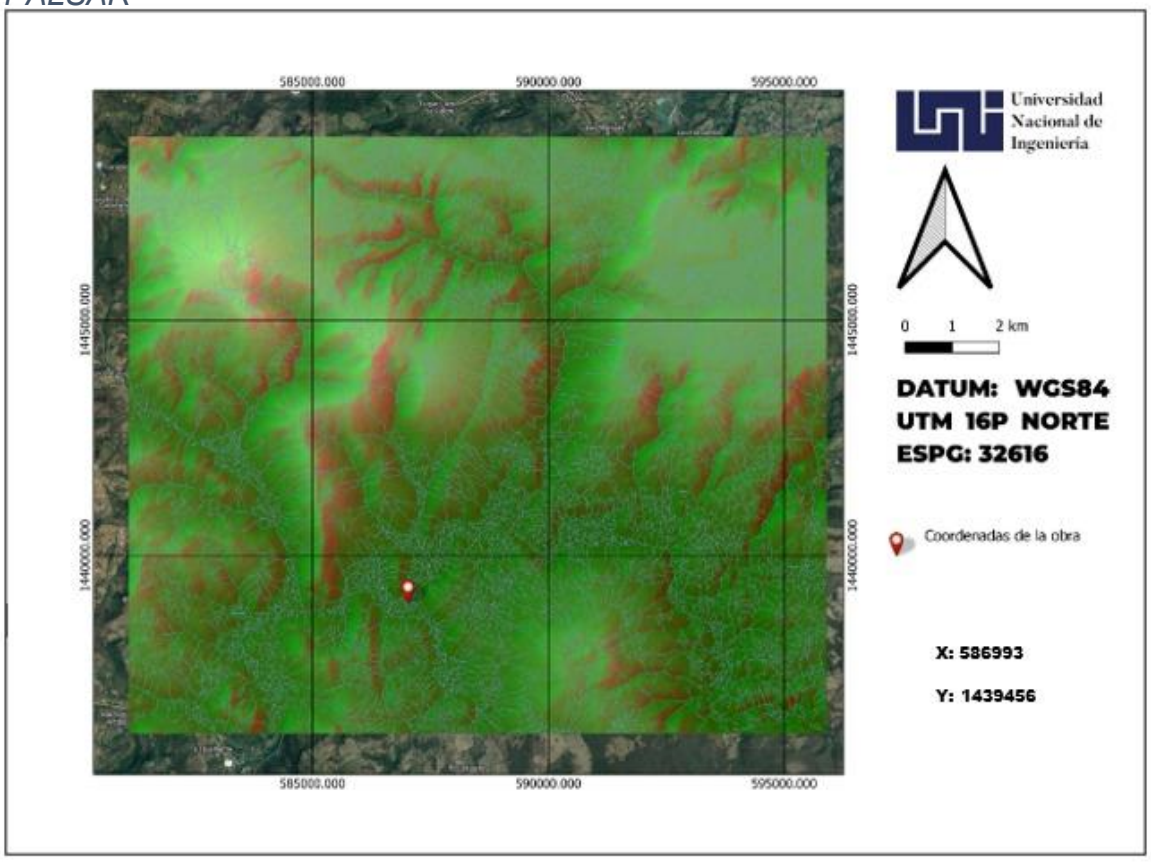
4.4. Estudio Hidrológico

4.4.1. Parámetros morfométricos de la microcuenca finca El Guanacaste.

- **Modelo de Elevación Digital (DEM)**

Para la delimitación de la cuenca en la finca El Guanacaste, se utilizó el Modelo de Elevación Digital (DEM) “Advanced Land Observing Satellite-1 ALOS PALSAR” como se muestra en la figura 5, con resolución espacial de 12.5 m X 12.5 m, ya que con este se realizó la delimitación de la cuenca y la determinación de las características morfológicas de esta.

Figura 4: Modelo de elevación digital “Advanced Land Observing Satellite-1 ALOS PALSAR”



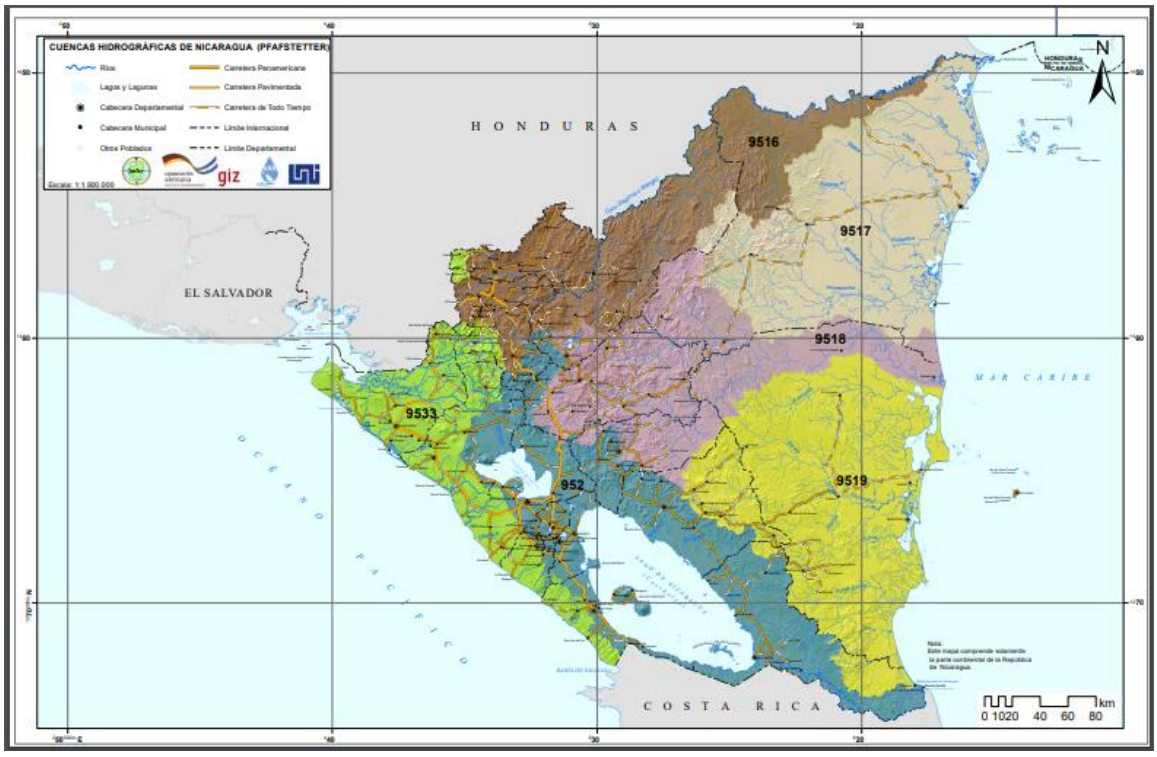
Fuente: Elaboración Propia

❖ **Cuencas altas de nicaragua**

La cuenca hidrográfica de El Río San Juan de Nicaragua en este Nivel 3 abarca una extensión en área de tierra firme de 19,533.46 km2. Esta cuenca hidrográfica comprende el área total de la cuenca 69 del mapa de cuencas (PHCA, 1972). Esta área se caracteriza por albergar dos lagos importantes de Nicaragua, el Lago Cocibolca con una extensión de 8,000 km2 y el lago Xolotlán de 1,025 km2.

Los ríos importantes en el nivel 4 son el río San Juan de Nicaragua con una longitud de 180 km y pasa por las hasta desembocar en el Mar Caribe y otro río importante es el río Viejo con 157 km de longitud que drena el agua de la unidad y desemboca en el Lago Xolotlán.

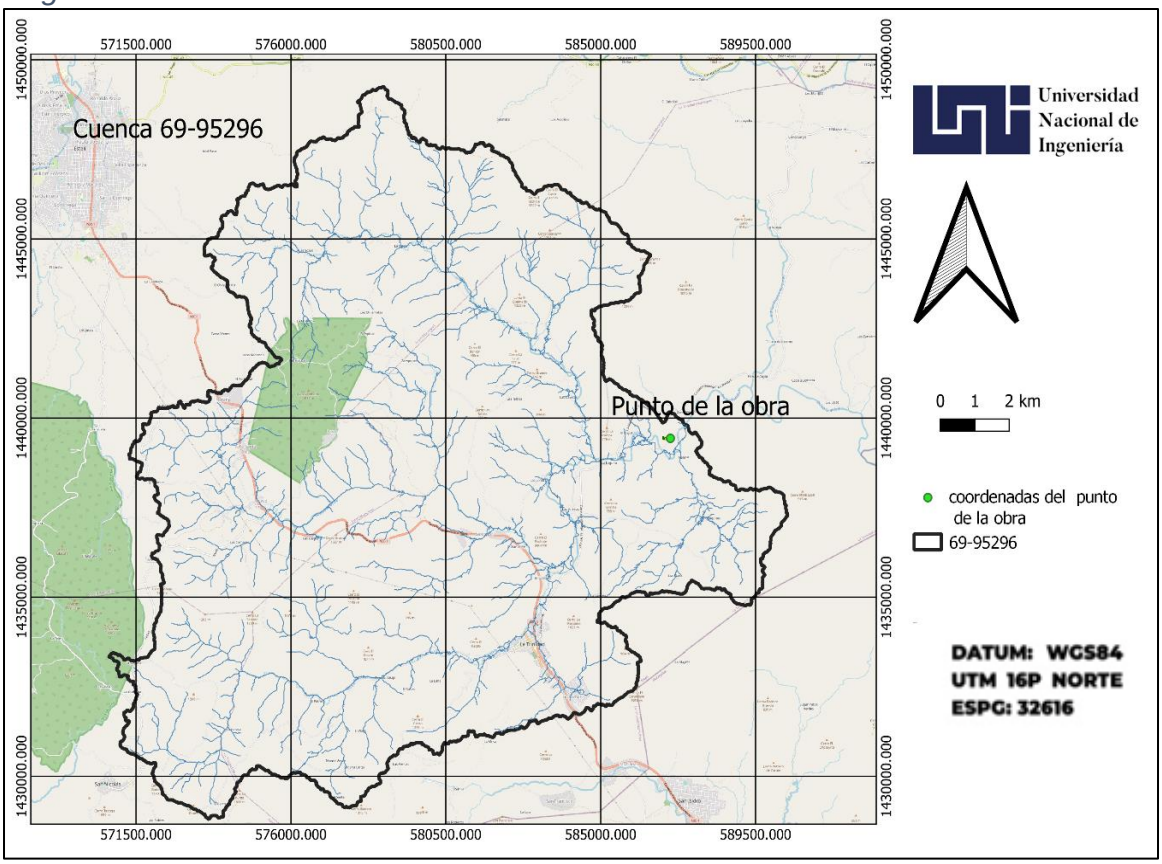
Figura 5: Cuencas hidrográficas de Nicaragua



Fuente: Elaboración Propia

Figura 6: Cuenca del Rio San Juan de Nicaragua

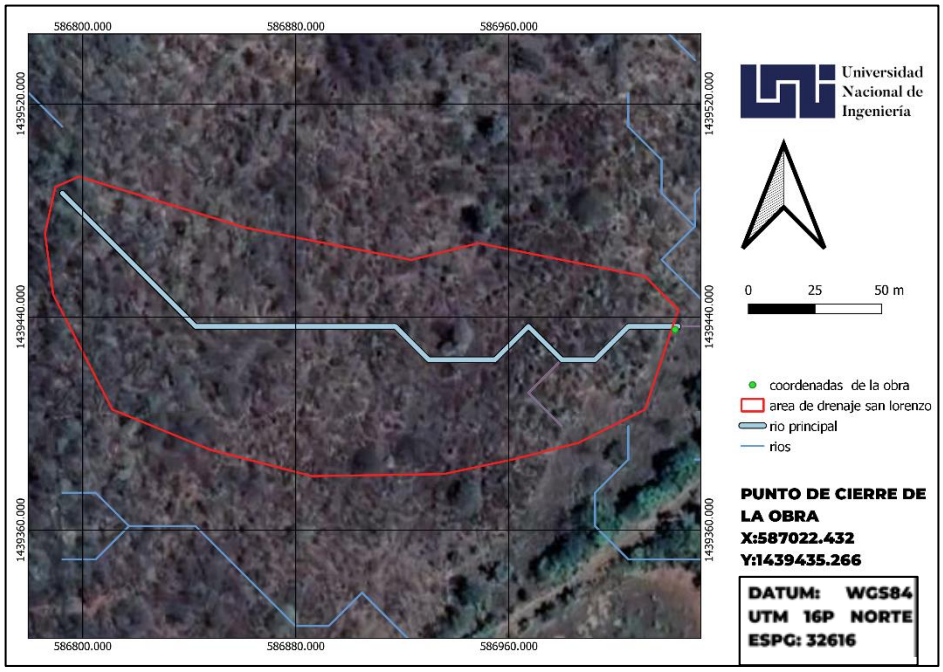
Figura 7: Cuenca La Trinidad



Fuente: Elaboración Propia

La delimitación de la micro cuenca se realizó mediante la aplicación del software QGIS como se observa en la figura 9.

Figura 8: Microcuenca Finca El Guanacaste

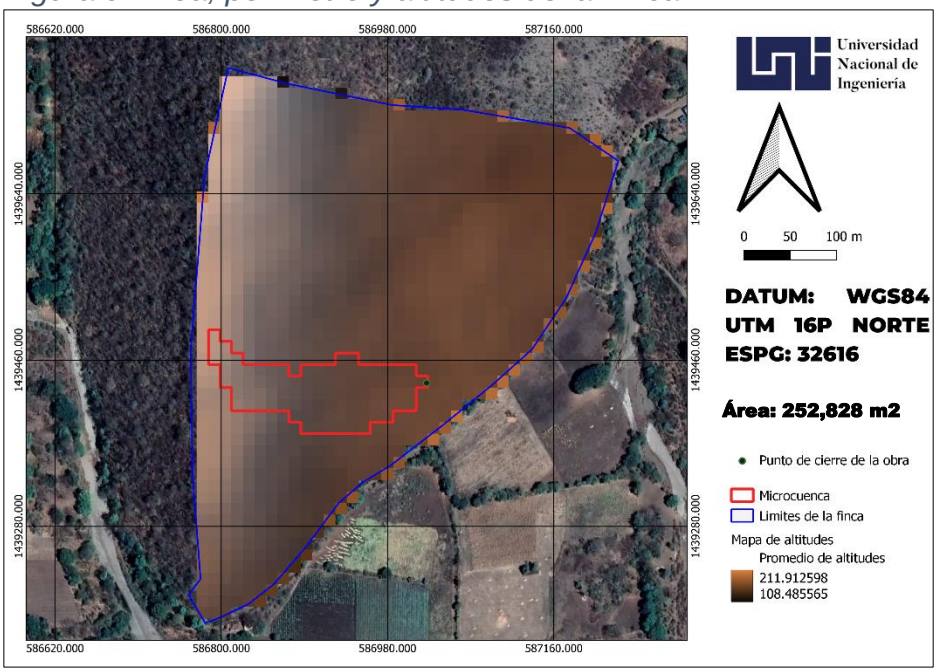


Fuente: Elaboración Propia

- **Área, altitudes y perímetro de la Finca y microcuenca**

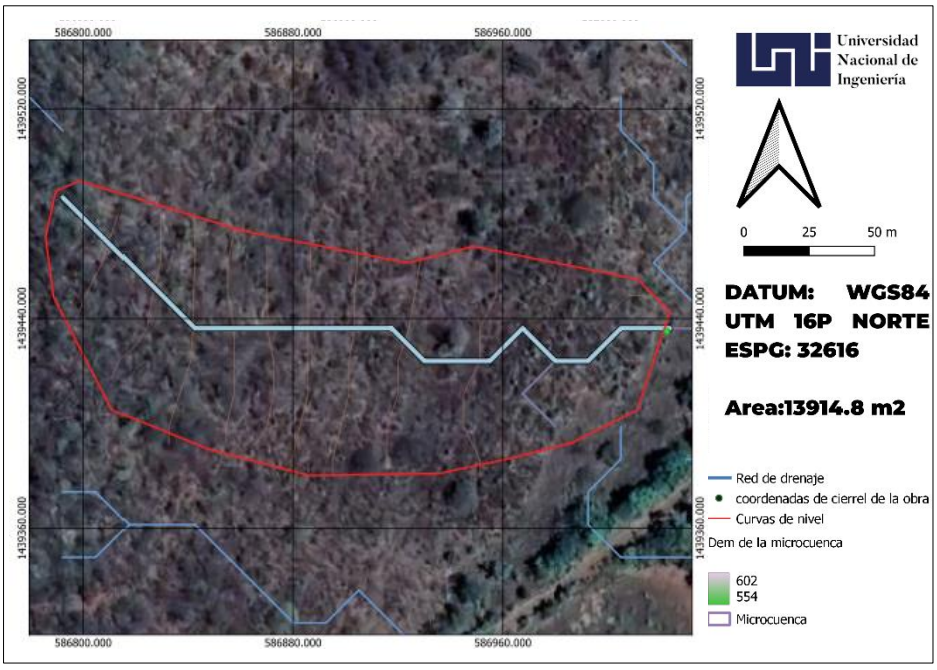
La finca posee un área de 252,828 m^2 equivalente a (25.71 hectáreas), en ella se idéntico una microcuenca que tiene un área de 13914.8 m^2 equivalente a 1.39 hectáreas (figuras 9, 10 y 11), con un perímetro de 750 m, estos datos se obtuvieron con el software QGIS, mediante el uso de la información DEM ALOS PALSAR.

Figura 9: Área, perímetro y altitudes de la Finca



Fuente: Elaboración Propia

Figura 10: Altitudes de la microcuenca Finca El Guanacaste

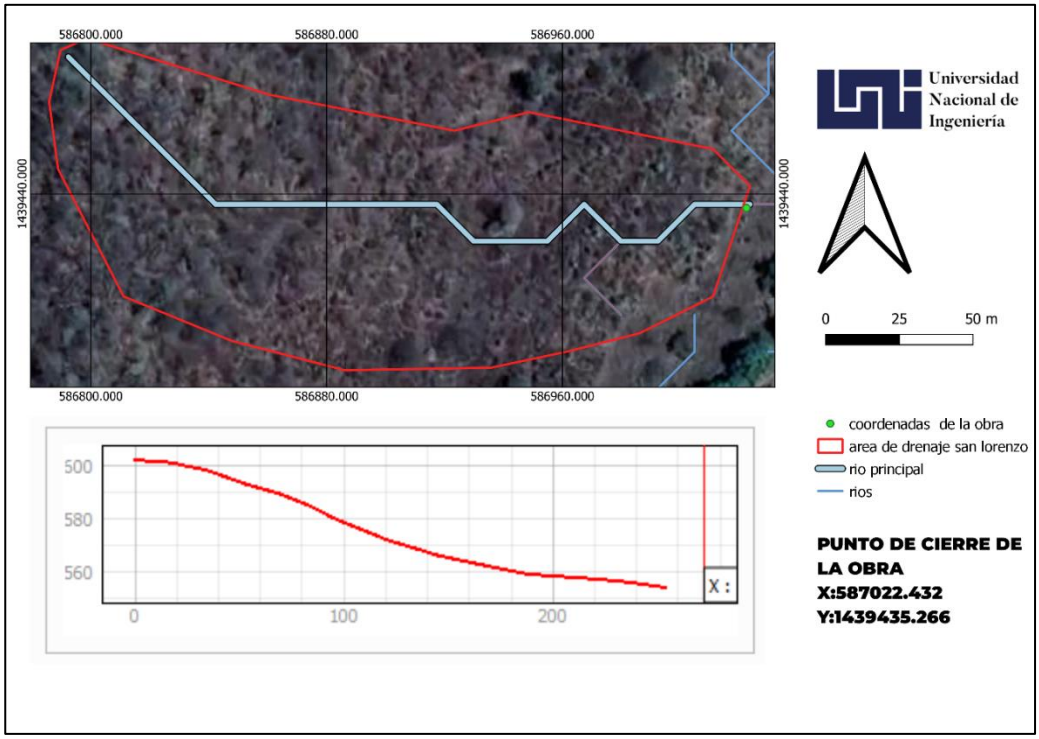


Fuente: Elaboración Propia

❖ Longitud de la corriente principal

La corriente principal de la microcuenca de la finca cuenta con una longitud total de 272.755 m con una pendiente de 17% como se muestra en la figura 12.

Figura 11: Longitud de la Corriente principal



Elaboración propia

❖ Desnivel

La diferencia de las cotas de terreno del sitio de análisis y de la parte más elevada de la microcuenca en la finca El Guanacaste fue de un desnivel de 48 m.

C= 602 m, C_2 = 554 m

$$H = C1 - C2$$

$$H = 602m - 554m$$

$$H = 48m$$

❖ Tiempo de concentración

El tiempo de concentración se calculó con la ecuación 3 de Kirpich utilizando una longitud del cauce principal de 272.755 m y un desnivel de 48 m obteniendo un resultado de 2.8 minutos por lo cual según recomendaciones de la guía hidráulica para el diseño de obras de drenaje en caminos rurales (MTI, 2019), se adoptó un tiempo de concentración mínimo de 5 minutos.

