

**APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES PARA MINI-DISTRITO DE RIEGO
EN LA VEREDA "LABRANCITAS", EN PAZ DE ARIPORO, CASANARE.**

DANIELA ALEJANDRA ROMERO RUBIANO

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

BOGOTÁ

2017

**APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES PARA MINI-DISTRITO DE RIEGO
EN LA VEREDA "LABRANCITAS", EN PAZ DE ARIPORO, CASANARE.**

DANIELA ALEJANDRA ROMERO RUBIANO

COD. 2135076

Trabajo de grado

DIRECTOR

**José Luis Díaz Arévalo. Ingeniero Civil.
Doctor ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

BOGOTÁ

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

BOGOTA, 08/08/2017

Espacio dedicatoria

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

El municipio de Paz de Ariporo, Casanare, se encuentra ubicado a una hora de Yopal. Conocido por su alta actividad agrícola, en especial por la explotación ganadera extensiva en las sabanas abiertas, que se ha convertido en el principal factor de desarrollo económico, posicionando al municipio como el tercer municipio ganadero a nivel nacional con 365.000 cabezas de ganado.

En este trabajo se realiza un estudio de pre factibilidad para un mini-distrito de riego en la vereda LABRANCITAS, del municipio de Paz de Ariporo. Dicha estructura busca mitigar la sequía causada por el cambio climático en esta zona, y así contribuir al óptimo uso del recurso agua para satisfacer las necesidades agroeconómicas y sociales de los usuarios. En el proceso de análisis se tuvieron en cuenta aspectos naturales, hídricos y teóricos para así desarrollar una estructura que cumpla con las necesidades adecuadas.

Se emplearon dos herramientas las cuales proporcionan resultados basados en los datos obtenidos en las fuentes de información. La primera, fue el software CROPWAT, utilizado para hacer la evaluación hidroclimática con las características propias del cultivo, de modo que se pudiese obtener la lámina de agua requerida para el sistema. La segunda, fue el software EPANET, empleado para modelar y analizar hidráulicamente el sistema. Ambos programas son diseñados por medio de parámetros estándar los cuales generan confiabilidad en sus resultados.

A partir del análisis realizado en CROPWAT, se evidenció que la necesidad de riego en el cultivo es para un periodo de ocho meses al año: de Septiembre a abril. Además, a partir de las propiedades del cultivo y el balance hídrico, se obtuvo el requerimiento de agua mensual para que a través de EPANET se pudiese obtener una estructura hidráulica válida con la que se pueda abastecer el cultivo pretendido. Se logra concluir que Enero es el mes con mayor requerimiento con lámina de 185,5 mm con necesidad de 10 horas en total de riego para cubrir las 50 hectáreas planteadas.

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	11
2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	12
3.	ANTECEDENTES.....	13
4.	JUSTIFICACIÓN	14
5.	OBJETIVOS.....	15
5.1.	Objetivo general.....	15
5.2.	Objetivos específicos.....	15
6.	MARCO REFERENCIAL	16
6.1.	El distrito de riego y su importancia para el sector agrícola.....	16
6.2.	Mini-distrito de riego	17
6.2.1.	Componentes de un sistema de riego	17
7.	MARCO LEGAL.....	18
8.	METODOLOGÍA	19
9.	ASPECTOS GENERALES	20
9.1.	Localización	20
9.2.	Tipo de cultivo.....	21
9.3.	Software CROPWAT	23
10.	INFORMACIÓN HIDRO CLIMÁTICA.....	24
10.1.	Características climatológicas:.....	25
11.	APLICACIÓN CROPWAT.....	33
11.1.	Superficie de Cultivo:	33
11.2.	Precipitación efectiva.....	35
11.3.	Especificaciones del suelo para CROPWAT	37
12.	BALANCE HÍDRICO:.....	38
13.	DIAGNÓSTICO DE AGUA REQUERIDA	41
14.	Fuente hídrica	42
15.	TIPO DE RIEGO	45
15.1.	Componente de riego	45
16.	TIPO DE CAPTACIÓN:	49
17.	DISEÑO	51
17.1.	Disposición de cañones.....	51

17.2.	Duración de riego.....	51
18.	APLICACIÓN EPANET	53
18.1.	Modelación	53
19.	PRESUPUESTO	59
20.	GUIA RAPIDA DE USO PARA EL USO DEL RIEGO	60
21.	RECOMENDACIONES.....	63
22.	CONCLUSIONES	64
23.	Bibliografía	65