L = 272.755 m

H = 48 m

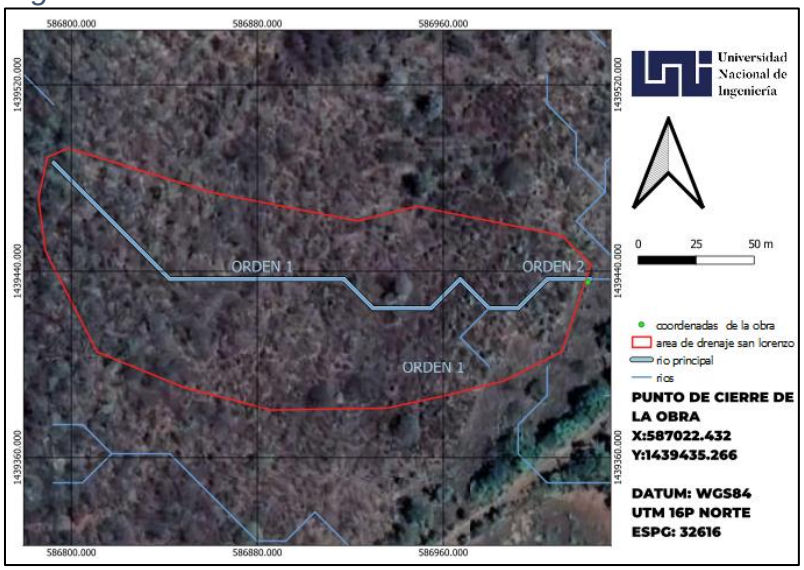
$$T_C = 0.0195\left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385} \quad (minutos)$$

$$T_C = 0.0195\left(\frac{272.755^3}{48}\right)^{0.385} \quad (minutos) = \mathbf{2.8 minutos}$$

❖ Numero de Corriente y clasificación

Como se muestra en la figura 13, la microcuenca cuenta con un numero de orden de corriente de mayor nivel según Horton, de orden 2 el cual significa que es un sistema poco ramificado.

Figura 12: Numero de orden



Fuente: Elaboración Propia

- **Densidad fluvial**

La densidad fluvial, calculada es de 0.023m/m^2, lo que representa una baja densidad de drenaje, debido a que la mayor parte del escurrimiento se da en la superficie de suelo el cual provoca erosión del mismo donde será conveniente mantener un área bien reforestada.

Ls = 319.552m → 0.319552 km

A = 1.39 × 10,000 = 13,900 m2

A = 13,900 m2

$$D = \frac{L_s}{A}$$

$$D = \frac{319.552}{13{,}900}$$

$$D = 0.023 \text{ m/m2}$$

- **Índice de Compacidad**

El índice de compacidad o índice de Gravelius, calculado de la microcuenca de la finca El Guanacaste es mayor a 1.75 (Geografia, 2018) lo que indica que la microcuenca tiene una forma irregular alargada la cual facilita el drenaje.

P = 0.750 km

A = 0.0139 km2

$$I_c = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$$I_c = 0.282 \frac{0.750}{\sqrt{0.0139}}$$

$$I_c = 1.79$$

A continuación, se presenta en la tabla 11 un resumen de los principales indicadores morfométricos de la microcuenca ubicada en la finca El Guanacaste en el municipio La Trinidad.

Tabla 10: Tabla de resumen

Identificador	Resultado
Perímetro (Km)	0.750
Longitud del cauce principal (m)	272.755
Longitud total de drenaje (m)	319.552
Área (m2)	13914.8
Índice de compacidad	1.79
Densidad de drenaje m/m2	0.023
Tiempo de concentración (min)	2.8
Desnivel (m)	48

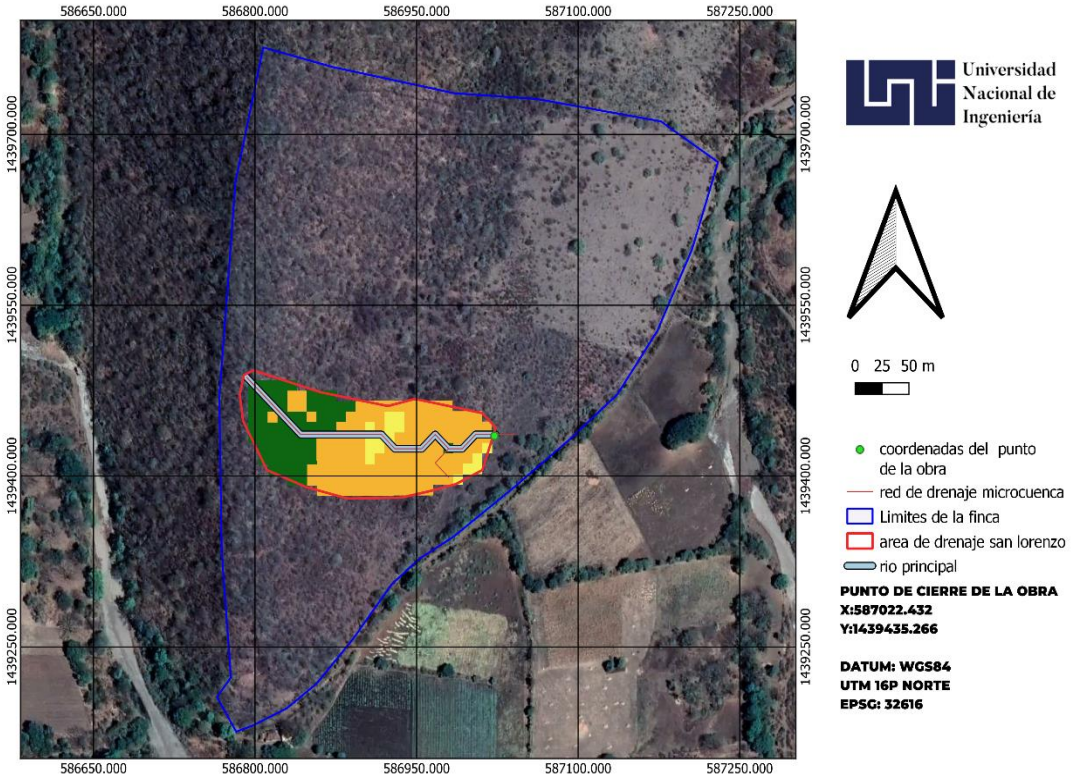
Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Parámetros hidrológicos

- **Caudal máximo**

Para calcular el caudal de la finca El Guanacaste se realizó un análisis detallado del uso de suelo de la unidad de producción familiar, los datos para el análisis se obtuvieron del ráster WorldCover de la European Space Agency (ESA) y mediante el procesamiento con el software QGIS como se muestra en la figura 14 de uso de suelos.

Figura 13: Uso de Suelo



Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 12, se presentan los porcentajes de áreas, los usos de suelos encontrados son de un 30% pasto, 30% bosque, 35% matorral y 5% cultivo, toda el área de estudio de la finca se encontró que tiene una pendiente mayor al 7%.

Tabla 11: Uso de suelo

Pendiente	Cubierta de arboles	Matorral	Pradera	Total
0-2%	0%	0%	0%	0
2-7%	0%	0%	0%	0
>7%	30%	60%	10%	100.00%
Área m2	4174.43	8348.87	1391%	13914.78
Total	0.3	0.6	0.1	1

Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso que se realizo fue asignar los coeficientes de escorrentía según la serie técnica cosecha de Agua Vol. 2 p.24 del (enseñanza, 2022) en el cual se presentan los valores utilizados para las distintas superficies de uso de suelos como se muestra en la tabla 13.

Tabla 12: Coeficiente de escorrentía utilizados

Cubierta de arboles	0.5
Matorral	0.5
Pradera	0.3

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido los valores de uso de suelo y coeficientes de escorrentía se procedió a calcular el coeficiente de escorrentía ponderado, obteniendo un valor de 0.48.

$$Cponderado = \frac{A1 \times C1}{A} + \frac{A2 \times C2}{A} + \frac{A3 \times C3}{A}$$

$$Cponderado = 0.3 \times 0.5 + 0.60 \times 0.5 + 0.1 \times 0.3$$

$$\boldsymbol{Cponderado = 0.48}$$

En el siguiente paso se calculó la máxima intensidad de lluvia con la fórmula de la guía hidráulica para el diseño de obras de drenaje en caminos rurales, con la estación meteorológica de san Isidro (MTI, 2019, pp. 45,157), ver tabla 14 y según (MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018, p.29) un periodo de retorno de 25 años, en el cual se obtuvo un valor de intensidad de 205 mm/h para 5 minutos (ver anexo 15).

Tabla 13: Estación meteorológica por un periodo de retorno de 25 años

Años	5	10	15	30	60	120	360
100.00	275.56	194.66	158.85	112.22	79.28	56.00	32.29
50.00	244.60	172.80	141.01	99.61	70.37	49.71	28.66
25.00	217.12	153.38	125.17	88.42	62.47	44.13	25.44
10.00	185.48	131.03	106.92	75.54	53.36	37.70	21.73
5.00	164.64	116.31	94.91	67.05	47.37	33.46	19.29
4.00	158.44	111.93	91.34	64.53	45.58	32.20	18.56
2.00	140.64	99.36	81.08	57.28	40.46	28.58	16.48

Fuente: Ineter

$$I = \frac{A}{(T + d)^b}$$

$$\boldsymbol{I = 217.12\ mm/h}$$

Seguidamente se procedió a calcular el caudal de la microcuenca, obteniendo un valor de 0.35 m^3/s.

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

$C = 0.48$

$I = 188.76\ mm/h$

$A = 1.4\ hectareas$

$k = 1/360$

$$Q = \frac{0.48 \times 217.12 \times 1.4}{360}$$

$$\boldsymbol{Q = 0.405\ m^3/s}$$

4.5. Estudio Geotécnico

4.5.1. Granulometría a través del tamizado, Clasificación de Suelos por el método SUCS

Se realizaron tres ensayos de granulometría (ver anexo 9), usando la norma (ASTM D6913, 2017),por cada estrato extraído de la calicata a una profundidad de 1.50 m, como se muestra en el anexo 10, cuyas coordenadas fueron 16P X: 587022.432, Y:1439435.266.

Aplicando la norma (ASTM D2487, 2017, p.3) de Clasificación SUCS, se obtuvo para los tres estratos de acuerdo a los resultados de las muestras una textura de suelo arcilloso, un tamaño máximo nominal de 3/8" clasificándose como suelo de grano fino inorgánico (CH), ya que más del 50% del material pasa por el tamiz N°200 siendo este arcilla grasa de alta plasticidad , debido a que el límite liquido es mayor al 50% y su índice de plasticidad se grafica sobre o por encima de la línea "A" con menos del 15% y 30 % que retiene el tamiz N°200, como se presenta en el Anexo 11.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica por cada estrato.

- Muestra C1-E1 a una profundidad de (0 m - 0.30m)

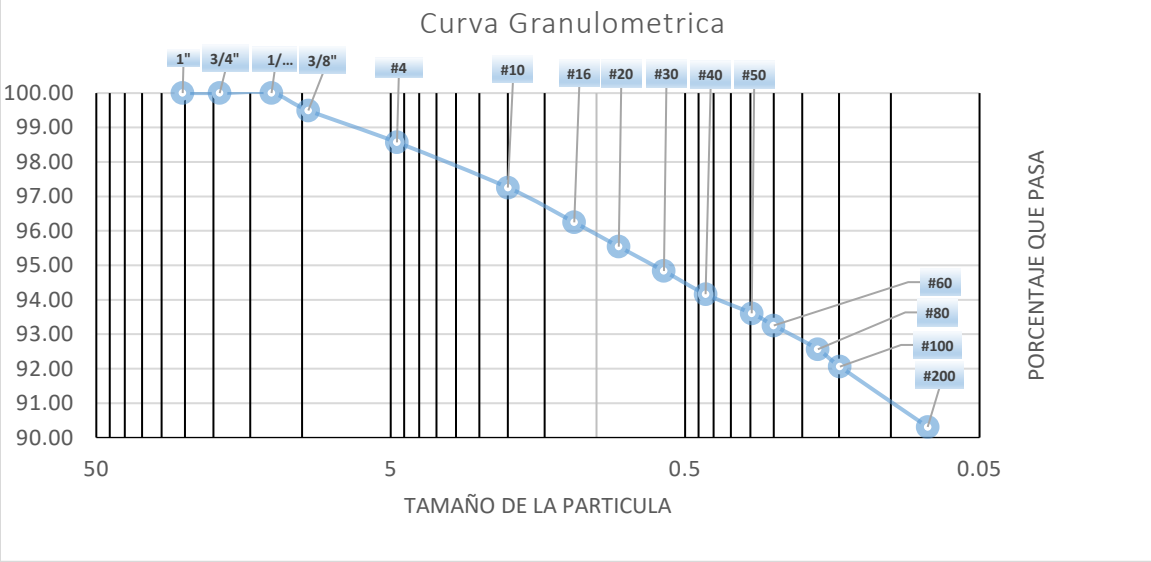
Para el estrato 1 se tomó una muestra representativa recolectada del sitio, el cual presento un 90.31% de material fino (limos y arcillas), 1.75% de arenas, 0.93% de gravas como se muestra en la tabla 15, se obtuvo un coeficiente de uniformidad de 6 y un coeficiente de curvatura de 1.5 (suelo bien graduado) y asimismo se muestra su curva granulométrica en la figura 15.

Tabla 14: Distribución de partículas C1-E1

Distribución de partículas		
Material	Cantidad retenida	Tamiz que retiene
Grava	0.93	% que pasa la 5" y retiene la #4
Grava gruesa	0.00	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	0.93	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
Arena	1.75	% que pasa la #4 y retiene la #200
Arena gruesa	1.01	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena media	0.67	%que pasa la #16y retiene la #40
Arena Fina	1.75	% que pasa la #40 y retiene la #200
Limo y Arcilla	90.31	% que pasa la #200
Coeficiente de Uniformidad		Coeficiente de Curvatura
6.00		1.50

Fuente: Elaboración propia

Figura 14: Curva Granulométrica C1-E1



- Muestra C1-E2 a una profundidad de (0.30m – 0.60m)

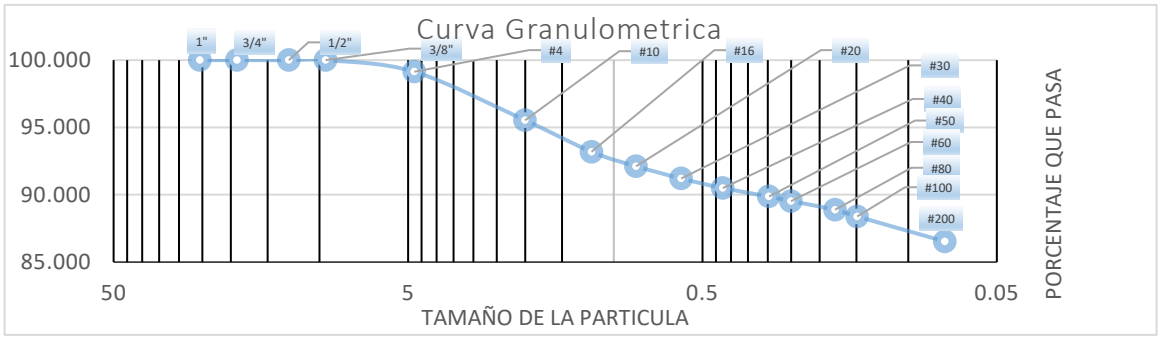
Para el estrato 2, presento un 86.53% de material fino (limos y arcillas), 1.86% de arenas, 0.86% de gravas como se muestra en la tabla 16, se obtuvo un coeficiente de Uniformidad de 0.48 (suelo de poca pendiente o pendiente uniforme) y un Coeficiente de Curvatura de 1.3 (suelo bien graduado) y asimismo se muestra su curva granulométrica en la figura 16.

Tabla 15: Distribución de partículas C1-E2

Distribución de partículas		
Material	Cantidad retenida	Tamiz que retiene
Grava	0.86	% que pasa la 5" y retiene la #4
Grava gruesa	0.00	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	0.86	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
Arena	1.86	% que pasa la #4 y retiene la #200
Arena gruesa	2.34	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena media	0.72	%que pasa la #16y retiene la #40
Arena Fina	1.86	% que pasa la #40 y retiene la #200
Limo y Arcilla	86.53	% que pasa la #200
Coeficiente de Uniformidad		Coeficiente de Curvatura
0.48		1.30

Fuente: Elaboración propia

Figura 15: Curva Granulométrica C1-E2



Fuente: Elaboración propia

- Muestra C1-E3 a una profundidad de (0.60m - 1.50m)

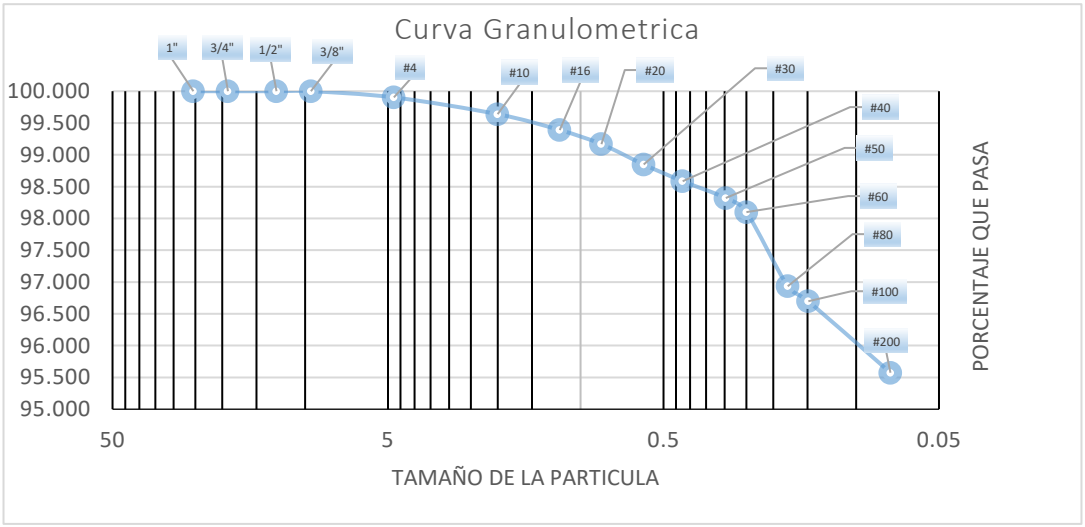
Para el estrato 3, presento un 95.57% de material fino (limos y arcillas), 1.12% de arenas, 0.10% de gravas como se muestra en la tabla 17, se obtuvo un coeficiente de Uniformidad de 6 y un Coeficiente de Curvatura de 1.5 (suelo bien graduado) y asimismo se muestra su curva granulométrica en la figura 17.

Tabla 16: Distribución de partículas C1-E3

Distribución de partículas		
Material	Cantidad retenida	Tamiz que retiene
Grava	0.10	% que pasa la 5" y retiene la #4
Grava gruesa	0.00	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	0.10	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
Arena	1.12	% que pasa la #4 y retiene la #200
Arena gruesa	0.25	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena media	0.26	%que pasa la #16y retiene la #40
Arena Fina	1.12	% que pasa la #40 y retiene la #200
Limo y Arcilla	95.57	% que pasa la #200
Coeficiente de Uniformidad		Coeficiente de Curvatura
6.00		1.50

Fuente: Elaboración propia

Figura 16: Curva Granulométrica C1-E3



Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Límites de Consistencia de Atterberg y su CBR

Para los Límites de Consistencia de Atterberg se aplicó la norma (ASTM D4318, 2017) ,encontrando su límite liquido con el método más recomendado, el método A-Multipunto (ver anexo 12) y su CBR se calculó aplicando un método indirecto del libro (Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004, p.116) a partir de los límites.

Se realizaron tres ensayos por los 3 estratos extraídos de la calicata de los cuales se obtuvieron limites líquidos arriba del 70% y los índices de plasticidad arriba del 40%, en consecuencia, se determinaron suelos de alta plasticidad lo cual indica que el material es maleable y puede conformarse fácilmente.

Asimismo, se calculó un CBR dentro del rango de 0% al 5%, lo que indica una clasificación según (Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004, p.113) de subrasante muy mala ya que por ser un suelo arcilloso tiene una permeabilidad relativamente baja, una alta plasticidad y una mala calidad de subrasante o mecanismo de soporte. Los suelos arcillosos tienen una resistencia a la compresión no confinada relativamente alta y valores de CBR y módulo de resistencia muy bajos.

No obstante, los suelos arcillosos como los descritos anteriormente son adecuados para el emplazamiento de obras de captación donde se busca un mínimo de infiltración.

Cálculo del CBR por cada estrato a partir de los limites líquidos y índices de plasticidad:

C1-E1 contiene un límite liquido del 80.32% y un índice de plasticidad de 48.83%.

$$C.B.R = \frac{4500}{(L.L)(I.P)}$$

$$C.B.R = \frac{4500}{(80.32)(48.83)} = 1.15\%$$

C1-E2 contiene un límite liquido del 77.31% y un índice de plasticidad de 44.49%.

$$C.B.R = \frac{4500}{(77.31)(44.49)} = 1.31\%$$

C1-E3 contiene un límite liquido del 81.39% y un índice de plasticidad de 48.2%.

$$C.B.R = \frac{4500}{(81.39)(48.2)} = 1.15\%$$

A continuación, se muestra de manera resumida los resultados de los límites de consistencia con su CBR como se muestra en la tabla 18.

Tabla 17: Resumen Limites de Consistencia y su CBR

Límites de Consistencia de Atterberg y Relación de Soporte (CBR)				
Muestra	Limite Liquido	Limite Plástico	Índice de plasticidad	CBR
C1-E1	80.32%	31.49%	48.83%	1.15%
C1-E2	77.31%	32.82%	44.49%	1.31%
C1-E3	81.39%	33.19%	48.20%	1.15%

Fuente: Elaboración propia

4.5.3. Ensayo Prueba Proctor Estándar

El ensayo prueba Proctor se le realizó al estrato 2 ya que la clasificación del suelo fue la misma y el segundo estrato fue el que más material contuvo, y cumplió con los criterios del método A de la norma (ASTM D698, 2012, págs. 1,6) donde para cada iteración se tomó una cantidad de 2.3 kg de material (ver anexo13).