Índice de Tablas

Tabla 1.	Análisis de variables hidro climáticas.....	24
Tabla 2.	Evapotranspiración de Referencia	34
Tabla 3.	Evapotranspiración Efectiva	36
Tabla 4.	Propiedades del suelo	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 5.	Cálculo de Requerimiento Hídrico de Riego.....	40
Tabla 6.	Requerimientos del Sistema.....	41
Tabla 7.	Caudales Río Muese y Fuente Hídrica Tomada	44
Tabla 8.	Caudal Cañón Tipo Nelson.....	46
Tabla 9.	Cañón Tipo Nelson.....	47
Tabla 10.	Cálculo Duración de Riego Diario	52
Tabla 11.	Asignación de Horario de Riego	53
Tabla 12.	¡Error! Marcador no definido.

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Brillo Solar	25
Gráfica 2. Evaporación	26
Gráfica 3. Humedad Relativa	26
Gráfica 4. Nubosidad	27
Gráfica 5. Punto de Rocío.....	27
Gráfica 6. Precipitación	28
Gráfica 7. Temperaturas Máximas	29
Gráfica 8. Temperaturas Mínimas	29
Gráfica 9. Tensión de Vapor	30
Gráfica 10. Velocidad del Viento.....	30
Gráfica 11. Termómetro Húmedo.....	31
Gráfica 12. Recorrido del Viento	32
Gráfica 13. Evapotranspiración de Referencia.....	34
Gráfica 14. Precipitación Efectiva	37
Gráfica 15. ETC y Requerimiento Hídrico	¡Error! Marcador no definido.
Gráfica 16. Sección de la bomba escogida.....	48
Gráfica 17. Perfil Longitudinal Demanda Base.....	58

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1.....	19
Ilustración 2.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 3. Mapa Político de Colombia	20
Ilustración 4. Mapa Político de Casanare.....	21
Ilustración 5. Mapa Político de Paz de Ariporo.....	21
Ilustración 6. Curva coeficiente de cultivo de pasture Perennial	22
Ilustración 7.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 8. Esquema de balance hídrico	38
Ilustración 9. Fotografía de fuente hídrica.....	42
Ilustración 10. Plano de Ubicación de la Vereda Labrancitas	42
Ilustración 11. Esquema de riego por aspersión.....	45
Ilustración 12. Cañón Tipo Nelson	46
Ilustración 13. Tracto bomba Marani Modelo MAT80	47
Ilustración 14.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 15. Disposición de Cañones.....	51
Ilustración 16. Modelo Epanet.....	53
Ilustración 17. Turno 1	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 18. Turno 1	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 19. Turno 2	¡Error! Marcador no definido.

Ilustración 20. Turno 2	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 21. Turno 3	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 22. Turno 3	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 23. Turno 4	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 24. Turno 4	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 25. Turno 5	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 26. Turno 5	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 27. Turno 6	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 28. Turno 6	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 29. Turno 7	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 30. Turno 7	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 31. Turno 8	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 32. Turno 8	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 33. Turno 9	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 34. Turno 9	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 35. Turno 10	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 36. Turno 10	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 37. Turno 11	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 38. Turno 11	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 39. Turno 12	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 40. Turno 12	¡Error! Marcador no definido.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales fines de la ingeniería civil trabaja en satisfacer las necesidades estructurales de la comunidad por medio de implementación de nuevas tecnologías y optimización de los recursos naturales.

En un país en desarrollo como lo es Colombia, se busca el mejoramiento agrónomo para seguir en la evolución de la productividad y del desarrollo rural. Por lo tanto, el presente trabajo de grado radica su fin en regular y sacar mejor provecho del agua para cultivos en el sector del Casanare, mediante un mini-distrito de riego el cual puede llegar a favorecer a muchas familias que viven de cultivos y de la ganadería.

En este caso, se enfoca el estudio a cultivos de pastos para alimentación ganadera, ya que Paz de Ariporo es un municipio conocido por su economía altamente dependiente de producción ganadera extensiva, factor que se ha visto afectado por el cambio climático.