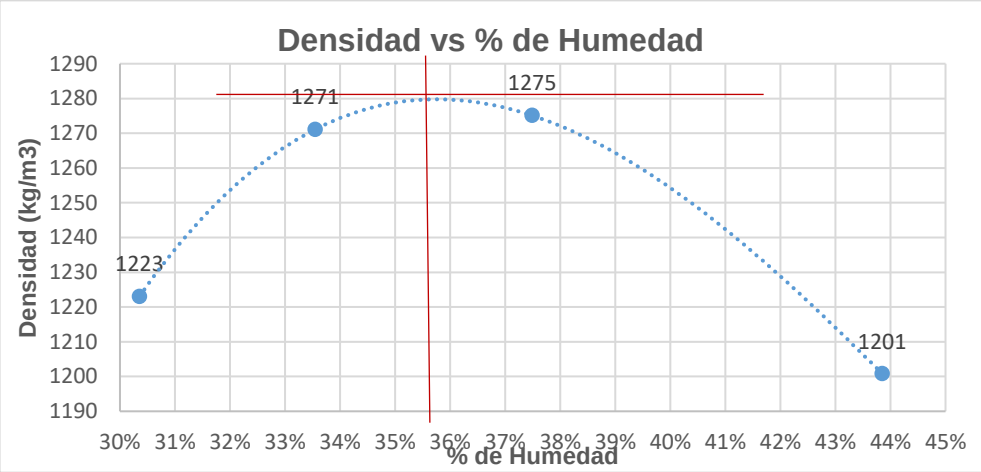
A continuación, se detalla sus densidades y su gráfica del material del sitio, al ser una granulometría fina, su densidad máxima seca es de 1280 kg/m^3, lo que indica una densidad baja ideal para la construcción del reservorio ya que incrementa la retención del agua con un porcentaje de humedad óptimo de 35.80% como se muestra en la tabla 19 y asimismo se muestra su comportamiento en la figura 18.

Tabla 18: Resultados Prueba Proctor Estándar

Densidades	Iteraciones (Submuestras)			
	1	2	3	4
Peso húmedo(g)	128.4	126.6	137.9	112.2
peso seco(g)	98.5	94.8	100.3	78
% humedad	30.4%	33.5%	37.5%	43.8%
Densidad húmeda (kg/m^3)	1594.34	1697.48	1753.14	1727.35
densidad seca (Kg/m^3)	1223	1271	1275	1201
Densidad máxima Seca (kg/m^3)	Porcentaje de humedad Optimo			
1280	35.80%			

Fuente: Elaboración propia

Figura 17: Ensayo Prueba Proctor Estándar



Fuente: Elaboración propia

4.5.4. Gravedad especifica

La gravedad especifica se obtuvo para cada estrato extraído de la calicata aplicando la norma (ASTM D854, 2014, p.1) (ver anexo 14), dado que son suelos inorgánicos, altamente plásticos y de grano fino (arcillosos), se determinó con el método A (Procedimiento para los especímenes húmedos), donde se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la tabla 20.

Tabla 19: Resultados de Gravedad Especifica

Cálculo de Porcentajes de Humedad			
Muestras	1	2	3
Peso Húmedo (g)	132.4	134	135.4
Peso Seco (g)	118.6	122.3	123.2
% de humedad	11.64%	9.57%	9.90%
Datos de Laboratorio			
Muestras	C1-E1	C1-E2	C1-E3
Peso del picnómetro(g)	149.3	149.3	149.3
Peso del picnómetro +agua(g)	646.7	646.7	646.7
Peso del picnómetro+ agua +suelo(g)	714.7	712.3	707.9
Temperatura del agua	27.4°C	27.4°C	27.4°C
Densidad del agua (g/cm^3)	0.9964	0.9964	0.9964
Densidad del agua a temperatura de ensayo (g/cm^3)	0.9982	0.9982	0.9982
Volumen de picnómetro (ml)	500	500	500
Masa del picnómetro	647.5	647.5	647.5
Gravedad especifica	2.3439	2.1570	1.9871

Fuente: Elaboración propia

4.5.5. Relaciones de Volúmenes y pesos

Las Relaciones de volúmenes y pesos se calcularon para el estrato 2, donde se aplicaron datos de laboratorio de la prueba Proctor estándar y gravedad específica para sustituir en las fórmulas de relaciones peso-volumen (Das B. , 2012, págs. 5-12).

Primeramente, se obtuvieron datos de laboratorio como se muestran en la tabla 21.

Tabla 20:Datos de laboratorio

Peso total del suelo W (g)=	2044.33
Peso solido del suelo húmedo Ws (g)=	1617.83
Peso solido del suelo Seco Ws (g)=	1191.33
Peso de agua Ww(g)=	426.50
Gravedad especifica Suelo (g/cm^3) =	2.16
Gravedad especifica Agua g/cm^3=	1.00
Volumen de agua Vw (cm^3) =	428.04
Volumen de vacíos Vv(cm^3) =	429.59
Volumen de Solidos Vs (cm^3) =	552.3193825
Volumen total del suelo V (g)=	981.90

Fuente: Elaboración propia

Una vez ya conocidos los datos antes mencionados se procedió a calcular las relaciones de volúmenes y pesos.

- **Relaciones de Volúmenes**

Relación de vacíos:

$$e = \frac{Vv}{Vs}$$

$$e = \frac{429.59}{552.32} = 0.78$$

Porosidad:

$$n = \frac{Vv}{V}$$

$$n = \frac{429.59}{981.90} = 43.75\%$$

Grado de saturación:

$$S = \frac{Vw}{Vv}$$

$$S = \frac{428.04}{429.59} = 99.64\%$$

- **Relaciones de peso**

Contenido de humedad:

$$W = \frac{Ww}{Ws}$$

$$W = \frac{426.50}{1617.83} = 26.36\%$$

Peso específico húmedo:

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

$$\gamma = \frac{2044.33}{981.90} = 2.08 g/cm3$$

Peso específico seco:

$$\gamma d = \frac{Ws}{V}$$

$$\gamma d = \frac{1617.83}{981.9} = 1.65 \frac{g}{cm3}$$

A continuación, se detallan los resultados en la tabla 22, donde se obtuvo un volumen de vacíos no ocupado por partículas sólidas de 0.78 conteniendo una porosidad del 43.75 % ideal para la retención del agua y aireación del suelo, siendo un suelo saturado dado que el 99.64% de vacíos están ocupados ya sea por agua o aire, presento un contenido de humedad del 26.36%, un peso específico seco de 2.08 g/cm^3 y un peso específico húmedo de 1.65 g/cm^3.

Tabla 21:Resumen de resultados Peso-Volumen

Relaciones de peso y Volumen C1-E2	
Volúmenes	
Relación de vacíos e=	0.78
Porosidad n (%) =	43.75
Grado de saturación S (%) =	99.64
Pesos	
Contenido de Humedad W (%) =	26.36
Peso específico húmedo (g/cm^3) =	2.08
Peso específico seco (g/cm^3) =	1.65

Fuente: Elaboración propia

4.5.6. Coeficiente de permeabilidad (K)

Se encontró un valor de Conductividad hidráulica (coeficiente de permeabilidad) para una clasificación de suelo arcilloso CH en un rango de 0.000036 mm/h a 0.36

mm/h equivalente a 10^{-10} cm/s a 10^{-6} cm/s como se muestra en la tabla 23 siendo un valor muy bajo.

Tabla 22:Valores Típicos de Conductividad hidráulica, K para suelos saturados

Descripción del suelo	Conductividad Hidráulica, K	
	(cm/s)	(ft/s)
Grava Cicana	1 a 100	$3x10^{-2}$ a 3
Arena	10^{-2} a 10	$3x10^{-1}$ a 0.3
Arena gruesa limpia	10^{-2} a 1	$3x10^{-4}$ a $3x10^{-2}$
Arena Fina	10^{-3} a 10^{-1}	$3x10^{-5}$ a $3x10^{-3}$
Arena sedimentosa	10^{-3} a 10^{-2}	$3x10^{-5}$ a $3x10^{-4}$
Arena arcillosa	10^{-4} a 10^{-2}	$3x10^{-6}$ a $3x10^{-4}$
Limo	10^{-8} a 10^{-3}	$3x10^{-10}$ a $3x10^{5}$
Arcilla	10^{-10} a 10^{-6}	$3x10^{-12}$ a $3x10^{-8}$

Fuente: (P.Coduto, 1999)

4.6. Diseño de la obra de captación

4.6.1. Dimensiones de la Obra

En este acápite se hizo un análisis para el diseño de la obra de captación basado en recomendaciones y las Guías Técnicas de Cosecha de Agua CATIE.

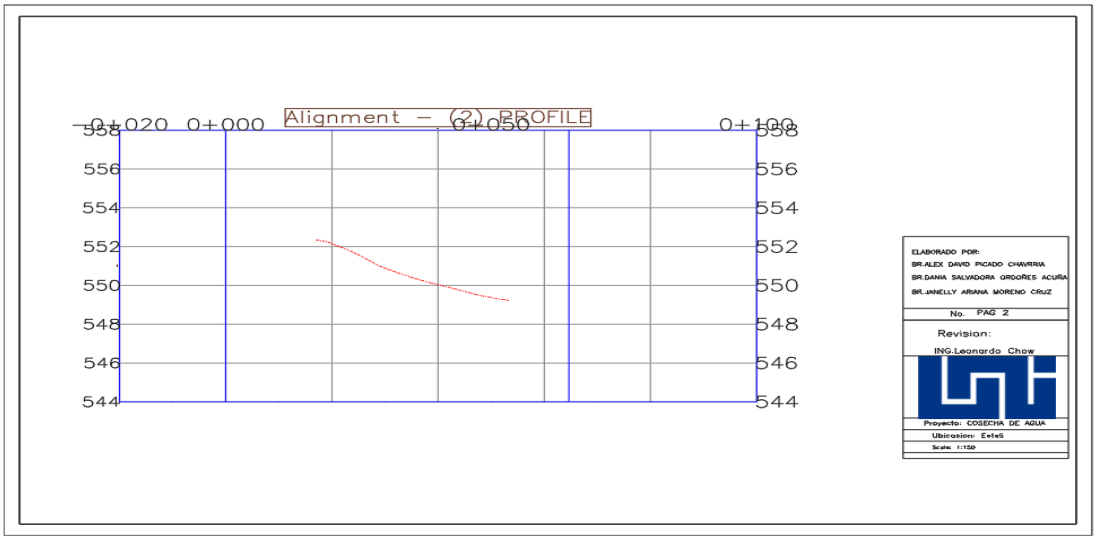
- **Georreferenciación de la zona de estudio e importación de puntos y perfil longitudinal**

Se hizo el recorrido en la Finca El Guanacaste el 10 de abril del 2023 donde se seleccionó el área de estudio y se obtuvieron los puntos del levantamiento topográfico para georreferenciar los puntos de interés y procesarlos con el software Civil3D, donde se importaron los puntos y se procedió a realizar la superficie de terreno natural para ver el perfil del terreno y sus cotas como se muestran en las figuras 19 y 20.

Figura 18: Superficie de terreno natural

Fuente: Elaboración propia

Figura 19: Perfil Longitudinal



Fuente: Elaboración propia

Basado en el manual del CATIE (MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018, p.49) se adoptó un coeficiente de escorrentía de 0.50 que corresponde a vegetación media de terrenos granulares y arcillosos en el cual se obtuvo un área de captación de 1625.741m2.

$$CAPT = \frac{Ac \times (NAP - LLd)}{Lld \times CE \times Fe}$$

$$CAPT = \frac{10847.76 \times (1.2934 - 1.24669)}{1.24669 \times 0.50 \times 0.5} = 1625.741\ m2$$

- **Dimensiones de la Obra**

Basado en el volumen de la demanda previamente calculada (ver tabla 8) que corresponde a 1592.11 m^3 la cual incluye la evaporación que ocurre en el sistema de almacenamiento, con el mencionado volumen se procedió al dimensionamiento del reservorio por escorrentía lo cual se hizo con datos del levantamiento topográfico, con el software de Civil 3D y para el cálculo del volumen de almacenamiento se utilizó el método del cono truncado; ver figuras 21,22,23 y 24 donde se observa las dimensiones del reservorio.

Datos:

$h = 3\ m$

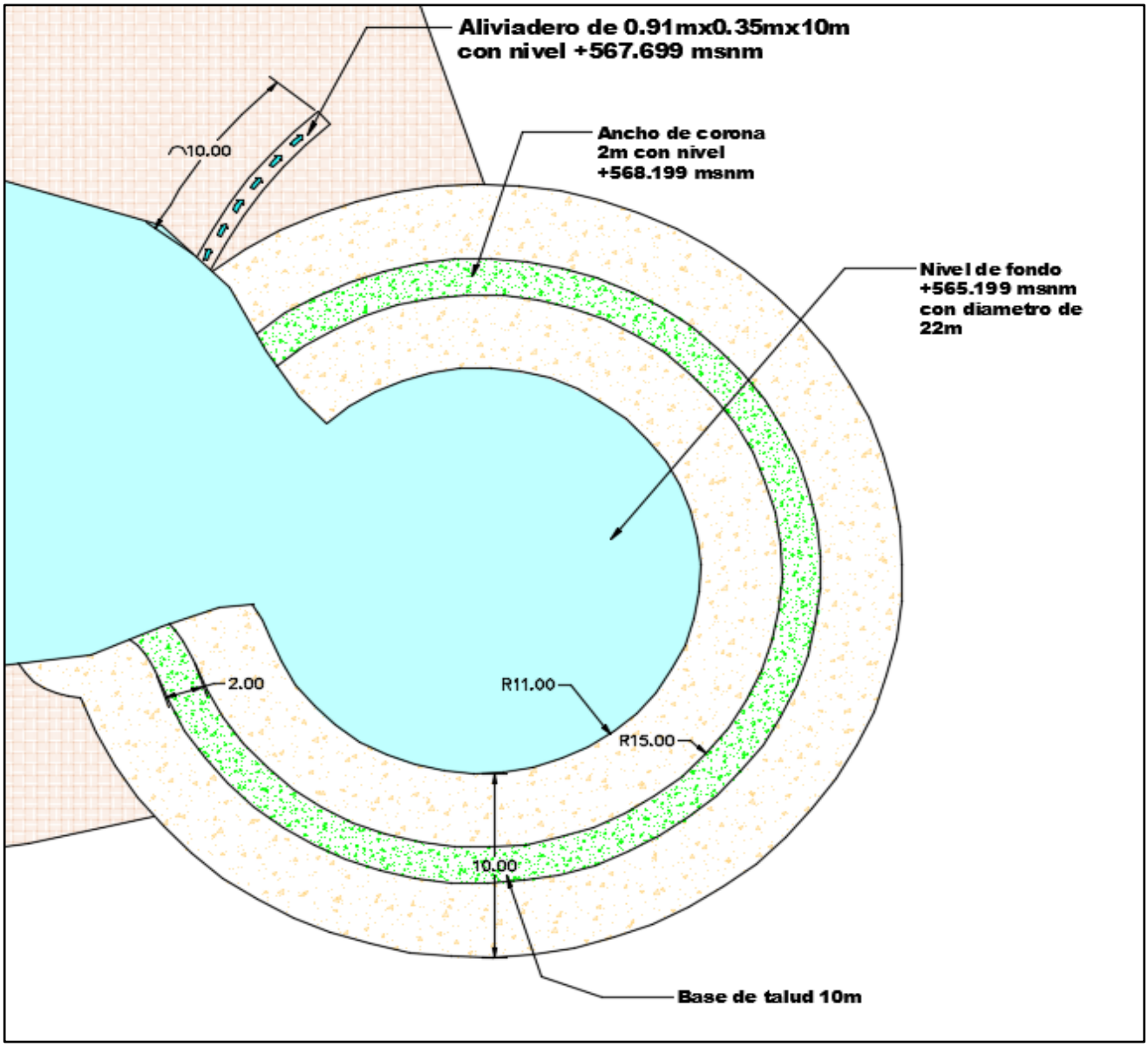
$R1 = 11\ m$

$R1 = 15\ m$

$$V = \frac{h\pi}{3}(R_1^2 + R_2^2 + R_1 R_2)$$

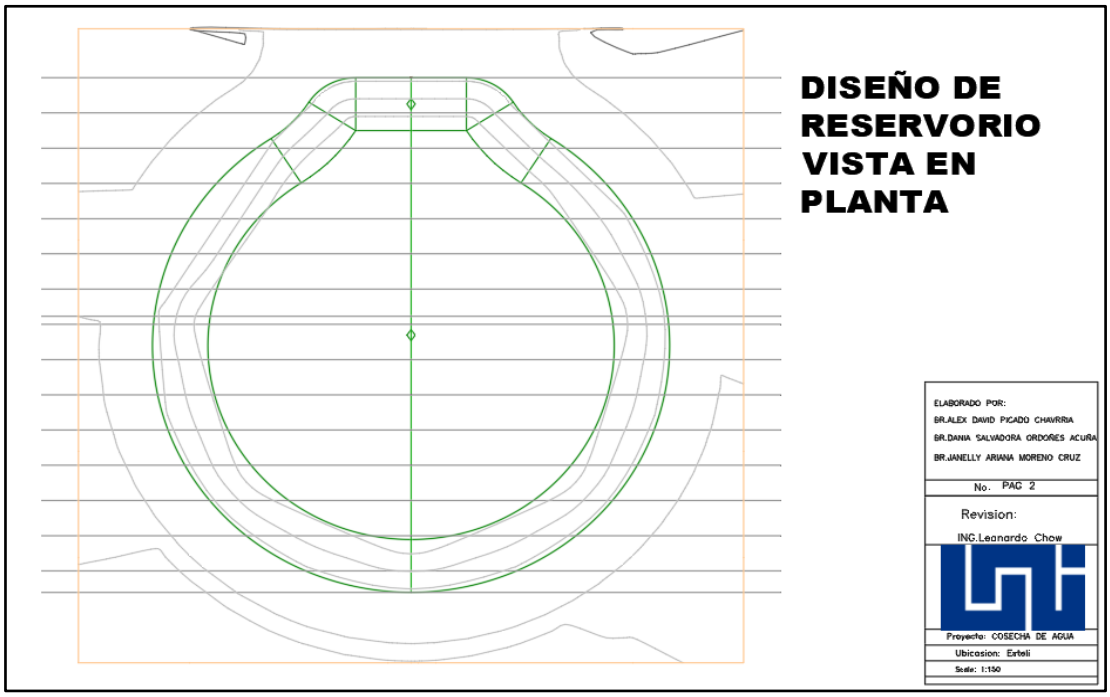
$$V = \frac{3\pi}{3}(11^2 + 15^2 + 11 * 15) = \mathbf{1605.35\ m3}$$