Es de resaltar que la economía de este país puede llegar a mostrar un cambio favorable si se mejora la investigación e inversión en tecnologías para el campo.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El sector de Paz de Ariporo (Casanare), afectado por una intensa sequía en época de verano desde 2014, evidencia cómo la intensa actividad de perforación de pozos exploratorios y de producción, la sobreutilización del recurso agua en algunos lugares y actividades agropecuarias que modifican la cobertura vegetal y la red de drenaje natural, afectan de forma importante la productividad y el equilibrio hídrico en la zona.

Como recurso para esta problemática, se puede evaluar la solución por medio de los distritos de riego, los cuales son áreas geográficas donde se proporciona el servicio de riego mediante obras de infraestructura hidro-agrícola; este sistema de irrigación artificial tiene como función principal surtir agua a zonas en las cuales el recurso hídrico se convierte necesario para el desarrollo agrícola.

Estas estructuras basadas en el aprovechamiento de aguas superficiales buscan controlar el uso de agua para así, la población no tenga que someterse más a sequías que afectan la economía del municipio.

3. ANTECEDENTES

El gran incremento de población mundial hace evidente el crecimiento de la demanda de alimentos en las diferentes regiones; por lo cual, el sector agropecuario debe crear estrategias que mejoren los rendimientos productivos a bajo costo, para así generar rentabilidad y competitividad.

Para poder satisfacer las necesidades que requiere el sostenimiento agrícola para la producción de alimentos, es necesario resaltar que el recurso agua es un es una de las variables esenciales y primordiales tanto para el desarrollo vegetativo y productivo de cultivos, como para la producción ganadera. Una alternativa para responder al óptimo suministro del recurso para fines agropecuarios es la construcción de distritos de riego y, en las zonas que se requiere un control de las inundaciones y condiciones atípicas de precipitación, los distritos de drenaje. (Orjuela, 2013)

Para el desarrollo integral agrícola y rural en Colombia, la importancia de los sistemas de riego y drenaje ha sido base desde el Siglo XX, en el momento en que los escenarios topográficos naturales, se ven afectados permanentemente para el uso de estos suelos para la agricultura y el cultivo de especies. En la Actualidad Colombia cuenta con alrededor de 950 mil hectáreas de agricultura irrigada, ubicadas en su mayor parte en los valles del Magdalena, Cauca, Tolima, y el nordeste cerca de la frontera con Venezuela a lo largo de la Costa Caribe; aproximadamente el 90 por ciento de la superficie agrícola se riega mediante sistemas por gravedad. (CAR, 2010)

Para el 2014, la entidad encargada de la adecuación de tierras en Colombia era el INCODER, el cual planteo metas a 10 años donde se hablaba de: (INCODER)

- Impulsar un 30% el área actual bajo riego y drenaje existente en el país.
- Finalizar y poner en operación los tres distritos de riego estratégicos que están en construcción: Ranchería, Triángulo del Tolima y Tesalia-Paicol.
- Liderar la implementación de nuevos distritos de riego de mediana y pequeña escala.
- Actualizar y fortalecer la normatividad de adecuación de tierras.
- Diseñar y ejecutar estrategias de alianzas público-privadas.
- Desarrollar servicios complementarios. - Atender los desafíos del cambio climático.

4. JUSTIFICACIÓN

La economía del municipio de Paz de Ariporo en su mayoría es agrícola y ganadera, lamentablemente debido al cambio climática se ha evidenciado una intensa sequía que conlleva a afectar la producción agrícola.

Este proyecto se basa en un distrito de riego el cual es un área espacial que proporciona el servicio de riego mediante obras de infraestructura hidro-agrícola, que consta de una serie de conducciones que se requieren para distribuir el agua de las fuentes de abastecimiento o derivación a todos los puntos de la zona regable.

Con el propósito de mejorar y obtener una buena manufactura de los cultivos, se plantea el aprovechamiento de aguas superficiales para el riego de los cultivos en la vereda LA BRANCITAS, ya que este les permite mejorar sus condiciones de producción, a fin de lograr cumplir con la demanda y alto valor agregado, asegurando la producción y presentando mejora en sus ingresos económicos.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Plantear un distrito de riego para Paz de Ariporo Casanare, el cual permite satisfacer las necesidades de la comunidad para el desarrollo de sus actividades agrícolas.

5.2. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico hidroclimático de la zona.
- Estudiar la fuente de aguas superficiales en este sector.
- Determinar la demanda hidráulica requerida para el riego.
- Proponer la estructura adecuada para beneficios de todos.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1. El distrito de riego y su importancia para el sector agrícola

El agua es un recurso primordial por su variedad de usos, para el consumo directo por parte del hombre, los animales y las plantas; la agricultura, la industria, el transporte y la energía. Sin embargo, se necesita de un aprovechamiento óptimo, a causa de su escasez en algunas zonas del país.