Figura 20: Detalle de reservorio



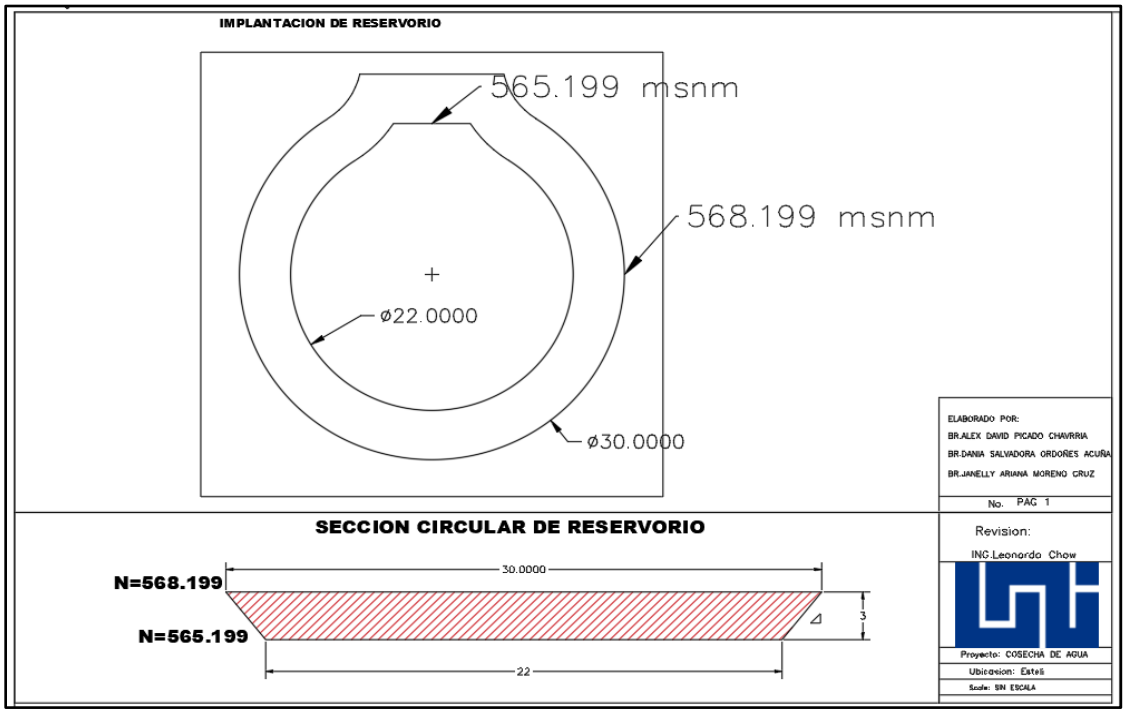
Fuente: Elaboración propia

Figura 21: Curvas de nivel del reservorio



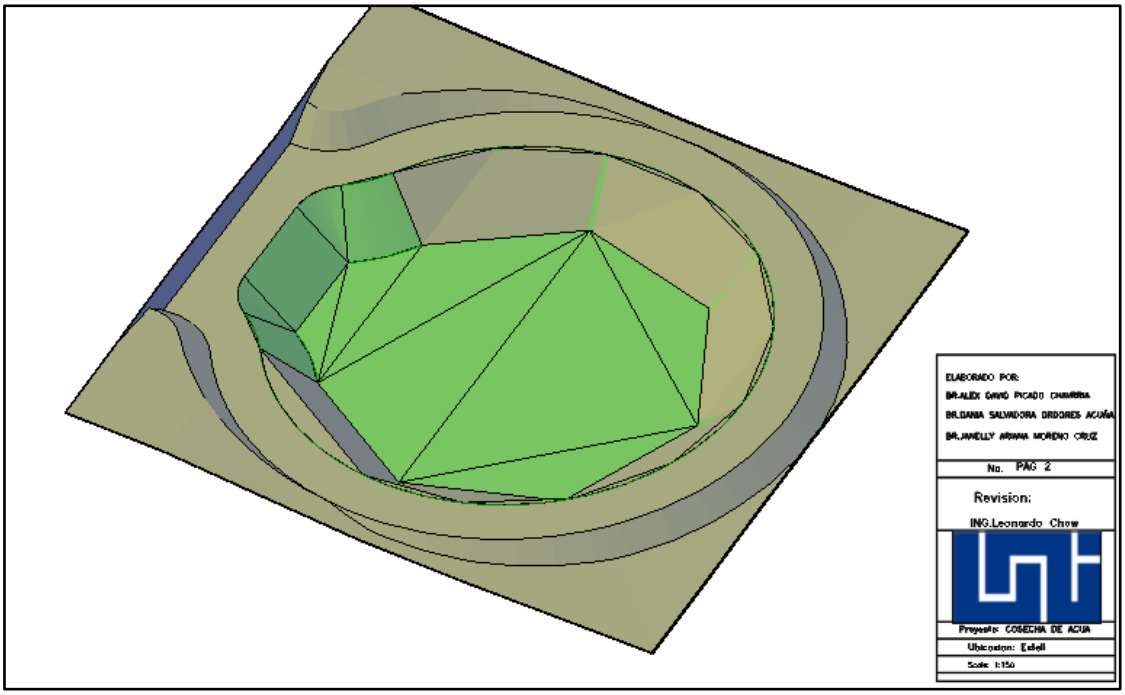
Fuente: Elaboración propia

Figura 22: Dimensiones de la obra



Fuente: Elaboración propia

Figura 23: Reservorio Semi Excavado



Fuente: Elaboración propia

- **Características de la obra**

Ya que se conoce la demanda de agua para cubrir el consumo de cultivos y de ganado se procedió a diseñar el reservorio en base a las características de relieve y se observó que este tendrá que ser un reservorio semi excavado según especialista del CATIE, las dimensiones para cubrir este déficit son: altura del reservorio 3m, radio menor 11m, radio mayor 15 m; con las dimensiones antes mencionadas se obtuvo un volumen neto de 1605.35 m^3 por lo cual con este volumen calculado se puede decir que el reservorio tendrá la capacidad requerida.

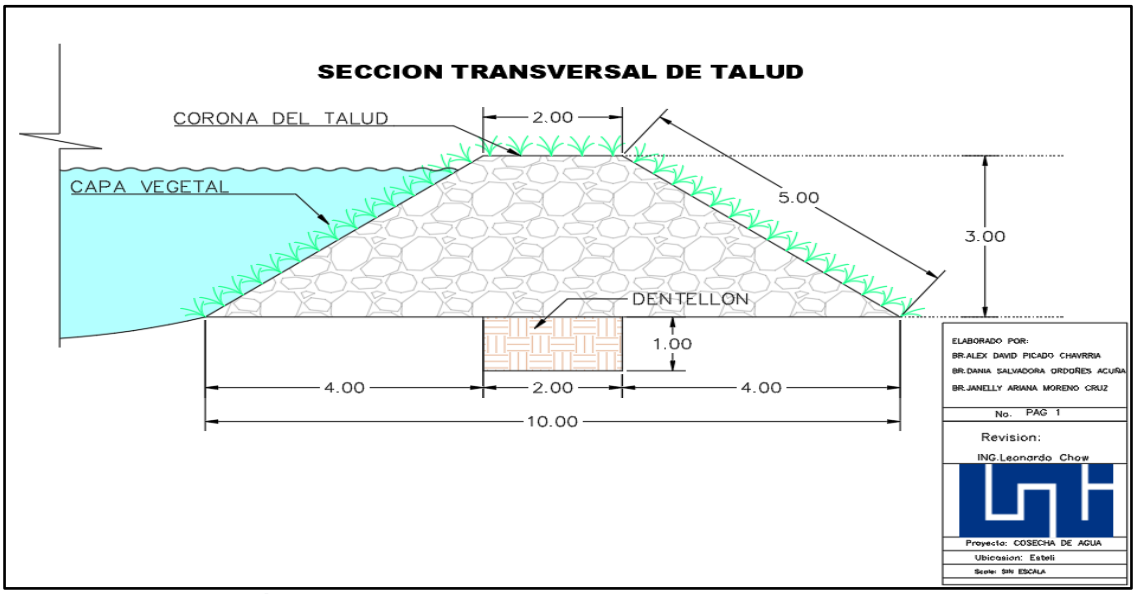
- **Caudal para el dimensionamiento del aliviadero**

De acuerdo a los parámetros hidrológicos se obtuvo con el método racional un caudal de 0.35 m^3/s, con un periodo de retorno de 25 años (ver capítulo 4.4.2), por tanto, el caudal antes mencionado servirá para el dimensionamiento del aliviadero de la obra de captación.

❖ **Dimensiones de talud**

Una vez que se ha evaluado el material del suelo, se procedió con los cálculos y las dimensiones de talud de 1.3:1, como se muestra en la figura 25.

Figura 24: Detalle de Talud



Fuente: Elaboración propia

❖ **Vertedero**

Las dimensiones apropiadas del vertedero se calcularon en relación al caudal para el dimensionamiento del aliviadero (0.35m^3/s), aplicando la ecuación 18 (MEFCCA,COSUDE,CATIE, 2018, p.44), según la guía 2, diseño de captación por escorrentía, donde se obtuvo un ancho (b) de 0.91m, altura (h) de 0.35m y una longitud según condiciones de terreno de 10 m como se observa en la figura 26.

$$Q = mb\sqrt{2g}\,h^{3/2}$$

Q = 0.405 m^3/s

m = 0.42

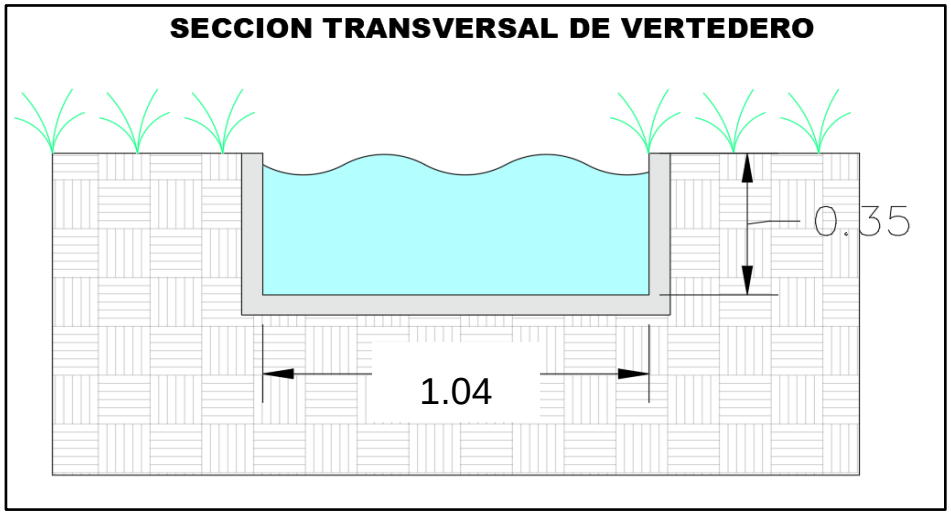
g = 9.81m/s^2

h = 0.35m

$$b = \frac{Q}{m\sqrt{2g} \times h^{3/2}}$$

$$b = \frac{0.405}{0.42\sqrt{2 \times 9.81} \times 0.35^{3/2}} = 1.04m$$

Figura 25: Vertedero



Fuente: Elaboración propia

Con estas dimensiones calculadas no sobrepasa el talud de aguas arribas, por lo cual no sufrirá ninguna afectación de desborde.

4.6.2. Balance del reservorio

A partir de los resultados del balance hídrico se hizo el cálculo del balance del reservorio tomando en cuenta los meses de consumo de noviembre a mayo partiendo de un reservorio completamente lleno por las escorrentías de los meses de mayo, junio agosto, septiembre y octubre, se encontraron los resultados siguientes (ver tabla 24).

Según los resultados del balance del reservorio este abastecerá la demanda de 600 m2 de cultivo de referencia (pasto) en el periodo seco, observándose que el balance suele ser positivo hasta el mes de mayo como se observa en la tabla 24.

Tabla 23: Balance del reservorio

Área del Reservorio			**543,496**	**m2**			
Área de cultivo			**600**	**m2**			
	Nov	**Dic**	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**
Días	**30**	**31**	**31**	**28**	**31**	**30**	**31**
ET	**92.7**	**99.0**	**115.4**	**135.2**	**198.7**	**247.2**	**210.5**
ETP	**69.5**	**74.3**	**86.6**	**101.4**	**149.1**	**185.4**	**157.9**
I	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**
VR	***1406.4***	***1272.4***	***1133.5***	***977.0***	***802.2***	***562.9***	***275.5***
VI	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DCUL	41.7	44.6	51.9	60.8	89.4	111.2	94.7
VET	50.4	53.8	62.7	73.5	108.0	134.3	114.4
C g	41.9	40.5	41.9	40.5	41.9	41.9	40.5
BAL	1272.4	1133.5	977.0	802.2	562.9	275.5	25.9

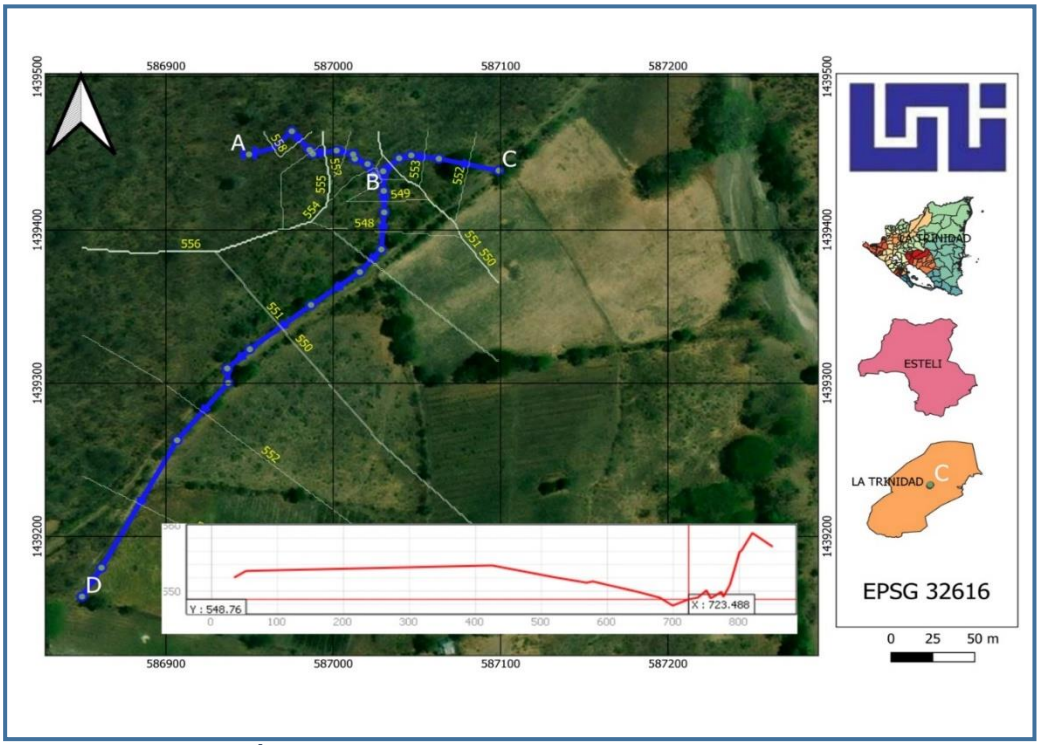
ET: Evaporación (mm/mes), ETP: Evapotranspiración (mm/mes), I: Tasa de infiltración (mm/mes), VR: Volumen neto de laguna (m3), VI: Volumen de infiltración (m3), DCUL: Demanda del cultivo (m3), VET: Volumen evapotranspiración de embalse (m3), Cg: Consumo del ganado (m3), BAL: Balance (m3)

Fuente: elaboración propia

4.6.3. Diseño hidráulico de la línea de conducción y red de distribución.

El siguiente paso que se realizó fue el levantamiento para el diseño de la línea de conducción y la red de distribución la cual deberá satisfacer la demanda para el cultivo y ganado, por lo que será una red abierta con dos hidrantes como se muestra en la figura 27.

Figura 26: Línea de Conducción

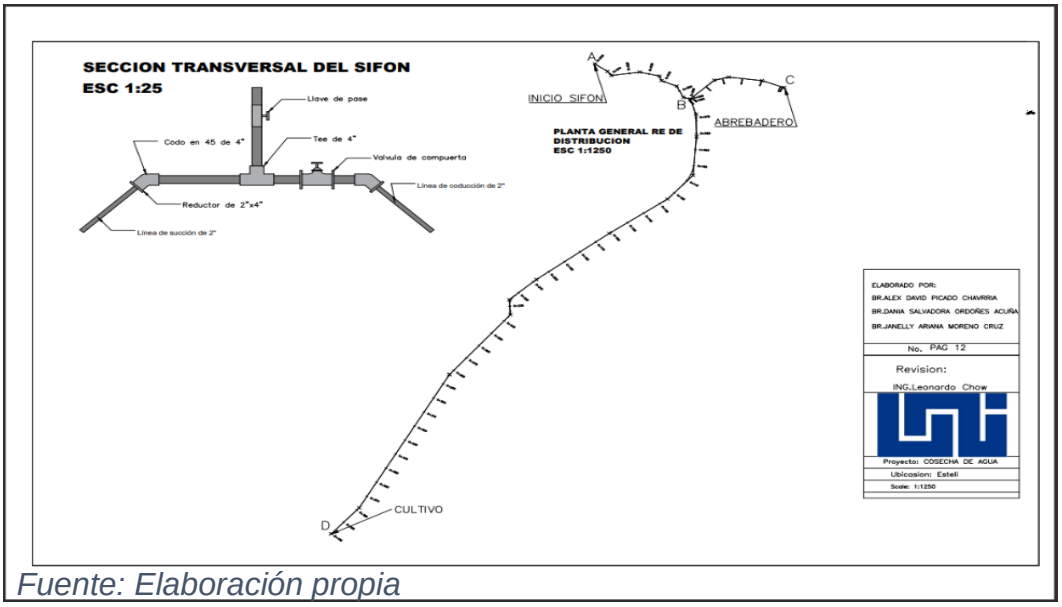


Fuente: Elaboración propia

- **Topología de la red**

Es una red abierta como se muestra en la figura 28 con una línea de conducción entre el Tramo A-B, y dos tramos de red siendo estos el tramo B-C al abrevadero y el tramo B-D al cultivo.

Figura 27: Topología de la red



Fuente: Elaboración propia

- **Caudales de diseño**

El caudal de cada tramo se asignó tomando en cuenta la demanda de ganado y de cultivo como se presenta en la tabla 25, asignándose al hidrante para el ganado (nodo 24) un caudal de 0.11 l/s con lo cual se espera llenar el abrevadero con 3.41 horas, así mismo al área de cultivo tomando la demanda del maíz como referencia se calculó un caudal de 0.61 l/s con lo cual se espera realizar un riego diario con un tiempo de 1.85 horas.

Tabla 24:Demanda del ganado y cultivo

Demanda del cultivo y abrevadero				
Total, de ganado	Dotación L/día	Total L	Tiempo h	Caudal l/s
30	45	1350	3.41	0.11
Cultivo a regar m2	ETc máximo mm/día	Volumen L	Tiempo h	Caudal l/s
800	5	4000	1.85	0.61

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describen las características hidráulicas de cada uno de los tramos.

- **Línea de Conducción**

La línea de conducción que inicia en el punto A y concluye en el punto B, se compone de un sifón hidráulico que sirve para extraer el agua del reservorio el cual se conecta con una línea de aducción la cual permite distribuir el caudal a los tramos B-D y B-C para satisfacer la demanda del ganado en los abrevaderos y los cultivos con riego.

- **El sifón**

El diámetro del sifón se determinó utilizando los criterios de Gurovich (1985), que se presenta en la tabla 26. La mencionada tabla relaciona diámetros con alturas piezométricas y caudales.

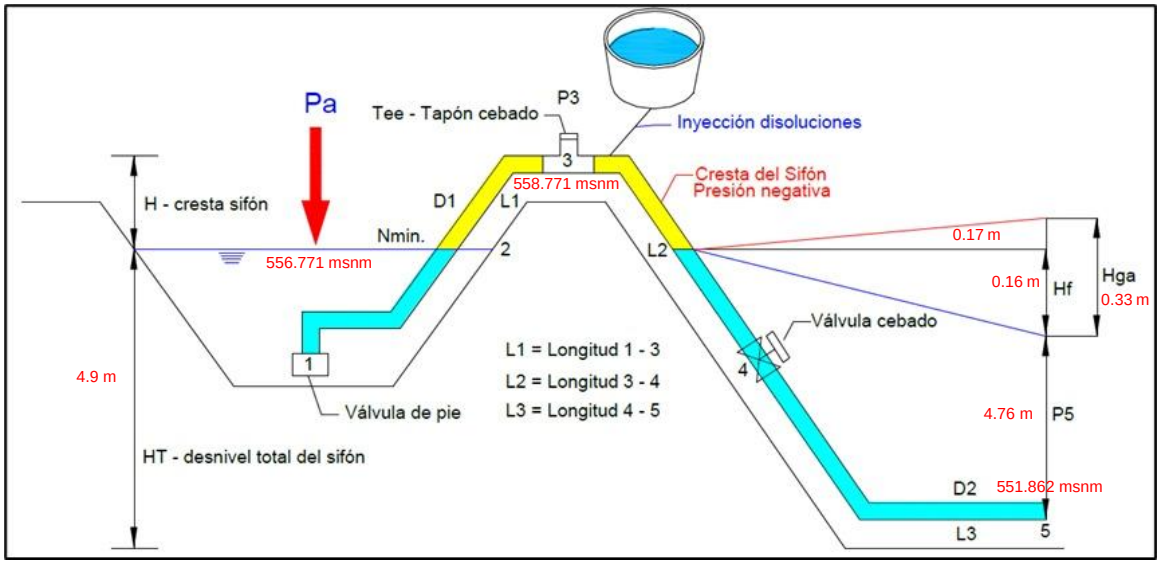
Tabla 25: Caudal para diferentes sifones y condiciones de operación

Diámetro del sifón (cm)	Altura piezométrica (m)						
	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20
4	0.75	0.91l/s	1.06l/s	1.18l/s	1.29l/s	1.40l/s	1.49l/s

Fuente: Gurovich, 1985

Dado que la cota del espejo de agua es de 556.771 msnm y la cota en el abrevadero es de 551.862 msnm, se tiene una carga estática (H) de 4.9 m y una altura piezométrica (Hpz) de 4.77 m, por esta razón, utilizando los criterios de Gurovish se adoptó un diámetro de sifón de 2", con el fin de reducir las pérdidas de carga, el esquema del sifón con líneas de energía, alturas piezométricas y pérdidas de carga se presenta en la figura 29.

Figura 28: Esquema del sifón

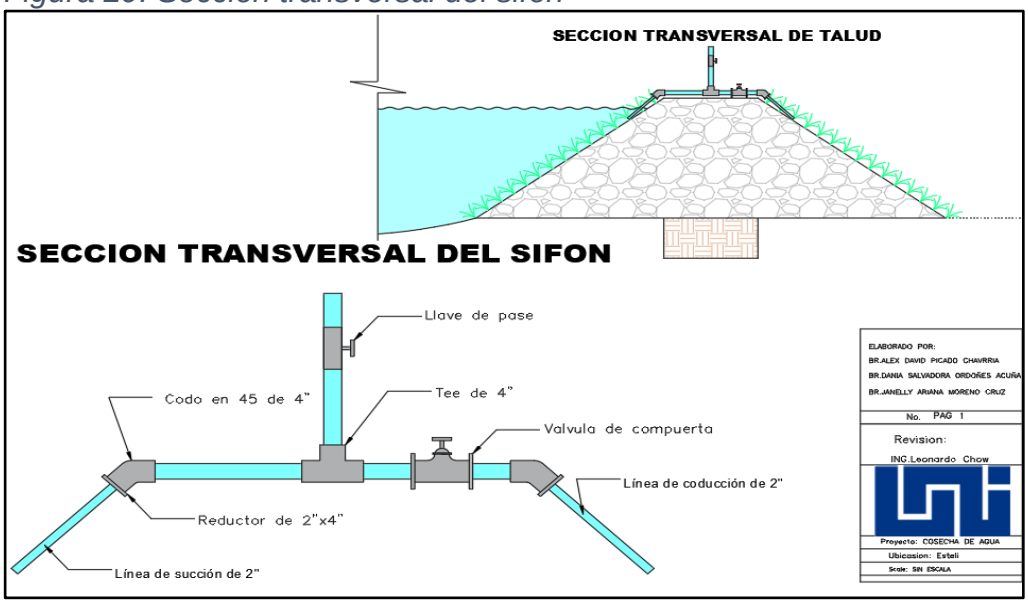


Fuente: Elaboración propia

- **Cálculo de pérdidas locales en el sifón**

Para el análisis de las perdidas locales se verificaron todos los componentes que se utilizan en la red como se muestra en la figura 30, seguidamente se calcularon estas pérdidas dando un total de 0.20m.

Figura 29: Sección transversal del sifón



Fuente: Elaboración propia

- **Pérdidas locales en la línea de succión sifón:**

Se obtuvo una perdida en la línea de succión de 0.0143 m, utilizando datos de la tabla 27 y velocidad del flujo de 0.28 m/s con la ecuación 20.

Datos:

Q = 0.00072 m^3/s

Diámetro = 0.0025877

$$v_{A-B} = \frac{Q}{\pi \times \frac{D^2}{4}}$$

$$v_{A-B} = \frac{0.00072\ m^3/s}{\pi \times \frac{0.0574^2}{4}}$$

$$v_{A-B} = \mathbf{0.28\ m/s}$$

Tabla 26:Datos de línea de succión

Línea de Succión				
Descripción	cantidad	K	KT	Perdida local(hl)
Válvula de pie de bronce de 2"	1	1.75	1.75	0.0069 m
Codo PVC en 45 de 2"	2	0.4	0.8	0.0032 m
Tee en sentido recto de 4"	1	0.3	0.3	0.0012 m
Reductor de 2x4	2	0.37	0.74	0.0029 m
Total			3.59	0.0142 m
hl_{sif}	**0.0143 m**			

Fuente: Elaboración propia

$$h_l = \frac{\sum k \times v^2}{2g}$$

$$h_l = 3.59 \times \frac{0.28^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_{lsif} = 0.0143\, m$$

- **Pérdidas locales en la línea de aducción A-B**

Se obtuvo una pérdida local en la línea de aducción A-B de 0.0028 m, utilizando la tabla 28.

Tabla 27:Datos de línea de conducción

Línea de conducción				
Descripción	Cantidad	K	KT	Perdida local (hl)
Válvula de compuerta abierta4"	1	0.2	0.4	0.0016 m
Y de 2"	1	0.3	0.3	0.0012 m
Total			0.7	0.0059 m
hl_{aduc}	**0.0028 m**			

$$h_{l_{aduc}} = 0.70 \frac{0.28^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_{laduc} = 0.0028\, m$$

- **Pérdidas carga locales de succión en sifón y línea de aducción A-B**

$$h_{l_{A-B}} = \boldsymbol{h_{lsif}} + \boldsymbol{h_{laduc}}$$

$$h_{l_{A-B}} = 0.0143\,m + 0.0028\,m$$

$$h_{l_{A-B}} = \boldsymbol{0.0171\,m}$$

- **Pérdidas por fricción y totales línea de Aducción tramo A-B**

La longitud de la línea de aducción Tramo A-B es de 70.101 m con diámetro de tubería de 2" SDR 41, con caudal de 0.72 l/s y una velocidad de flujo de 0.28m/s con pérdida de carga por fricción de 0.108 m, pérdida local de 0.0171 m, carga estática de 6.66 m, altura piezométrica de 556.65 m y presión de 6.54 m. A continuación, se presentan los cálculos:

- **Pérdida de carga por fricción**

$$h_{f_{A-B}} = 10.679 \frac{Q^{1.85}}{C^{1.85} \times D^{4.87}} \times L$$

$$h_{f1_{A-B}} = 10.679 \frac{(0.00072\,m^3/s)^{1.85}}{150^{1.85} \times 0.0574m^{4.87}} \times 70.101m = 0.108m$$

- **Carga estática**

$$H = Z1_A - Z2_B$$

$$H = 556.771m - 550.11m = 6.66\,m$$

- **Altura piezométrica**

$$Hpz_B = Cota_{\,A} - h_{f_{A-B}} - h_{l\,A-B}$$

$$Hpz_B = 556.771m - 0.108m - 0.0171m = 556.65\,m$$

- **Presión**

$$P_B = \ Hpz - Cota_{\,B}$$

$$P_B = \ 556.65m - 550.114m = 6.54m$$

❖ **Pérdidas locales en la línea de aducción B-C**

Las pérdidas locales se calcularon en base a los coeficientes pérdidas de la tabla 29, la velocidad de flujo fue de 0.043 m/s y las pérdidas locales de fueron de 0.000093 m. A continuación, se presentan los resultados de los cálculos.

$$v_{B-c} = \frac{Q}{\pi \times \frac{D^2}{4}}$$

$$v_{B-c} = \frac{0.00011 m^3/s}{\pi \times \frac{(0.0574 m)^2}{4}}$$

$$v_{B-c} = 0.043\ m/s$$

Tabla 28: Datos de línea de conducción

Línea de conducción				
Descripción	Cantidad	K	KT	Perdida local (hl)
Válvula de compuerta abierta 2"	1	0.2	0.2	0.000018 m
Codo PVC en 45 de 2"	2	0.4	0.8	0.000075 m
Total			1.0	0.000093 m
hl_{aduc}	**0.000093 m**			

$$h_{l_{B-C}} = 1.0 \frac{(0.043\ m/s)^{\ 2}}{2 \times 9.81\ m/s^2}$$

$$h_{l_{B-C}} = 0.000093\ m$$

❖ **Pérdidas por fricción y totales línea de distribución B-C**

La longitud de la línea de conducción del tramo B-C es de 53.425 m con diámetro de tubería de 2” SDR 41, con caudal de 0.11 l/s y una velocidad de flujo de 0.043 m/s con pérdida de carga por fricción de 0.0026 m, pérdida local de 0.00009 m, carga estática de 4.91 m, altura piezométrica de 556.647 m y presión de 4.787 m. A continuación, se presentan los cálculos:

❖ **Perdida de carga por fricción**

$$h_{f_{B-C}} = 10.679 \frac{Q^{1.85}}{C^{1.85} \times D^{4.87}} \times L$$

$$h_{f3_{B-C}} = 10.679 \frac{(0.00011 \frac{m^3}{s})^{1.85}}{150^{1.85} \times 0.0574m^{\,4.87}} \times 50.425m = 0.0026m$$

- **Carga estática**

$$H = Z1_A - Z2_C$$

$$H = 556.77 - 551.86 = 4.91\,m$$

- **Altura piezométrica**

$$Hpz_C = Hpz_B - h_f - h_{lB-C}$$

$$Hpz_C = 556.65m - 0.0026m - 0.00009 = 556.647\,m$$

- **Presión**

$$P_C = Hpz_C - Cota\ del\ terreno_C$$

$$P_C = 556.647m - 551.86m = 4.787m$$

- **Pérdidas locales en la línea de aducción B-D**

Las pérdidas locales se calcularon en base a los coeficientes pérdidas de la tabla 30, la velocidad de flujo fue de 0.236 m/s y las pérdidas locales de fueron de 0.00283 m. A continuación, se presentan los resultados de los cálculos.

$$v = \frac{Q}{\pi \times \frac{D^2}{4}}$$

$$v_{B-D} = \frac{0.00061\ m^3/s}{\pi \times \frac{(0.0574m)^2}{4}}$$

$$v_{B-D} = 0.236 \frac{m}{s}$$

Tabla 29: Datos de línea de Conducción

Línea de conducción				
Descripción	Cantidad	K	KT	Perdida local (hl)
Válvula de compuerta abierta 2"	1	0.2	0.2	0.00057 m
Codo PVC en 45 de 2"	2	0.4	0.8	0.00227 m
Total			1.0	0.00283 m
hl_{aduc}	**0.00283 m**			

$$h_{lB-D} = 1.0 \frac{(0.236\ m/s)^{\ 2}}{2 \times 9.81\ m/s^2}$$

$$h_{lB-D} = 0.00283\ m$$

- **Pérdidas por fricción y totales línea de Aducción tramo B-D**

La longitud de la línea de conducción del tramo B-D es de 343.18 m con diámetro de tubería de 2” SDR 41, con caudal de 0.61 l/s y una velocidad de flujo de 0.236 m/s con pérdida de carga por fricción de 0.43 m, pérdida local de 0.00283 m, carga estática de 3.23 m, altura piezométrica de 556.217 m y presión de 2.67 m. A continuación, se presentan los cálculos:

- **Perdida de carga por fricción**

$$h_{f2} = 10.679 \frac{Q^{1.85}}{C^{1.85} \times D^{4.87}} \times L$$

$$h_{f2_{B-D}} = 10.679 \frac{(0.00061 m^3/s)^{1.85}}{150^{1.85} \times 0.0574\ m^{\ 4.87}} \times 343.18m = 0.43m$$

- **Carga estática**

$$H_{A-D} = Z1_A - Z2_D$$

$$H_{A-D} = 556.77 - 553.54 = 3.23\ m$$

- **Altura piezométrica**

$$Hpz_D = Hpz_B - h_{f_{B-D}} - h_{lB-D}$$

$$Hpz_D = 556.65 - 0.43m - 0.0028 = 556.217m$$

❖ **Presión**

$$P_D = Hpz_D - Cota\ del\ terreno_D$$

$$P_D = 556.217m - 553.54m = 2.677m$$

4.6.4. Simulación de red en Epanet

Simulación hidráulica por tramo

La red de distribución funciona en dos tramos simultáneos, siendo esta la condición hidráulica de mayor exigencia para la red, debido que la red opera con los máximos caudales para satisfacer la demanda del ganado en el abrevadero y de los cultivos en el sistema de riego, a continuación, se presentan los resultados del análisis hidráulico por tramo.

Resultados de la simulación del tramo A-B-C:

La longitud del tramo A-B es de 113.53m con un diámetro de 2" SDR 41, que transporta en el tramo A-B un caudal de 0.72 l/s con velocidad de 0.28 m/s y en el tramo B-C un caudal de 0.11 l/s con velocidad de 0.04 m/s, ver Tabla 31.

La presión máxima se dio en el nodo N8 con 7.73 m y una mínima en el nodo 1 que corresponde al sifón con -2.03 m, ver tabla 32 e figuras 31 y 32.

Tabla 30: Velocidades y caudal

Tabla del tramo A-B-C al abrevadero						
Tubería No	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.
	m	mm		LPS	m/s	m/km
1	8.312	57.4	150	0.72	0.28	1.76
2	3.215	57.4	150	0.72	0.28	2.65
3	15.18	57.4	150	0.72	0.28	1.67
4	10.36	57.4	150	0.72	0.28	1.67
5	3.138	57.4	150	0.72	0.28	1.67
6	8.348	57.4	150	0.72	0.28	1.67
7	7.848	57.4	150	0.72	0.28	1.67
8	3.705	57.4	150	0.72	0.28	2.52
20	17.14	57.4	150	0.11	0.04	0.05

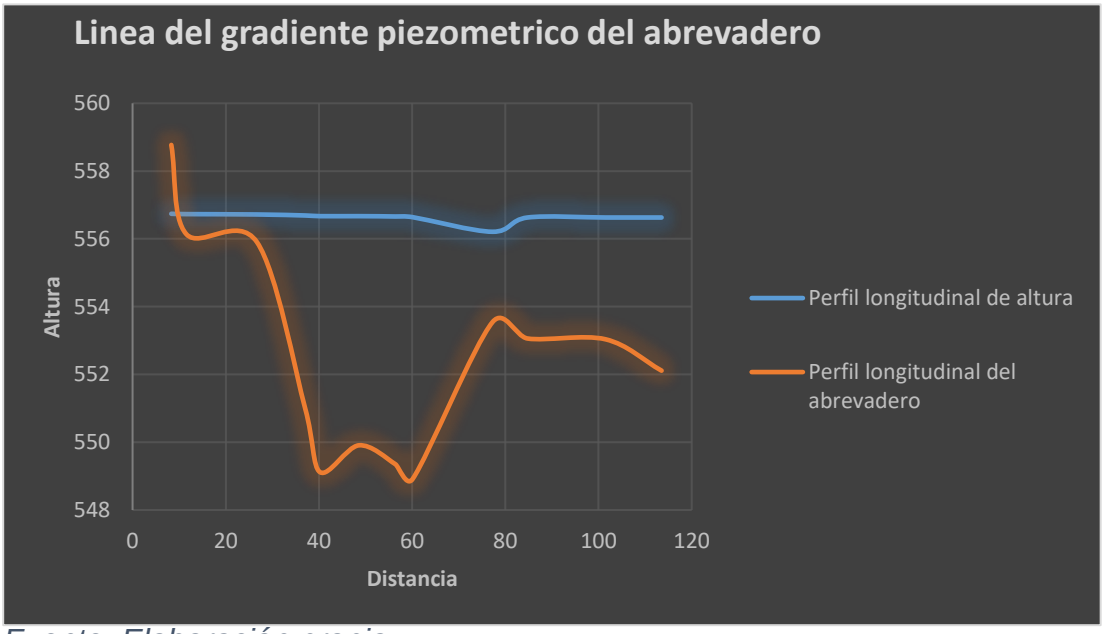
21	7.505	57.4	150	0.11	0.04	0.05
22	16.76	57.4	150	0.11	0.04	0.05
23	12.02	57.4	150	0.11	0.04	0.05

Tabla 31: Presiones en el tramo A-B-C

Tabla del tramo A-B-C				
No	Cota	Demanda Base	Altura	Presión
0	556.771		556.77	0
1	558.771	0	556.74	-2.03
2	556.140991	0	556.73	0.58
3	555.901794	0	556.72	0.82
4	550.986206	0	556.69	5.71
5	549.118347	0	556.67	7.56
6	549.908936	0	556.67	6.76
7	549.351562	0	556.66	7.3
8	548.915955	0	556.64	7.73
21	553.060303	0	556.63	3.57
22	553.036987	0	556.63	3.59
23	552.111938	0	556.63	4.52
24	551.862	0.11	556.63	4.77

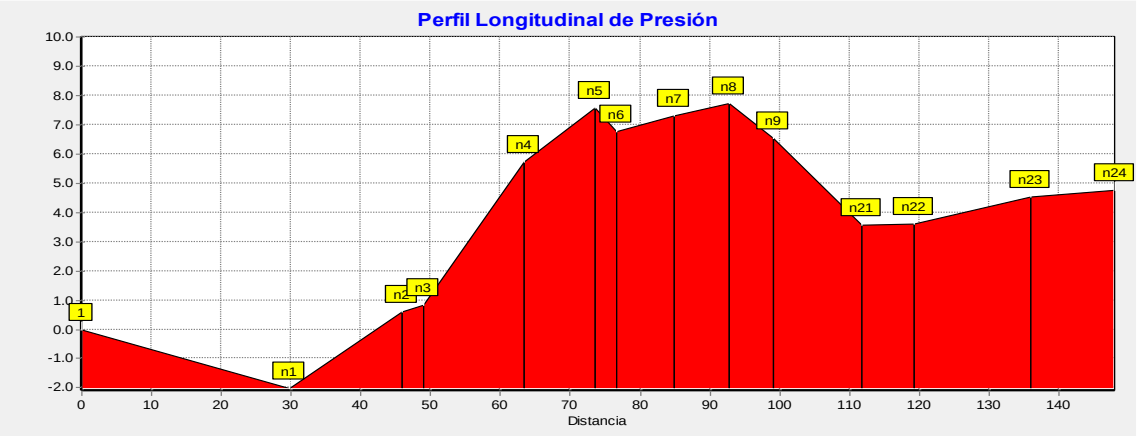
Fuente: Elaboración propia

Figura 30: Gradiente piezométrico del abrevadero



Fuente: Elaboración propia

Figura 31: Perfil longitudinal de presiones del abrevadero



Fuente: Elaboración propia

Resultados de la simulación del tramo A-B-D:

La longitud del tramo A-B-D es de 403.13m con un diámetro de 2” SDR 41, que transporta en el tramo A-B un caudal de 0.72 l/s con velocidad de 0.28 m/s y en el tramo B-C un caudal de 0.61 l/s con velocidad de 0.24 m/s, ver tabla 33.

La presión máxima se dio en el nodo N12 con 8.76 m y una mínima en el nodo 1 que corresponde al sifón con -2.03 m, ver tabla 34 e figuras 33 y 34.

Tabla 32 Velocidades y caudal

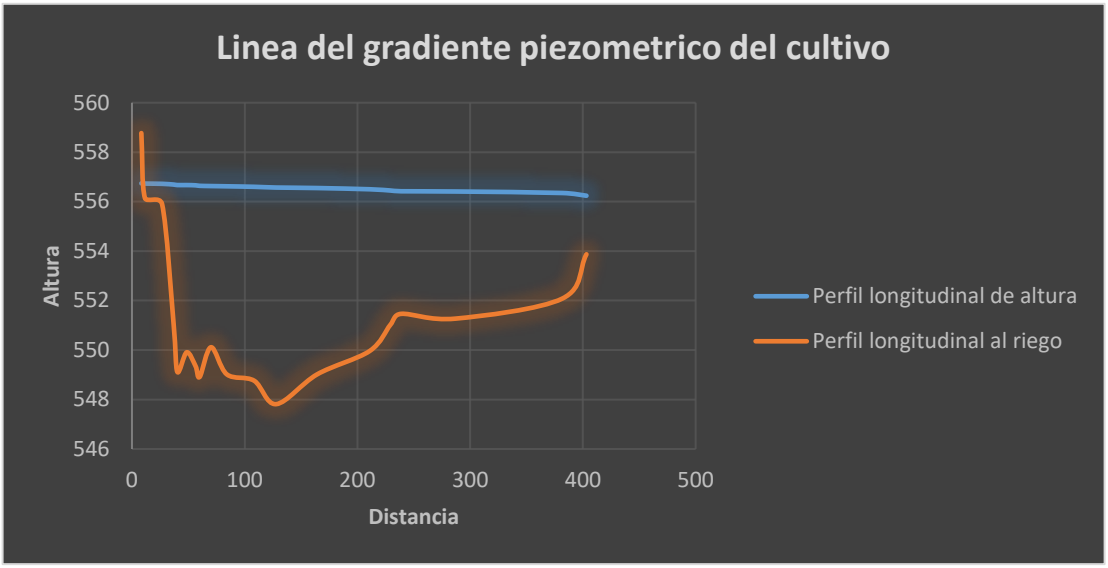
Tabla del tramo A-B-D al cultivo						
Tubería No	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.
	m	mm		LPS	m/s	m/km
1	8.312	57.4	150	0.72	0.28	1.76
2	3.215	57.4	150	0.72	0.28	2.65
3	15.18	57.4	150	0.72	0.28	1.67
4	10.36	57.4	150	0.72	0.28	1.67
5	3.138	57.4	150	0.72	0.28	1.67
6	8.348	57.4	150	0.72	0.28	1.67
7	7.848	57.4	150	0.72	0.28	1.67
8	3.705	57.4	150	0.72	0.28	2.52
9	10.01	57.4	150	0.61	0.24	1.23
10	14.05	57.4	150	0.61	0.24	1.23
11	24.2	57.4	150	0.61	0.24	1.23
12	19.62	57.4	150	0.61	0.24	1.23
13	36.25	57.4	150	0.61	0.24	1.23

14	46.6	57.4	150	0.61	0.24	1.23
15	18.44	57.4	150	0.61	0.24	1.23
16	9.418	57.4	150	0.61	0.24	1.23
17	48.37	57.4	150	0.61	0.24	1.23
18	94.69	57.4	150	0.61	0.24	1.23
19	21.37	57.4	150	0.61	0.24	1.26

Tabla 33: Presiones en el tramo A-B-D

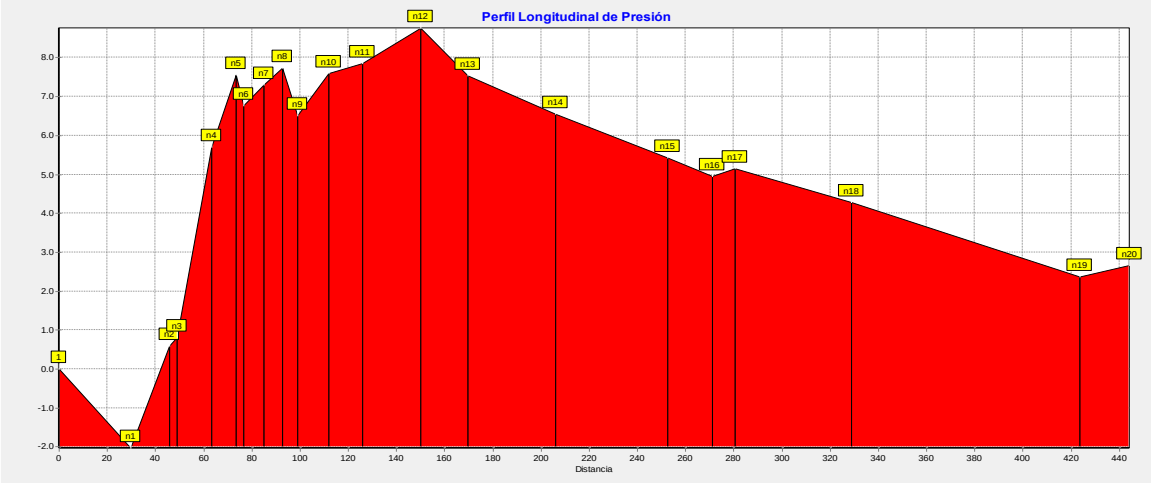
Tabla del tramo A-B-D				
No	Cota	Demanda Base	Altura	Presión
0	556.771		556.77	0
1	558.771	0	556.74	-2.03
2	556.140991	0	556.73	0.58
3	555.901794	0	556.72	0.82
4	550.986206	0	556.69	5.71
5	549.118347	0	556.67	7.56
6	549.908936	0	556.67	6.76
7	549.351562	0	556.66	7.3
8	548.915955	0	556.64	7.73
10	549.016174	0	556.62	7.6
11	548.760498	0	556.6	7.84
12	547.814697	0	556.57	8.76
13	549.017395	0	556.55	7.53
14	549.960327	0	556.5	6.54
15	551.02356	0	556.45	5.42
16	551.463745	0	556.42	4.96
17	551.270447	0	556.41	5.14
18	552.08136	0	556.35	4.27
19	553.870911	0	556.24	2.37
20	553.543762	0.61	556.21	2.67