El 97% del agua en el planeta Tierra es salada, la cual no es apropiada para la mayoría de los usos. Solo el 3% es agua dulce, distribuida en ríos, lagos, acuíferos o congelada en mantos de hielo. Solamente un 0,4% de ella es de fácil acceso para su consumo (Agua para la alimentación – una cuestión de supervivencia , 2006)

A lo largo del tiempo los productores han tomado conciencia sobre la relevancia que tiene en sus cultivos el uso racional del agua de riego, es así como en este caso, los agricultores han evidenciado que la forma de regar puede generarles mejor calidad en las cosechas y mayores ingresos, teniendo en cuenta que el agua es un recurso cada vez más escaso, por lo que se debe hacer el mejor uso posible.

Uno de los casos donde se hace evidente este fenómeno es el de la manufactura de alimentos el cual exige enormes cantidades de agua, necesitándose aproximadamente 3.500 litros de agua para la generación de los alimentos base que se necesitan diariamente para una persona. (biotecnología, 2003) El agua necesaria para la producción de alimentos varía según el clima, por lo tanto es de resaltar la importancia de la agricultura en el desafío de lograr que el agua disponible cubra las necesidades de un número de usuarios creciente.

Colombia aporta menos del 3% del área de tierra irrigada en América Latina, ocupando el sexto lugar entre los países suramericanos, con un 12,5% de tierras irrigadas sobre las tierras cultivadas totales. El área aumentó rápidamente hasta finales de los años 60, pero el crecimiento cayó considerablemente durante las dos décadas pasadas. Durante el período 1990 - 2000 el sector público concentró sus recursos en la rehabilitación, la terminación y la ampliación de los distritos existentes de riego. (INCODER)

El grado de importancia del riego en la agricultura es relevante y cumple un papel fundamental a la hora de hacer un buen uso del recurso hídrico, mejorando la eficiencia de aplicación y promoviendo una mayor producción. Es indispensable continuar con las implementaciones de sistemas de riego como: goteo, micro-aspersión, aspersión y pivotes. Igualmente, realizar una buena

adecuación de tierras y hacer un buen uso de las labores agrícolas, que son importantes para lograr una agricultura sostenible.

6.2. Mini-distrito de riego

Es una infraestructura física compuesta por pequeñas obras de ingeniería, cuya función es dotar con riegos superficies que no excedan las 500 ha. Estas obras se encuentran ubicadas en áreas urbanas y periurbanas de escasos recursos económicos donde predominan las actividades productivas a pequeña escala (MAPFRE, 2003); al mismo tiempo, son una infraestructura organizacional que, por medio de la administración, operación y mantenimiento, se encarga del manejo del flujo de agua a través de la red de riego y drenaje. Las dos infraestructuras hacen parte de un sistema sostenible de suministro de agua para las actividades agrícolas, que involucran tres elementos importantes: Comunidad, Ambiente y Ciencia & Tecnología.

6.2.1. Componentes de un sistema de riego

Los sistemas de riego están conformados generalmente por tres características de obras: captación, de conducción y de distribución.

1. Captación: Se realiza mediante la perforación de pozos provistos de sistemas de bombeo (eléctricos o Diesel) para extraer los caudales necesarios.
2. Conducción: Es un sistema que permite transportar el agua por canales o tuberías, hasta la red de canales secundarios o terciarios y de ellos a los predios. Los sistemas de conducción y distribución incluyen la red de canales o tuberías, junto con sus obras de arte tales como: sifones, túneles, puentes, válvulas de corte, válvulas de purga, cámaras de quiebre, etc.

7. MARCO LEGAL

El congreso de Colombia decretó la Ley 41 de 1993 por la cual se organiza el subsector de adecuación de tierras y se establecen sus funciones. Esta tiene por objeto regular la construcción de obras de adecuación de tierras, con el fin de mejorar y hacer más productivas las actividades agropecuarias, velando por la defensa y conservación de las cuencas hidrográficas. De acuerdo con la Ley 41 de 1993 del capítulo I, prevalecen los siguientes artículos:

Artículo 2. Concesiones de agua: La autoridad administradora de las obras de adecuación de tierras, será la encargada de obtener las concesiones de aguas superficiales y subterráneas correspondientes para el aprovechamiento de éstas en beneficio colectivo o individual dentro de un área específica. Corresponderá a la entidad administradora de DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE UN MINI-DISTRITO DE RIEGO PARA LOS CORREGIMIENTOS LA PALMA Y TRES PUERTAS, MUNICIPIO DE RESTREPO (V) 21 cada distrito de riego la función de conceder el derecho de uso de aguas superficiales y subterráneas en el área de los distritos de adecuación de tierras.