Figura 32: Gradiente piezométrico del cultivo



Fuente: Elaboración propia

Figura 33: Perfil longitudinal de presiones de cultivo



Fuente: Elaboración propia

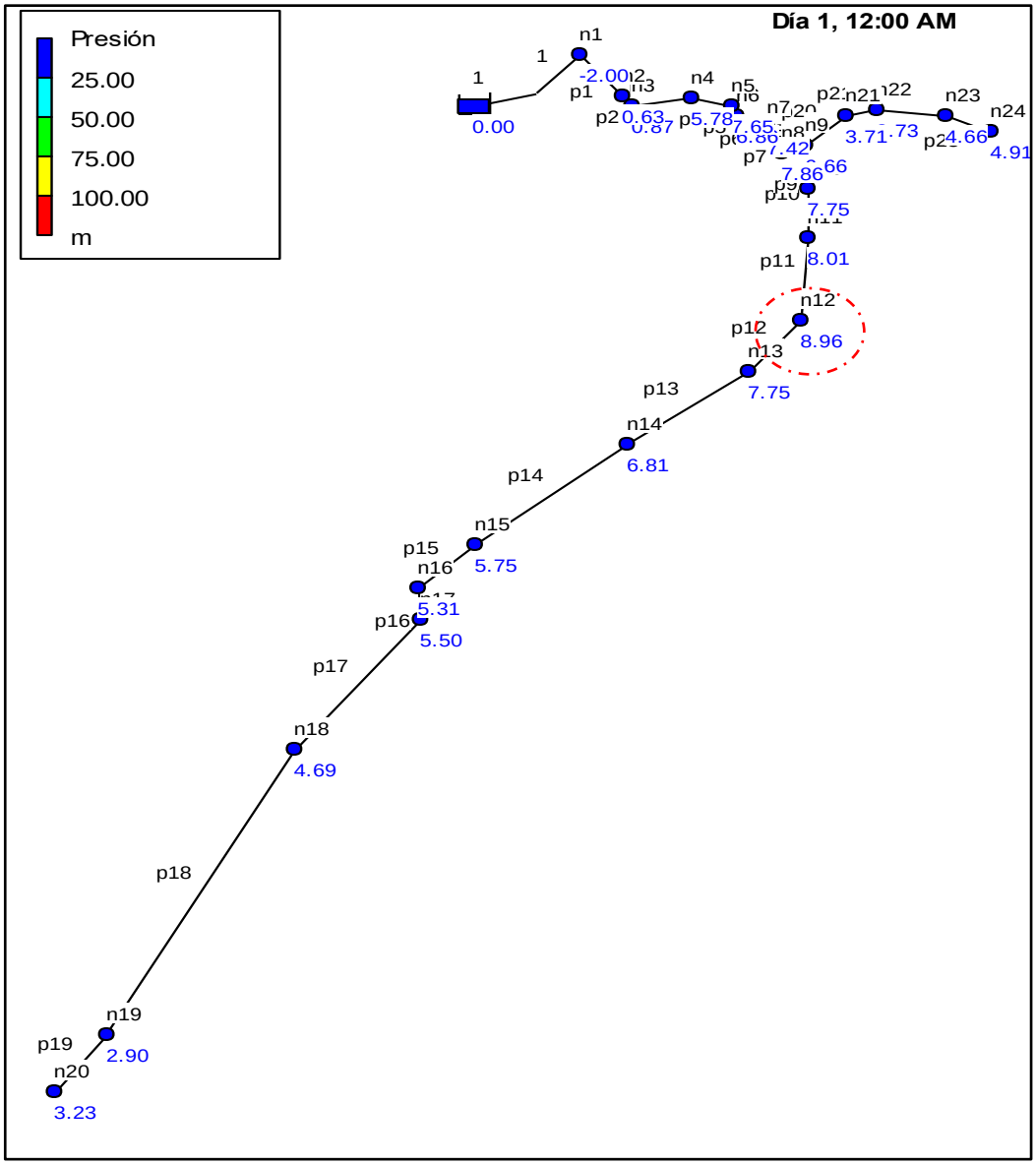
- **Simulación con demanda cero**

Se realiza una simulación en Epanet para Verificar en que nodo se encuentra la mayor presión siendo el nodo 12 con 8.96 m, ver tabla 35 e figura 35.

Tabla 34 Presiones con demanda cero

Tabla de Red - Nudos			
	Cota	Altura	Presión
ID Nudo	m	m	m
Conexión n1	558.771	556.77	-2
Conexión n2	556.141	556.77	0.63
Conexión n3	555.902	556.77	0.87
Conexión n4	550.986	556.77	5.78
Conexión n5	549.118	556.77	7.65
Conexión n6	549.909	556.77	6.86
Conexión n7	549.352	556.77	7.42
Conexión n8	548.916	556.77	7.86
Conexión n9	550.114	556.77	6.66
Conexión n10	549.016	556.77	7.75
Conexión n11	548.76	556.77	8.01
Conexión n12	547.815	556.77	8.96
Conexión n13	549.017	556.77	7.75
Conexión n14	549.96	556.77	6.81
Conexión n15	551.024	556.77	5.75
Conexión n16	551.464	556.77	5.31
Conexión n17	551.27	556.77	5.5
Conexión n18	552.081	556.77	4.69
Conexión n19	553.871	556.77	2.9
Conexión n20	553.544	556.77	3.23
Conexión n21	553.06	556.77	3.71
Conexión n22	553.037	556.77	3.73
Conexión n23	552.112	556.77	4.66
Conexión n24	551.862	556.77	4.91

Figura 34: Red de distribución



Fuente: Elaboración propia

- **Cálculo del golpe de ariete**

Como último paso se calculó el golpe de ariete en la línea de conducción del riego tramo A-B-D resultando una presión máxima de 4.378 m y en el tramo A-B-C del abrevadero con una presión máxima de 5.01 m, seguidamente se realizó una comparativa con la tubería propuesta SDR 41 que soporta 70.422 m de presión,

como se observa la tubería resistirá la carga del golpe de ariete o fenómeno de transitorio rápido**.**

- **Celeridad de la onda presión en tubería PVC SDR 41**

$$a = \frac{1420}{\sqrt{1 + \left(\frac{K}{E}\right)(SDR - 2)}}$$

$$a = \frac{1420}{\sqrt{1 + \left(\frac{2{,}06 \times 10^4}{2{,}81 \times 10^4}\right)(41 - 2)}}$$

$$a = 261\ m/s$$

- **Tramo A-B-D a los cultivos**

$Longitud\ del\ tramo\ A - B - D\ de\ riego = 413.124m$

$Tc = 10s, se\ adopta\ 20\ s\ para\ el\ cierre\ de\ una\ valvula\ de\ compuerta$

$$t = \frac{2 \times L}{a}, \qquad tiempo\ del\ ciclo\ de\ onda\ de\ presión$$

$$t = \frac{2 \times 413.124\ m}{261\ m/s}$$

$$t = 3.165\ s$$

$$Tc > t; cierre\ lento$$

Como:

$$10s > 3.165\ s \therefore Cierre\ lento$$

El tramo A-B-D está conformado por dos tramos, a continuación, se presentan los cálculos.

donde:

v = Velocidad del flujo, m/s

L = Longitud de tubería, m

Siendo:

L = 403.124 m

$L1_{A-B}$= 60.106 m

$L2_{B-D}$= 343.018 m

V = 0.28 m/s

$$\boldsymbol{v = 0.28\ m/s}$$

Cómo es un tipo de cierre lento se utiliza la ecuación de Michaud (Real, 2010, p. 9) que se presenta a continuación:

$$\Delta H = \frac{2 \times L \times V}{g \times T}$$

donde:

∆H = Sobre presión debida al golpe de ariete,m

L = Longitud de tubería, m

V = Velocidad de régimen del agua, m/s

T = Tiempo de cierre, s

g = Aceleración de la gravedad, m/s^2

$$\Delta H = \frac{2 \times 403.124 \times 0.28}{9.81 \times 20}$$

$$\boldsymbol{\Delta H = 1.15 m\ m}$$

$$Cota1 = 556.771 msnm$$

$$Cota2 = 553.543\ msnm$$

$$Hg = 3.228\ m$$

$$Capacidad\ de\ tuberia\ a\ usar = 70.422535\ m$$

$$\boldsymbol{HT = 4.378\ m\ \therefore\ La\ tuberia\ reciste}$$

Tamo A-B-C golpe de ariete del abrevadero

Debido a que se utiliza la misma tubería PVC SDR 41 la celeridad de la onda de presión es 261 m/s.

También se adapta un tiempo de cierre manual de 10 segundos, que un tiempo razonable para el cierre manual de una válvula de compuerta.

$Tc = 10s$

Siendo que la longitud del tramo A-B-C es de 113.531 m el tiempo del ciclo de onda de presión se calculó en 0.8698 s como se muestra a continuación:

$$t = \frac{2 \times L}{a}$$

$$t = \frac{2 \times 113.531}{261}$$

$$t = 0.8698\ s$$

Como:

$$Si, T > t \therefore Cierre\ lento$$

$$10s > 0.8698s \therefore Cierre\ lento$$

La línea de conducción está constituida por dos tramos A-B y B-C, por lo cual la velocidad de flujo es de 0.28 m/s.

v = Velocidad del flujo

L = Longitud de tubería

L = 113.531 m

$L1_{A\text{-}B}$= 60.106 m

$L2_{B\text{-}C}$ = 53.425 m

$V_{A\text{-}B}$ = 0.28 m/s

$$v = 0.28\ m/s$$

$$\Delta H = \frac{2 \times 113.531 \times 0.28}{9.81 \times 10}$$

$$\boldsymbol{\Delta H = 0.324\ m}$$

$$Cota1 = 556.771\ msnm$$

$$Cota2 = 551.862\ msnm$$

$$Hg = 4.848\ m$$

$$Capacidad\ de\ tuberia\ a\ usar = 70.422535\ mca$$

$$\boldsymbol{HT = 5.233\ m\ \therefore\ La\ tuberia\ reciste}$$

4.7. Presupuesto de la obra

El presupuesto de la obra de captación en la Finca El Guanacaste esta evaluado en un monto total de C$ 569,271.68 del cual C$ 205,111.74 se ocupa para pagos de cantidad de obra como se muestra en tabla 36, C$ 318,675.80 en renta de equipos ver tabla 37 y C$ 45,484.15 en compras de materiales (Take Off) ver tabla 38.

Tabla 35: Tabla de cantidad de obra

Proyecto de Cosecha de Agua					
Sub etapa	Descripción	U/m	Cantidad	Costo Unitario	Total
310-Preliminares					
310-01	limpieza Inicial	m²	2818.29	19.00	53547.51
310-02	Trazo Y nivelación	m²	1296.00	47.13	61080.48
315-Movimiento de Tierra					
315-03	Excavación manual	M^3	4.14	119.63	495.33
316-Concreto					
316-06	Concreto 3220 PSI	M^3	0.82	3500.00	2870.00
316-07	Formaletas	M^2	10.00	133.96	1339.60
317-Linea de Conducción					
317-09	Instalación tuberías 2"	Ml	466.55	180.00	83978.82
317-09	Instalación tuberías 4"	Ml	6.00	300.00	1800.00
Total		C$205,111.74			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 36: Tabla Renta de equipos

Renta de equipos		Rendimiento	U/m	Cantidad	horas	días	costo/hora	Total
315-Movimiento de Tierra								
315-04 Excavación	Bulldozer D-6	60 m³/h	M³	1651.60	28	3	C$4,004.00	C$110,216.86
315-05 Relleno y Compactación	Compactadora Cat 815	70 m³/h	M³	1651.60	24	3	C$2,366.00	C$55,824.13
317-Linea de Conducción								
317-08 Excavación	Retroexcavadora	9 m³/h	M³	583.19	65	8	C$2,366.00	C$152,634.81
Total	C$318,675.80							

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 37:Tabla de take Off

TAKE-OFF					
Subetapa	Descripción	U/m	Cantidad	C. Unitario	Total
310-Preliminares					
310-02 Trazo Y nivelación	Cuartones 2x2x4vrs	c/u	13.00	C$94.00	C$1,222.00
310-02 Trazo Y nivelación	Reglas de 1x3x5vrs	c/u	7.00	C$100.00	C$700.00
310-02 Trazo Y nivelación	Clavos de 2"	lbs	2.00	C$40.00	C$80.00
316-Concreto					
316-06 Concreto	Cemento	c/u	9	425.22	3826.98
316-06 Concreto	Arena	m3	0.5	650	325
316-06 Concreto	Grava	m3	0.8	850	680
316-06 Concreto	Agua	m3	0.359	10	3.59
316-07 Formaletas	Clavos de 2" 1/2"	libras	3.25	36.79	119.5675
316-07 Formaletas	tablas 1"x10"x 4vrs	U/m	6	618.8	3712.8
317-Linea de Conducción					
317-10 Válvulas y Accesorios	Válvula de pie de bronce de 2"	c/u	1	C$1,399.00	C$1,399.00
317-10 Válvulas y Accesorios	Codo PVC en 45 de 2"	c/u	4	C$146.00	C$584.00
317-10 Válvulas y Accesorios	Tee en sentido recto de 4"	c/u	1	C$155.73	C$155.73
317-10 Válvulas y Accesorios	Reductor de 2x4	c/u	2	C$43.80	C$87.60
317-10 Válvulas y Accesorios	Válvula de compuerta abierta de 4"	c/u	1	C$7,899.00	C$7,899.00
317-10 Válvulas y Accesorios	Y de 2"	c/u	1	C$49.48	C$49.48
317-10 Válvulas y Accesorios	Llave de pase 4"	c/u	1	C$89.00	C$89.00
317-10 Válvulas y Accesorios	Tubería de 2"	c/u	78	C$284.70	C$22,137.75
317-10 Válvulas y Accesorios	Tuberías de 4"	c/u	1	C$569.40	C$569.40
317-10 Válvulas y Accesorios	Pegamento PVC WET DRY 1/4 GL	c/u	5	C$368.65	C$1,843.25
Total=	C$45,484.15				

Fuente: Elaboración Propia

4.8. Conclusiones y recomendaciones

4.8.1. Conclusiones

- De acuerdo a la clasificación de la unidad de producción esta se clasifico como mediano productor dado que posee un área cultivada de 6 mz.
- La finca para su funcionamiento productivo demanda un volumen de agua exclusivo del cultivo y del ganado de 833.540 m^3 anual de los cuales la demanda en el periodo seco es de 511.481 $m^{3.}$
- El área para el reservorio fue de 1296m^2 con cota máxima de 570.1 msnm y mínima de 566.804 msnm, la longitud para el trazado de la línea de conducción fue de 466.549 ml con cota inicial del reservorio de 558.771 msnm y final de 553.54 msnm con una diferencia entre cotas de 5.23 m, altura suficiente para el riego por goteo.
- Se encontró un área de captación de 13914.8 m^2, por lo que se tipifica como una microcuenca irregular alargada con una longitud de la corriente principal de 272.755 m, pendiente del 17% y red de drenaje con numero de orden 2, lo cual favorece el escurrimiento necesario para llenar la obra de captación.
- Aplicando la metodología SUCS el suelo se clasifico como suelo arcilloso de grano fino inorgánico (CH), por otra parte, se calcularon CBR clasificándose como subrasantes de mala calidad para obras viales, no así para impermeabilización de reservorios.
- El área de captación necesaria para un área de cultivo de 10,847.76 m^2, utilizados en diferentes lotes en tres ciclos anuales fue de 1625.741m^2, por lo tanto, se definió un volumen útil de almacenamiento de 1592.11m^3 para satisfacer la demanda en el periodo seco y periodo canicular.
- Se construirá una obra de captación semi excavada con capacidad de almacenamiento 1605.35m^3, con talud de 1.3:1, también se diseñó una línea de conducción dotada de un sifón con tubería PVC SDR 41con una longitud de 466.549 ml.

- Tomando en cuenta que los meses de consumo son de noviembre a mayo y el cultivo de referencia es de 600 m2, entonces se obtiene un balance total de 5049.37 m3 para este periodo.
- El monto total de la obra utilizando el catálogo del FISE se estima en un total de C$ 569,271.68 siendo la renta de equipo el costo más elevado.

4.8.2. Recomendaciones

- Se recomienda mantener reforestada la microcuenca con especies nativas.
- Debido a que el suelo en el reservorio es clase CH según SUCS, se debe mantener el reservorio con agua para evitar el agrietamiento.
- Aprovechar el agua del reservorio con tecnología de riego de baja presión y eficiencia en la dosificación del agua tales como riego por goteo.
- Siembra de especies como valeriana en el talud esto para protegerlo de la erosión y favorecer la estabilidad del mismo.
- Realizar un cerco perimetral alrededor de la obra y evitar el ingreso de ganado.
- Se recomienda que para estudios similares también se utilicen datos oficiales publicados por INETER.

Bibliografía

AMANCO. (2005). Manual Técnico de Tubosistemas. Guatemala: AMANCO.

ASTM D2487, A. S. (2017). Normativa ASTM D2487-17 (Sistema Unificado de Clasificacion de Suelos (SUCS)). West Conshohocken,Estados Unidos: 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700,West Conshohocken , PA 19428-2959.

ASTM D4318, A. S. (2017). Método de prueba estándar para limite liquido,limite plastico y indice de plasticidad del suelo. West Conshohocken, Estados Unidos: 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700,West Conshohocken , PA 19428-2959.

ASTM D6913, A. S. (2017). Método de prueba estándar para distribucion de tamaño de particulas(graduacion) de suelos mediante analisis de tamiz. West Conshohocken, Estados Unidos: 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700,West Conshohocken , PA 19428-2959.

ASTM D698, A. S. (2012). Normativa ASTM D698-12 (Metodos de prueba estándar para caracteristicas de laboratorio de compactacion del suelo usando esfuerzo estandar (12,400ft-lbf/ft3(600Kn-m/m3))1. West Conshohocken- Estados Unidos: 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700,West Conshohocken , PA 19428-2959.

ASTM D854, A. S. (2014). Normativa ASTM D854-14 (Metodos de prueba estándar para gravedad especifica de los solidos de los suelos por picnometro de agua). West Conshohocken- Estados Unidos: 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700,West Conshohocken , PA 19428-2959.

Belelli, Eduardo; Vázquez, Lucas;. (2019). Captacion de agua de lluvia. Buenos Aires: Ediciones INTA.

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines, J. e. (s.f.). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Mexico: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Cedeño, A. C. (2016). hidráulica e hidrología para ingeniería . Moscú: Universidad de la Amistad de los Pueblos de Rusia.

CEPAL. (2010). Efectos del cambio Climatico o sobre la agricultura de Nicaragua. México, D. F.: La economía del cambio climático en Centroamérica.

CEPAL. (2015). Acuerdo histórico sobre el cambio climático en París. París.

Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). hidrologia Aplicada. (M. E. R., Ed., & J. G. Saldarriaga., Trad.) Colombia: NOMOS S.A.

Das, B. (2012). Fundamentos de Ingenieria de Cimentaciones. Mexico: Cengage learning Editores,S.A. de C.V.

Das, B. M. (2001). Fundamento de ingeniería geotécnica. Sacramento California: International Thomson Editores , S.A de C.V.

enseñanza, C. a. (18 de Noviembre de 2022). catie. Obtenido de CATIE: https://www.catie.ac.cr/2022/11/18/catie-realiza-foro-internacional-sobre-proyecto-cosecha-de-agua/

FAO. (2012). El estado mundial de la agricultura y la alimentacion. 00153 Roma,Italia: FAO.

FAO 24. (1986). Las necesidades de agua de los cultivos. Roma: FAO.

FAO, O. d. (1998). Evapotranspiracion de cultivos. Roma: 00100 Rome, Italy.

FAO-SAG. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de minirrigo. Tegucigalpa: FAO-SAG.

Geografia, R. U. (2018). Estudio morfometrico de las cuencas de drenaje de la vertiente del sureste de la provincia de Buenos Aires. Buenos Aires: Licencia creative Commos Atribucion-NoComercial3.0 Internacional.

INAA. (2006). Guias tecnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamientos de aguas residuales. Managua: INAA.

Instituto Nicaraguense de Acueductos y Alcantarillados Ente Regulador. (03 de noviembre de 2021). Diseño De Sistemas De Abastecimiento. Agua Potable Norma Técnica N°. NTON 09 007-19. Managua: La Gaceta.