Artículo 3. Adecuación de tierras-concepto: Para los fines de la presente Ley se entiende por adecuación de tierras, la construcción de obras de infraestructura destinadas a dotar un área determinada con riego, drenaje o protección contra inundaciones, con el propósito de aumentar la productividad del sector agropecuario. La adecuación de tierras es un servicio público.

Artículo 4. Distrito de adecuación de tierras-concepto: La delimitación del área de influencia de obras de infraestructura destinadas a dotar un área determinada con riego, drenaje o protección contra inundaciones; para los fines de gestión y manejo, se organizará en unidades de explotación agropecuaria bajo el nombre de Distritos de Adecuación de Tierras.

Artículo 5. Usuarios del distrito: Es usuario de un Distrito de Adecuación de Tierras toda persona natural o jurídica que explote en calidad de dueño, tenedor o poseedor, acreditado con justo título, un predio en el área de dicho Distrito. En tal virtud, debe someterse a las normas legales o reglamentarias que regulen la utilización de los servicios, el manejo y conservación de las obras, y la protección y defensa de los recursos naturales.

8. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto, lo principal fue desarrollar el reconocimiento de campo y recolección de información necesaria. Así mismo, se debió analizar con mayor profundidad las condiciones climáticas, incluyendo precipitaciones, periodos de sequía y fuentes superficiales de agua usables por el proyecto para aprovechamiento de los terrenos.

Dado que el sistema de riego propuesto es por aspersión, se procedió a definir e investigar conceptos y conocimientos acerca del funcionamiento de estos, estableciendo igualmente los componentes necesarios, las ventajas y desventajas que pueda tener la implementación de este tipo de sistemas. Complementariamente, se propuso establecer un punto de comparación con la actualidad de los proyectos de este tipo en el país, y el modo en que estos puedan ser de inspiración o puedan alimentar en materia técnica y económica el desarrollo del presente proyecto.

Por último, desarrolló una evaluación técnica de pre diseños del modelo, para establecer recomendaciones, sugerir complementos y definir las probabilidades de éxito de la implementación del mini distrito de riego.

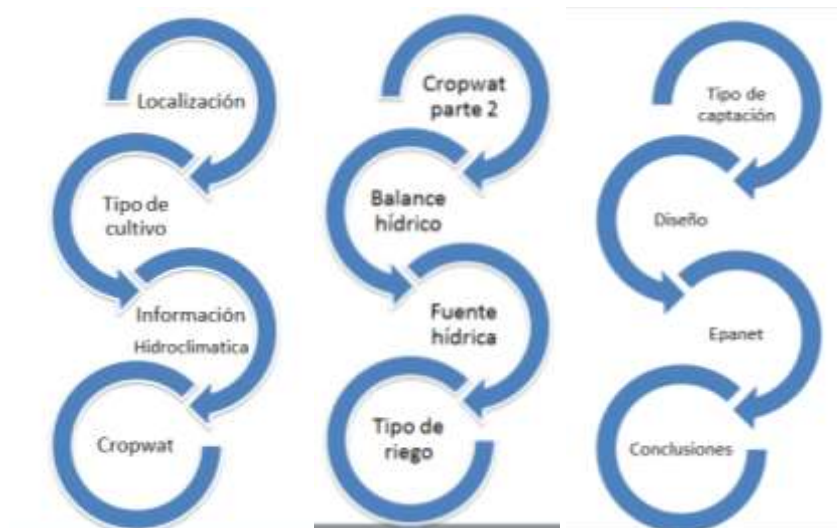


Ilustración 1. Esquemas metodológicos.

Fuente: Elaboración Propia

9. ASPECTOS GENERALES

9.1. Localización

El proyecto tiene ubicación en el departamento de Casanare, en la vereda con nombre Labrancitas, donde se plantea un distrito de riego el cual busca satisfacer el requerimiento hídrico de un cultivo de gramíneas de rotación.

El desarrollo de distrito de riego toma lugar en el municipio de Paz de Ariporo Casanare, ubicado en las coordenadas 5°52'52"N 71°53'30"O, siendo el municipio más grande con extensión de 13793 km², altitud de la cabecera municipal de 340 m.s.n.m y temperatura media de 28º C. La economía del municipio se basa en la producción ganadera, agrícola y en la explotación petrolera, destacando que la ganadería es la principal actividad económica de la población generando tanto ingresos como empleos.

En Paz de Ariporo se encuentra ubicada la vereda Labrancitas, lugar donde se plantea el pre-diseño del minidistrito de riego, el cual se concibe para dar servicio a una extensión de 50 hectáreas como ejercicio académico.



Ilustración 2. Mapa Político de Colombia

Fuente: Elaboración Propia.

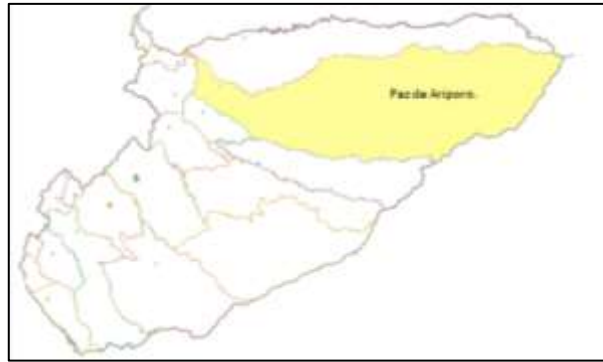


Ilustración 3. Mapa Político de Casanare

Fuente: Elaboración Propia.

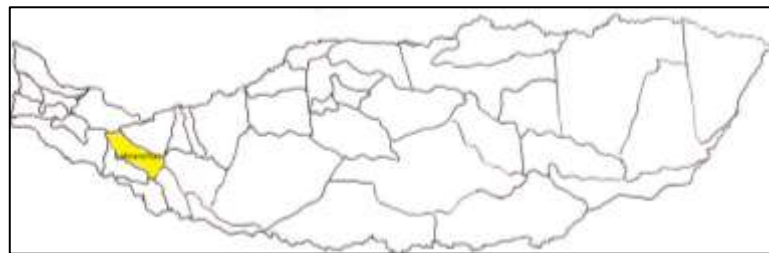


Ilustración 4. Mapa Político de Paz de Ariporo

Fuente: Elaboración Propia.

9.2. Tipo de cultivo

La mayor evolución de los pastos se ha efectuado a partir del pastoreo de los animales, por lo cual en este trabajo se escogió un tipo de cultivo de pastos con nombre *Pasture Perennial*, esta clasificación comprende las gramíneas y las leguminosas. Estos tipos de pastos se trabajan con duración de riego de poco menos de un año debido a que no son pastos de corte, en cambio, son cultivos de extensión y rotación para proveer su productiva adecuada. Así pues, se desarrolló el proyecto bajo la propuesta de regar gramíneas, ya que comprenden aproximadamente 75% de las plantas forrajeras, las cuales aceptan alturas menores a 1000 msnm, temperaturas mayores a 25°C y resisten suelos ácidos característicos de la región.

9.2.1. Coeficiente de cultivo (kc):

Este se compone de las diferencias que hay en la evaporación del suelo y en la tasa de transpiración del cultivo, entre el cultivo y la superficie del pasto de referencia. (Richard G. Allen, 2006). Es de aclarar que la evaporación en el suelo

puede cambiar diariamente debido a la lluvia o el riego, el coeficiente único del cultivo es solamente una expresión de los efectos promedios en el tiempo (varios días), de la evapotranspiración del cultivo.

Durante el crecimiento del cultivo, la variación del coeficiente del cultivo K_c expresa los cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo. Esta variación del coeficiente K_c se representa por una curva del coeficiente del cultivo. Para poder construir la curva del coeficiente del cultivo son necesarios tres valores de K_c , cada uno correspondiente a una etapa.

Fase inicial:	Fase de desarrollo:	Fase media:	Fase final:
Desde la siembra hasta que existe un 10% de cobertura del suelo.	Desde el 10% de cobertura hasta la cobertura máxima, lo cual sucede habitualmente en el momento de la floración.	Entre la floración y el inicio de la madurez, cuando las hojas comienzan a amarillear.	Desde la madurez hasta volver a sembrar.