MARENA - PNUD. (2003). Programa de accion nacional de lucha contra la desertificacion y la sequia. Managua: Ministerio del ambiente y los recursos Naturales.

Materials, A. D.-1. (2014). Normativa ASTM D854-14 (Metodos de prueba estándar para gravedad especifica de los solidos del suelo por picnometro de agua). West Conshohocken, Estados Unidos: 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700,West Conshohocken , PA 19428-2959 United States.

McCormac, J. C. (2007). Topografía. Mexico: Limusa Willey.

MEFCCA,COSUDE,CATIE. (2018). Diseño de sistemas de captación de escorrentía. Managua: MEFCCA, CATIE.

MTI. (2019). Guía hidráulica para el diseño de obras de drenaje en caminos rurales. MANAGUA: MTI.

Ortiz Diaz, H. A., Escobar Amado, C. D., & Sepúlveda Mora., S. B. (2018). Análisis estadístico de variables climatológicas y posibles baja. Revista Respuestas, 39 - 44.

P.Coduto, D. (1999). Ingenieria Geotecnica: Principios y practicas . California: California States Polytechnic University, Pomona.

Perez, A. L. (2021). Manual de Costos y presupuestos de Obras Verticales. Esteli, Nicaragua: UNI.

Real, E. U. (2010). El golpe de Ariete. Ciudad Real: Ingenieria Rural.

SAGARPA. (2011). Líneas de Conduccíon por gravedad. Mexico: SAGARPA.

Serna, G. L. (2011). Edafologia I. Colombia: Espacio grafico Comunicaciones S.A.

Universidad Autonoma de México. (2019). Sistemas de Irrigación. México: Universidad Autonoma del estado de México.

Villalaz, C. C. (2004). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. México, D.F.: Limosa S.A.

Villalaz, C. C. (2004). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. México, D.F.: Limosa S.A.

V. **Anexos**

5.1. Anexo 1: Modelo de entrevista

Objetivo: conocer la problemática en cuanto al abastecimiento de agua en la finca.

Entrevista

- **Datos de la ubicación**

Departamento: _____ Municipio: _____

Nombre de la comunidad: _____

Fecha: _____

- **Datos de composición de la finca**

Beneficiario:

_____

Cedula: _____

Número de habitantes: _____

Área total de la finca: ____ Mz

- **Recursos y sistema de agua**

1. ¿Tiene sistema o servicio de agua?
   sí: ❑ no: ❑

2. ¿Cómo se abastecen?
   Propia ❑ Sistema público ❑ Quebrada ❑
   Rio ❑ Manantial ❑ Pozo ❑

Fuente: CATIE

33. ¿Paga por el recurso de agua?

    Sí ____ No ____

34. ¿Cuánto paga al mes? _____

35. ¿Considera usted suficiente la cantidad de agua que necesita para su

    finca?

    Sí ____ No ____

36. ¿Qué cantidad de agua utiliza al día? _____

37. ¿Tiene acceso al agua todo el año?

    Sí ____ No ____

38. ¿Cuál es la funcionalidad de la finca?

    Ganadería: ❑ Cultivo: ❑ Otro: _____

39. ¿Existen actividades agrícolas en la finca?
    Sí ____ No ____

40. ¿Dispone de recursos hídricos para uso agrícola?
    Sí ____ No ____

    - ✓ Quebrada, río ❑
    - ✓ Tanque ❑
    - ✓ Pozo ❑
    - ✓ Techo (lluvias) ❑

41. ¿Siembra productos en su parcela?

    Sí ____ No ____

42. ¿Qué productos siembra en su parcela?

_____

Fuente: CATIE

388. ¿Con que frecuencia le toca el riego?

389. ¿Cómo ha sido el invierno en el último año?

390. ¿Cree que existe desperdicio de agua en el riego?
Sí ____ No ____

391. ¿Vende/Comparte su dotación de agua?
Sí ____ No ____

392. ¿Conoce usted qué tipo de cultivo es el adecuado para su terreno?
Sí ____ No ____

393. ¿Con que frecuencia le toca el riego?

394. ¿Cómo ha sido el invierno en el último año?

5.2. Anexo 2: Modelo de Ficha técnica levantada de la unidad de producción familiar.

Proyecto
Adaptación de la Agricultura al cambio Climático a través de la Cosecha de Agua en Nicaragua

CARACTERISTICA DEL SITIO SELECCIONADO

Beneficiario(a). José Benito Albuquerque, de la comunidad San Lorenzo del municipio de La Trinidad, fecha de revisión del sitio día 27, mes de Septiembre del año 2022, coordenadas del sitio X 587017, Y 1439452; cantidad de ganado bobino que tiene 30, Cantidad de manzanas de la propiedad 36, en la que se realizó identificación y selección del sitio apto y propuesto para la construcción de una obra de cosecha de agua de escorrentía, encontrando las características siguientes.

I. Área de recarga:

Uso del Suelo Pecuario y Forestal. Cobertura del suelo Bosque seco tropical, matorral arbustivo y Pasto natural.

% de Pendiente 11. Área en Manzana 4 manzanas

II. Área de emplazamiento de la Obra

Uso del Suelo Pecuario, % de Pendiente 5.3, Área en m² 1256

Tipo de suelo Arcilloso. Tipo de obra Semiexcavada con maquinaria, la forma rectangular (Podría ser semicircular). Con las dos calicatas se verificará y ratificará condición de suelo.

III. Área de uso del agua.

Uso del Suelo Pecuario. Diferencia de nivel con el sitio del área de la obra metro lineal 4 m, con nivel de fondo de la obra sería de 2 metros.

Observaciones: Las condiciones del sitio son óptimas para construcción de la obra, hay necesidad del agua para la finca, disponibilidad de la familia. Camino de fácil acceso y de todo tiempo. 900 metros del centro de la comunidad. En este momento alta condición de humedad. Pendiente la excavación de calicatas en el sitio

Unidad Ejecutora Proyecto Cosecha de Agua en Nicaragua
Oficina Nacional CATIE Nicaragua
A.P. 4830 KM 8.5 Carretera a Masaya • Edificio MAGFOR
Managua, Nicaragua • Tel.: (505) 2276-1026

5.3. Anexo 3 Tabla de temperatura del aire

Temperatura del aire													
Años	**ene**	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**	**Promedio anual**
2000	22.56	24.64	27.45	28.56	26.14	23.3	22.77	22.95	22.45	21.97	21.94	22.48	23.934
2001	23.12	25.18	26.77	28.62	26.7	23.41	22.81	23.4	22.98	22.93	22.14	22.91	24.248
2002	23.08	24.87	27.1	27.92	26.44	24.07	23.08	23.66	23.46	22.87	22.06	23.07	24.307
2003	23.87	25.7	26.86	28.03	26	23.85	23.51	23.65	23.71	22.99	22.75	22.69	24.468
2004	23.7	25.55	26.55	28.1	26.13	23.81	23.62	23.69	23.89	23.4	22.56	23.06	24.505
2005	23.87	25.44	27.62	28.78	26.14	24.1	23.97	23.69	23.16	21.55	21.5	22.26	24.340
2006	22.76	24.11	26.87	28.93	27.63	24.21	23.96	24.15	23.3	22.96	21.68	22.59	24.429
2007	23.42	25.4	27.26	28.06	26.91	23.64	23.27	23.04	22.55	21.58	21.44	21.91	24.040
2008	22.43	24.73	26.92	28.37	27.04	23.5	22.54	23.07	22.87	21.98	21.09	21.38	23.827
2009	22.99	24.16	26.64	29.39	26.15	24.19	23.69	23.64	24.01	22.74	21.75	22.43	24.315
2010	23.01	25.7	27.32	28.87	25.99	24.03	23.55	23.57	22.5	22.24	20.78	20.13	23.974
2011	22.5	24.24	25.8	29.03	27.15	24.35	23.69	23.72	23	21.23	21.07	21.14	23.910
2012	21.81	23.36	25.85	28.27	26.83	24.23	23.25	23.4	22.73	21.71	20.76	21.69	23.658
2013	22.81	24.59	26.59	30.21	28.07	24.6	23.18	23.15	22.8	22.58	21.29	21.61	24.290
2014	22.5	24.43	27.19	29.74	27.95	24.56	24.47	24.26	23.03	22.01	21.38	21.6	24.427
2015	23.32	25.68	28.12	30.53	29.14	25.39	24.95	25.78	24.92	23.68	22.77	23.46	25.645
2016	24.34	26.06	29.36	30.53	28.38	24.55	23.72	24.31	23.51	22.66	21.57	21.77	25.063
2017	22.75	24.64	27.31	30	26.52	24.25	23.62	23.79	23.61	22.52	21.52	21.13	24.305
2018	22.66	24.15	27.24	29.51	27.49	24.53	24.47	24.69	24.47	22.24	21.71	21.56	24.560
2019	23.3	25.54	27.56	29.84	27.64	25.32	24.56	25.07	24.69	22.69	22.21	22.29	25.059
2020	23.53	25.32	26.96	30.36	28.81	24.48	24.12	24.2	23.76	23.04	21.8	22	24.865
2021	22.44	24.73	26.38	28.42	27.77	25.61	23.98	23.88	23.3	23	21.48	21.72	24.393
2022	23.32	25.18	27.78	29.09	26.53	23.2	23.18	23.14	23	22.23	21.76	20.91	24.110
Promedio mensual	***23.05***	***24.93***	***27.11***	***29.09***	***27.11***	***24.23***	***23.65***	***23.82***	***23.38***	***22.47***	***21.70***	***21.99***	**24.38 °C**

Fuente: Elaboración propia

5.4. Anexo 4: Número máximo de horas de sol

Número máximo de horas de sol en el hemisferio Norte (**) (Allen et al. 1998)

Latitud	Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
70	0	6.6	11	15.6	21.3	24	24	17.6	12.8	8.3	2.3	0
68	1.1	7.3	11.1	15.3	19.7	24	22.3	17	12.7	8.7	4.1	0
66	3.9	7.8	11.2	14.9	18.7	22	20.3	16.4	12.7	9	5.2	1.9
64	5	8.2	11.2	14.7	17.9	20.3	19.2	16	12.6	9.3	6	3.7
62	5.7	8.5	11.3	14.4	17.3	19.2	18.4	15.7	12.6	9.5	6.6	4.8
60	6.4	8.8	11.4	14.2	16.8	18.4	17.7	15.3	12.5	9.7	7.1	5.6
58	6.9	9.1	11.4	14.1	16.4	17.8	17.2	15.1	12.5	9.9	7.5	6.2
56	7.3	9.3	11.5	13.9	16	17.3	16.8	14.8	12.4	10.1	7.9	6.7
54	7.7	9.5	11.5	13.8	15.7	16.8	16.4	14.6	12.4	10.2	8.2	7.1
52	8	9.7	11.5	13.6	15.4	16.5	16	14.4	12.4	10.3	8.5	7.5
50	8.3	9.8	11.6	13.5	15.2	16.1	15.7	14.3	12.3	10.4	8.7	7.9
48	8.6	10	11.6	13.4	15	15.8	15.5	14.1	12.3	10.6	9	8.2
46	8.8	10.1	11.6	13.3	14.8	15.5	15.2	14	12.3	10.7	9.2	8.5
44	9.1	10.3	11.6	13.2	14.6	15.3	15	13.8	12.3	10.7	9.4	8.7
42	9.3	10.4	11.7	13.2	14.4	15	14.8	13.7	12.3	10.8	9.6	9
40	9.5	10.5	11.7	13.1	14.2	14.8	14.6	13.6	12.2	10.9	9.7	9.2
38	9.6	10.6	11.7	13	14.1	14.6	14.4	13.5	12.2	11	9.9	9.4
36	9.8	10.7	11.7	12.9	13.9	14.4	14.2	13.4	12.2	11.1	10.1	9.6
34	10	10.8	11.8	12.9	13.8	14.3	14.1	13.3	12.2	11.1	10.2	9.7
32	10.1	10.9	11.8	12.8	13.6	14.1	13.9	13.2	12.2	11.2	10.3	9.9
30	10.3	11	11.8	12.7	13.5	13.9	13.8	13.1	12.2	11.3	10.5	10.1
28	10.4	11	11.8	12.7	13.4	13.8	13.6	13	12.2	11.3	10.6	10.2
26	10.5	11.1	11.8	12.6	13.3	13.6	13.5	12.9	12.1	11.4	10.7	10.4
24	10.7	11.2	11.8	12.6	13.2	13.5	13.3	12.8	12.1	11.4	10.8	10.5
22	10.8	11.3	11.9	12.5	13.1	13.3	13.2	12.8	12.1	11.5	10.9	10.7
20	10.9	11.3	11.9	12.5	12.9	13.2	13.1	12.7	12.1	11.5	11	10.8
18	11	11.4	11.9	12.4	12.8	13.1	13	12.6	12.1	11.6	11.1	10.9
16	11.1	11.5	11.9	12.4	12.7	12.9	12.9	12.5	12.1	11.6	11.2	11.1
14	11.3	11.6	11.9	12.3	12.6	12.8	12.8	12.5	12.1	11.7	11.3	11.2
12	11.4	11.6	11.9	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.7	11.4	11.3
10	11.5	11.7	11.9	12.2	12.5	12.6	12.5	12.3	12.1	11.8	11.5	11.4
8	11.6	11.7	11.9	12.2	12.4	12.5	12.4	12.3	12	11.8	11.6	11.5
6	11.7	11.8	12	12.1	12.3	12.3	12.3	12.2	12	11.9	11.7	11.7
4	11.8	11.9	12	12.1	12.2	12.2	12.2	12.1	12	11.9	11.8	11.8
2	11.9	11.9	12	12	12.1	12.1	12.1	12.1	12	12	11.9	11.9
0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

(**) Para el hemisferio Sur corresponde el valor complementario de 24, por ejemplo: para Enero a 30° de latitud Sur: 24 – 10,3 = 13,7 horas

5.5. Anexo 5: Tabla de precipitación mensual

Precipitación mensual de 1998-2018														
No	**Años**	**ene**	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**	**Precipitación anual**
1	2006	45.92	5.68	9.31	48.11	114.78	170.95	88.11	66.75	164.11	83.63	46.37	21.86	**865.58**
2	2004	19.02	17.72	36.65	19.67	161.09	157.21	79.25	92.69	156.69	113.62	30.99	15.7	**900.3**
3	2001	0	5.39	2.84	0.61	219.97	62.08	64.49	101.84	284.41	150.64	40.21	8.99	**941.47**
4	2015	6.78	5.47	6.13	30.09	45.33	302.84	37.51	23.59	146.96	199.26	105.22	38.04	**947.22**
5	2000	4.16	1.87	0.21	3.6	127.23	136.13	79.93	122.85	455.86	157.85	24.39	4.37	**1118.45**
6	2014	27.5	13.94	0.47	11.68	138.87	110.28	15.69	160.65	306.85	356.06	68.46	4.24	**1214.69**
7	2016	9.52	8.04	6.82	24.64	175.18	177.88	51.78	159.32	179.16	306.15	113.73	25.66	**1237.88**
8	2002	4.75	3.46	3.11	2.95	333.63	281.58	77.93	86.68	257.39	185.97	37.88	1.83	**1277.16**
9	2018	2.41	0	0	47.81	316.46	187.35	1.94	48.82	140.7	451	51.2	31.77	**1279.46**
10	2003	9.06	2.85	23.56	20.88	186.27	331.31	76.44	93.62	221.26	229.87	85.35	3.9	**1284.37**
11	2009	16.56	41.12	4.1	1.56	345.67	318.06	98.24	41.54	126.59	135.37	199.86	24.23	**1352.9**
12	2013	22	0	47.11	32.91	172.38	141.76	101.09	129.11	346.58	257.84	107.11	12.45	**1370.34**
13	2012	2.11	4.55	3.36	120.4	392.03	200.78	48	310.88	134.87	255.25	1.42	11.79	**1485.44**
14	2005	16.37	6.25	22.56	44.5	225.58	260.77	132.42	164.3	228.29	287.4	103.18	12.02	**1503.64**
15	2017	2.61	3.49	0	64.5	298.97	258.96	117.3	191.31	258.82	313.91	129.5	10.78	**1650.15**

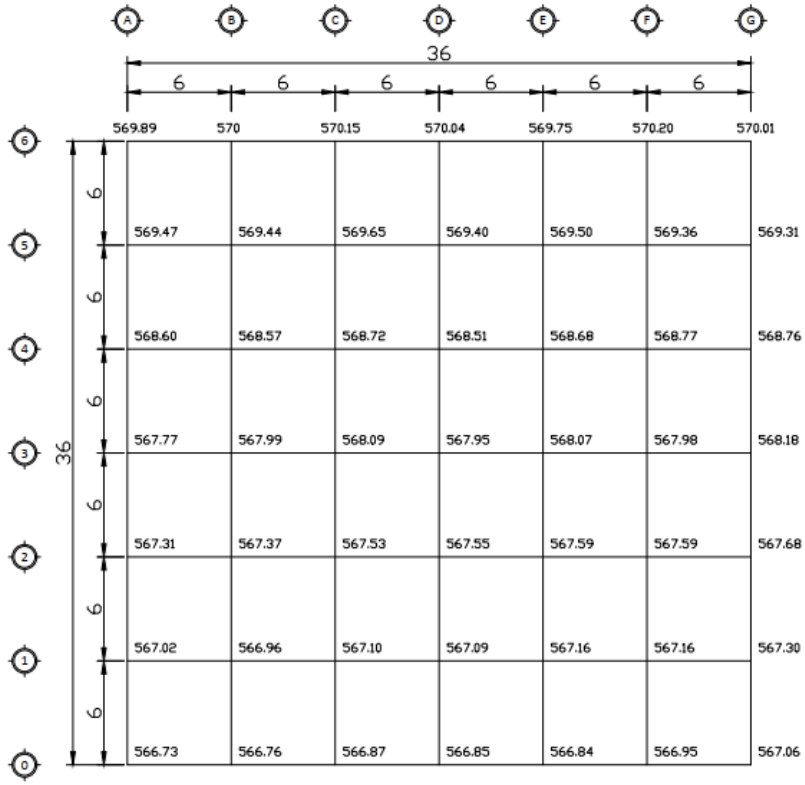
16	2007	3.11	7.75	12.51	54.52	233.58	156.26	94.59	367.97	238.88	503.05	52.5	17.77	**1742.49**
17	1999	9.83	16.42	10.83	28.73	169.81	230.54	147.84	194.12	594.75	348.42	79.35	4.17	**1834.81**
18	2008	10.42	26.3	6.76	24.35	308.12	214.52	199.09	234.39	377.59	466.36	10.2	21.29	**1899.39**
19	2011	6.92	5.77	9.24	42.35	307.68	245.9	305.53	295.17	183.09	457.53	41.75	66.37	**1967.3**
20	2010	27.03	20.25	9.72	230.55	143.88	336.12	337.24	333.48	502.81	167.24	49.94	22.84	**2181.1**
21	1998	2.4	0.35	12.17	4.63	98.87	171.2	170.67	254.72	378.76	1030.12	127.29	6.82	**2258**
Promedio mensual		**11.832**	**9.365**	**10.831**	**40.907**	**215.018**	**212.023**	**110.718**	**165.419**	**270.687**	**307.454**	**71.710**	**17.471**	**1443.44 mm/año**
Desviación estándar		**11.374**	**10.182**	**12.303**	**51.495**	**94.241**	**75.807**	**84.716**	**101.035**	**130.564**	**206.755**	**47.854**	**14.945**	**412.3956016**

Fuente: Elaboración propia

5.6. Anexo 6: Levantamiento topográfico en la Finca El Guanacaste

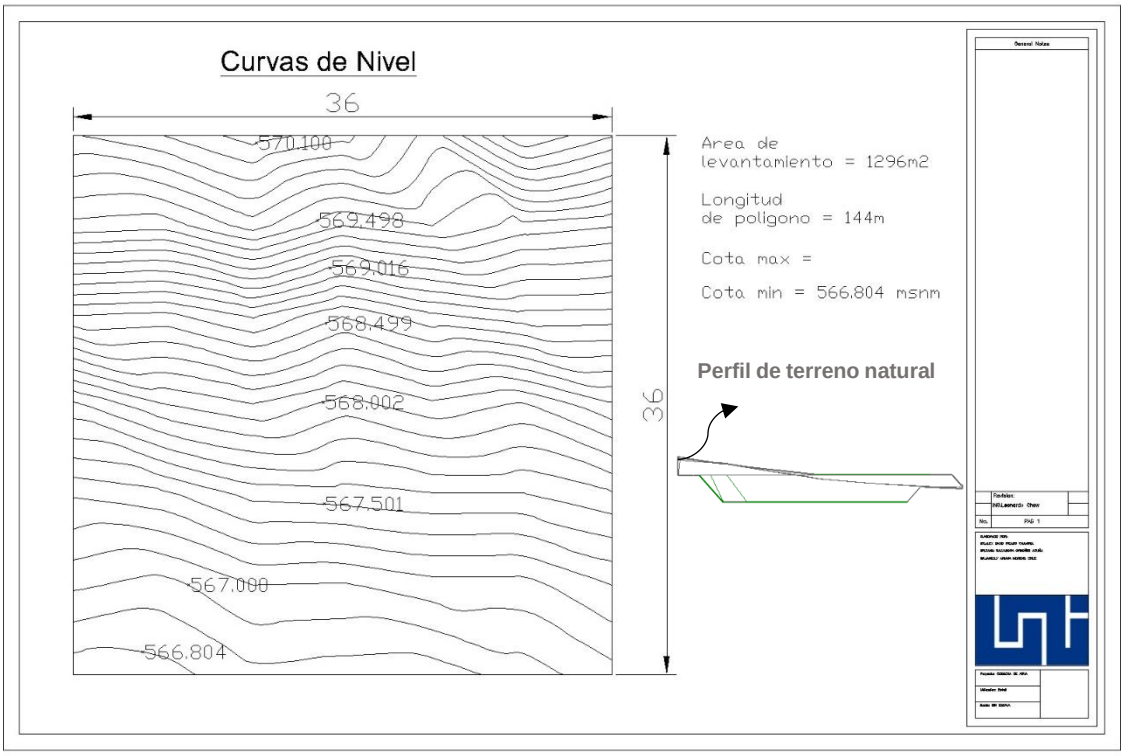
Fuente: Elaboración propia

5.7. Anexo 7: Plano de Elevaciones (método de la cuadricula)



Fuente: Elaboración propia

5.8. Anexo 8: Plano de Curvas de nivel y sección transversal

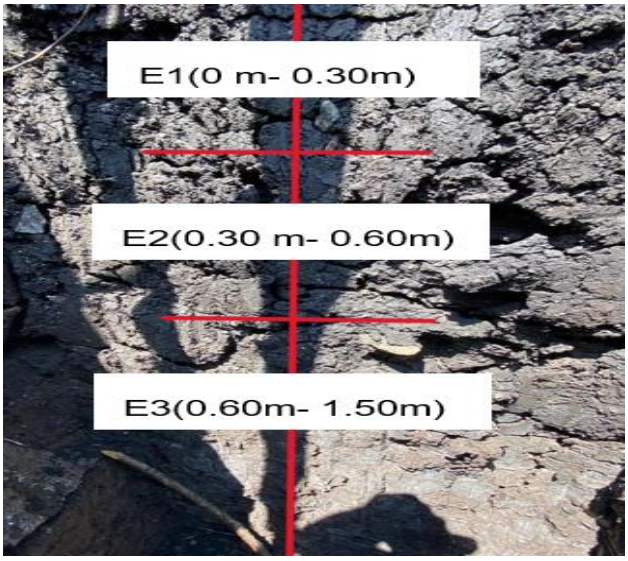


Fuente: Elaboración propia

5.9. Anexo 9: Ensayo Granulometría

Fuente: Elaboración propia

5.10. Anexo 10: Estratos tomados de la Calicata del sitio



Fuente: Elaboración propia

5.11. Anexo 11: Clasificación del Suelo

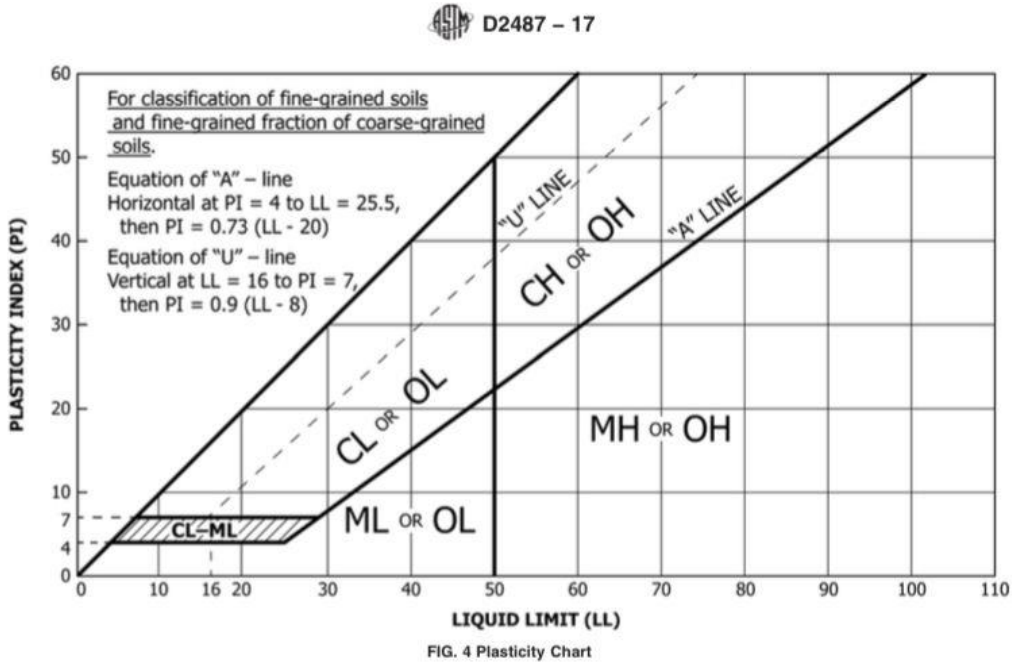


FIG. 4 Plasticity Chart

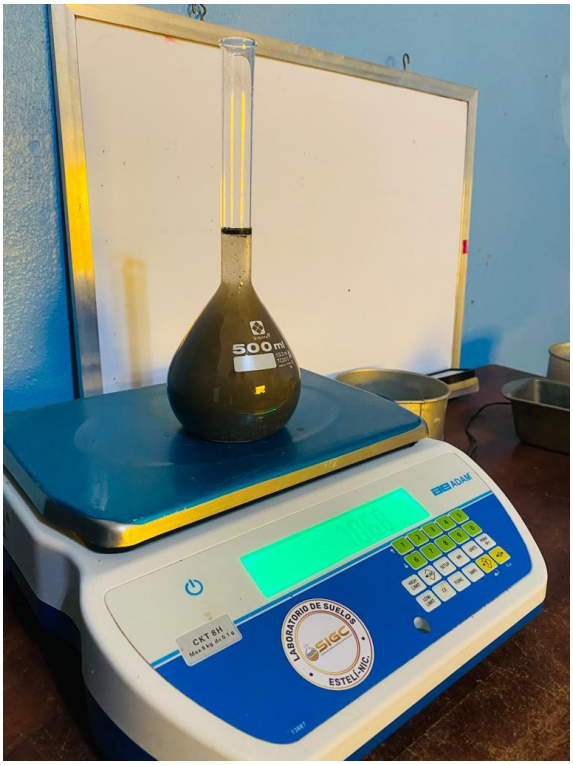
5.12. Anexo 12: Ensayo Limites de Consistencia de Atterberg

Fuente: Elaboración propia

5.13. Anexo 13: Ensayo Prueba Proctor Estándar

Fuente: Elaboración propia

5.14. Anexo 14: Ensayo Gravedad Especifica



Fuente: Elaboración propia

5.15. Anexo 15: Juego de planos

5.16. Anexo 16: Datos de INETER

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES

INETER

INTENSIDADES MÁXIMAS ANUALES DE PRECIPITACIÓN (mm).

ESTACIÓN :(SAN ISIDRO) **Latitud 12°54'48"**

Longitud 86°11'30"

CÓDIGO 069132 **Elevación 480 msnm.**

tipo AG.

Periodo :1971 - 2014

AÑOS	5	10	15	30	60	120	320	720
1971	124.8	102.6	99.6	75.0	38.0	19.7		
1972	124.8	124.8	111.2	80.6	44.2	26.3		
1973	159.6	141.6	121.6	81.4	52.7	44.6		
1974	120.0	100.2	98.8	75.0	46.3	19.0		
1975	182.4	136.2	113.2	76.4	46.0	38.4		
1976	122.4	104.4	76.8	69.8	55.7	34.2		
1977	100.4	78.6	68.8	40.4	27.1	8.8		
1978	123.6	79.7	78.8	49.8	26.8	16.7		
1979	88.8	65.4	56.8	44.8	35.3	21.6		
1980	175.2	159.0	124.0	106.6	57.8	31.5		
1981	117.6	117.6	96.8	89.2	54.3	29.8		
1982	154.8	108.6	97.2	62.4	37.3	31.5		
1983	120.0	81.0	66.4	45.2	26.1	15.2		
1984	163.2	109.8	80.8	54.2	37.9	24.2		
1985	120.0	115.2	84.8	63.6	51.8	28.1		
1986	168.0	83.4	63.2	42.6	22.7	10.1		

1987	120.0	117.6	105.6	84.4	51.5	26.7		
1988	114.0	79.2	63.2	40.4	24.0	12.7		
1989	130.8	124.8	112.0	70.0	49.6	27.0		
1990	120.0	90.0	66.0	42.0	21.5	11.0		
1991	168.0	120.0	100.0	54.0	28.1	14.5		
1992	106.8	82.8	70.8	50.2	48.3	27.4		
1993	220.8	118.2	98.0	64.2	34.1	23.1		
1994	178.8	119.4	107.6	69.8	43.1	21.7		
1995	216.0	123.6	118.2	96.0	67.0	39.1		
1996	151.2	118.2	96.8	63.6	40.0	20.9		
1997	177.6	118.2	86.8	55.8	29.9	15.3		
1998	117.6	99.0	72.8	52.6	28.0	21.4		
1999	117.6	96.0	81.6	73.8	48.0	27.4		
2000	108.0	67.8	65.2	45.0	29.3	15.2		
2001	120.0	117.6	116.8	77.0	39.5	25.7		
2002	222.0	114.0	113.2	91.2	56.3	28.9	5.8	
2003	115.2	105.6	84.0	59.8	36.3	6.8	-	
2004	147.6	103.8	82.7	51.0	16.7	4.8		
2005	127.2	115.2	92.8	56.4	29.6	15.7		
2006	127.2	118.2	106.2	60.2	40.4	22.2		
2007	108.0	90.0	76.0	24.8	14.6	4.3	1.3	
2008	127.2	114.0	80.8	71.0	37.9	1.4	8.4	
2009	175.2	127.2	92.8	70.0	63.2	35.9	1.0	
2010	175.2	100.2	94.4	59.0	31.1	21.3	6.2	5.2
2011	108.0	93.0	70.0	44.0	32.7	19.5	4.7	
2012	210.0	150.0	106.0	86.2	52.6	27.8	4	
2013	123.6	110.4	110.4	73.6	48.9	25.6	-	-
2014	136.8	69.0	54.0	38.0	16.4	5.7	-	-

5.17. Anexo 17: Demanda (Maíz, Frijol y Cítricos)

DEMANDA HÍDRICA MAIZ					
meses		Jun	Jul	Ago	Sep
PP 75% (mm)		123.205	47.81	141.75	381.355
Maíz	Area (m2)	**7000**	**7000**	**7000**	**7000**
	Kc	**1**	**0.7**	**1.2**	**1.2**
	ETc (mm)	108.83	72.53	125.12	111.50
	PP-Etc (mm)	**14.37**	**-24.72**	**16.63**	**269.85**
	R (mm)	14.37	0.00	16.63	23.00
	AR (mm)	0.00	-14.37	0.00	6.37
	ETR (mm)	108.83	62.18	125.12	111.50
	E (mm)	0.00	***0.00***	***0.00***	***263.49***
	D (mm)	0.00	-10.35	0.00	0.00
	Demanda (m3)	**0.00**	**-72.45**	**0.00**	**0.00**

DEMANDA HÍDRICA FRIJOL				
PP 75% (mm)		Jun	Jul	Ago
		123.205	47.81	141.75
Frijol	Area (m2)	**3500**	**3500**	**3500**
	Kc	**1**	**0.4**	**1.15**
	ETc (mm)	108.83	41.45	119.90
	PP-Etc (mm)	**14.37**	**6.36**	**21.85**
	R (mm)	14.37	20.73	23.00
	AR (mm)	0.00	6.36	2.27
	ETR (mm)	108.83	41.45	119.90
	E (mm)	0.00	***0.00***	***19.58***
	D (mm)	0.00	0.00	0.00
	Demanda (m3)	**0.00**	**0.00**	**0.00**

DEMANDA HÍDRICA CITRICO													
		May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
PP 75% (mm)		133.05	123.205	47.81	141.75	381.355	256.955	46.425	4.305	15.83	7.905	0.34	7.64
Crítrico	Area (m2)	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
	Kc	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
	ETc (mm)	110.50	76.18	72.53	72.99	65.04	57.51	48.68	51.98	60.60	70.95	104.33	129.77
	PP-Etc (mm)	22.55	47.02	-24.72	68.76	316.31	199.44	-2.25	-47.67	-44.77	-63.05	-103.99	-122.13
	R (mm)	22.55	23.00	0.00	23.00	23.00	23.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	AR (mm)	0.00	0.45	-23.00	0.00	0.00	0.00	20.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ETR (mm)	110.50	76.18	70.81	72.99	65.04	57.51	48.68	4.31	15.83	7.91	0.34	7.64
	E (mm)	0.00	46.57	0.00	45.76	316.31	199.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	D (mm)	0.00	0.00	-1.72	0.00	0.00	0.00	0.00	-47.67	-44.77	-63.05	-103.99	-122.13
	Demanda (m3)	0.00	0.00	-1.20	0.00	0.00	0.00	0.0	-33.37	-31.34	-44.13	-72.80	-85.49

5.18. Anexo 18: Balance hídrico InnerSoft

Capacidad de Campo (CDC): 23

☐ El suelo esta saturado al inicio del primer mes

Valores de la reserva para el inicio del año hidrologico

◉ Introducir % CDC ○ Introducir Valor Reserva

% respecto a CDC: 0 Valor absoluto: 0

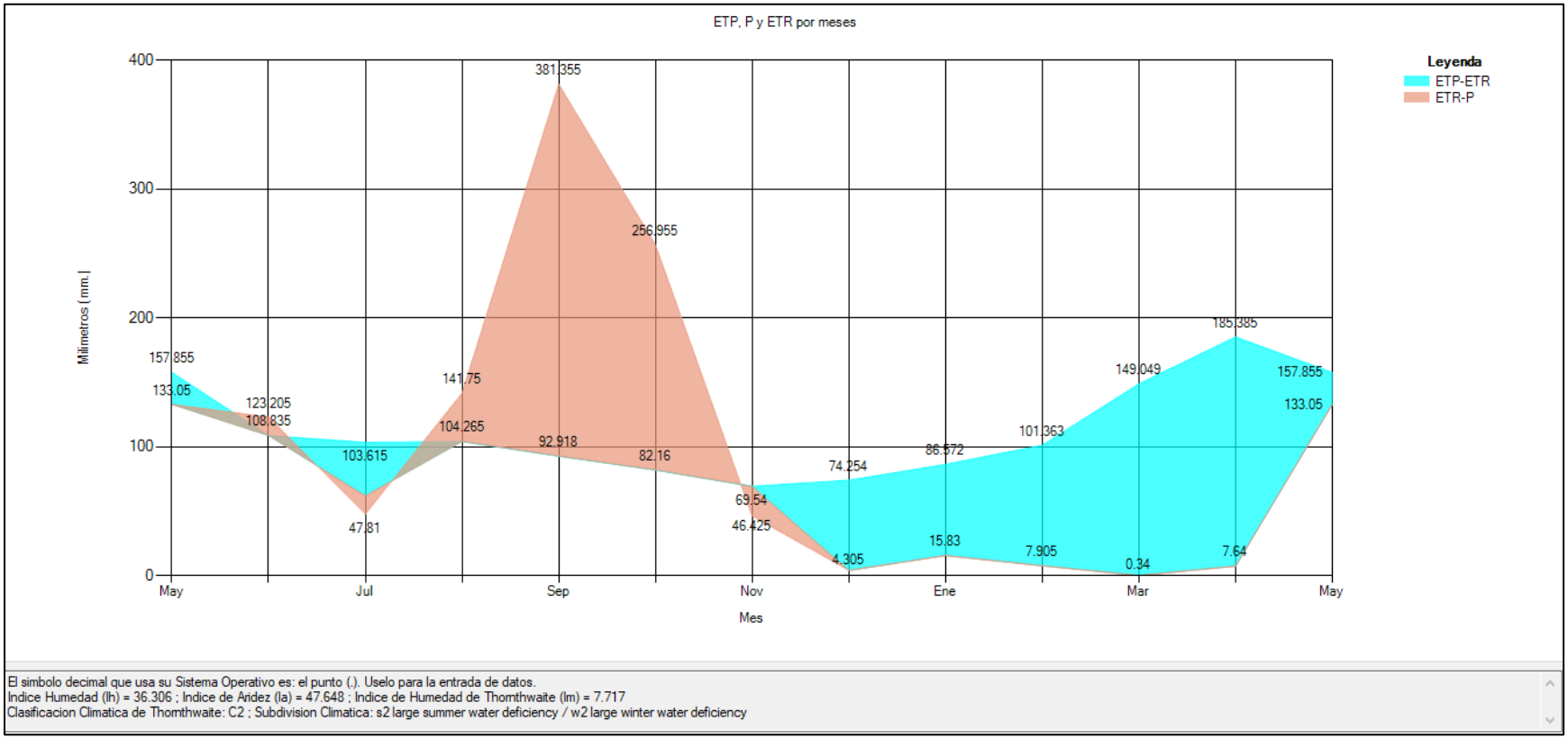
Primer Mes del Año Hidrologico: May

Introduzca datos o modifique solo las filas de P (precipitacion) y ETP (evapotranspiracion potencial)

		May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	TOTAL
	P	133.05	123.205	47.81	141.75	381.355	256.955	46.425	4.305	15.83	7.905	0.34	7.64	1166.570
▶	ETP	157.855	108.835	103.615	104.265	92.918	82.160	69.540	74.254	86.572	101.363	149.049	185.385	1315.811
	P-ETP	-24.805	14.370	-55.805	37.485	288.437	174.795	-23.115	-69.949	-70.742	-93.458	-148.709	-177.745	-149.241
	R	0	14.370	0	23	23	23	0	0	0	0	0	0	83.370
	AR	0	14.370	-14.370	23	0	0	-23	0	0	0	0	0	0.000
	ETR	133.05	108.835	62.180	104.265	92.918	82.160	69.425	4.305	15.83	7.905	0.34	7.64	688.853
	E	0	0	0	14.485	288.437	174.795	0	0	0	0	0	0	477.717
	D	-24.805	0	-41.435	0	0	0	-0.115	-69.949	-70.742	-93.458	-148.709	-177.745	-626.958

P: Precipitación, ETP: Evapotranspiración potencial o de referencia, R: Reserva, AR: Variación de la reserva, ETR: Evapotranspiración real, E: excedente o escorrentía, D: Déficit hídrico anual

5.19. Anexo 19: Balance hídrico del año hidrológico en la Finca



5.20. Anexo 20: Tablas de escurrimiento, área cultivada y volumen de escorrentía por cada parcela

Escurrimiento por cada parcela												
Escurrimiento (E)	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
E lote pastos o referencia (mm)	0.00	0.00	0.00	14.49	288.44	174.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E lote cítrico (mm)	0.00	46.57	0.00	45.76	316.31	199.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E lote frijoles (mm)		0.00	0.00	19.58								
E lote maíz (mm)		0.00	0.00	0.00	263.49							

Area cultivada por parcela												
Área de captación (m2)	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
	9800.00	9800.00	9800.00	9800.00	9800.00	9800.00	9800.00	9800.00	9800.00	9800.00	9800.00	9800.00
E lote pastos (m2)	9100.00	-1400.00	-1400.00	-1400.00	2100.00	9100.00	9100.00	9100.00	9100.00	9100.00	9100.00	9100.00
E lote cítrico (m2)	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00
E lote frijoles (m2)		3500.00	3500.00	3500.00								
E lote maíz (m2)		7000.00	7000.00	7000.00	7000.00							

Volumen de escorrentía por parcela												
Lotes de cultivos	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
E lote pastos (m3)				-20.28	605.72	1590.64						
E lote cítrico (m3)		32.60		32.04	221.42	139.61						
E lote frijoles (m3)				68.53								
E lote maíz (m3)					1844.40							
Volumen de escurrimiento microcuenca (m3)		32.60		80.28	2671.53	1730.25						

5.21. Anexo 21: Variaciones de Volúmenes Finales

Almacenamiento en reservorio y variaciones del volumen												
Reservorio semiexcavado (m3)	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**
Eto (mm)	157.86	108.83	103.62	104.26	92.92	82.16	69.54	74.25	86.57	101.36	149.05	185.38
Area del reservorio (m2)	535.12	535.12	535.12	535.12	535.12	535.12	535.12	535.12	535.12	535.12	535.12	535.12
Vi: Infiltración 0.1 mm/d (m3)	-12.84	-12.84	-12.84	-12.84	-12.84	-12.84	-12.84	-12.84	-12.84	-12.84	-12.84	-12.84
Evaporación del embalse (m3), vep	-84.47	-58.24	-55.45	-55.79	-49.72	-43.97	-37.21	-39.73	-46.33	-54.24	-79.76	-99.20
VE: Volumen de escurriemto todos lotes (m3)		***32.60***		***80.28***	***2671.53***	***1730.25***						
VB: Volumen brito, VB=VE-(Vi+Vep) (m3)	0.00	0.00	0.00	11.65	2608.97	1673.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volumen del Reservorio (m3)	618.49	479.32	367.74	379.39	1605.35	1605.35	1563.50	1472.95	1345.15	1212.79	1063.77	856.52
Vertedero (m3)					***1341.16***	***1632.94***						
Demanda hídrica (Cultivo+Ganado) (m3)	***-41.85***	***-40.50***	***-115.51***	***-41.85***	***-40.50***	***-41.85***	***-40.50***	***-75.22***	***-73.19***	***-81.93***	***-114.65***	***-125.99***
Variación del volumen Reservorio (m3)	479.32	367.74	183.94	337.54	1564.85	1563.50	1472.95	1345.15	1212.79	1063.77	856.52	618.49

5.22. Anexo 22: Galería de imágenes

Visita de Campo en Comunidad San Lorenzo

Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia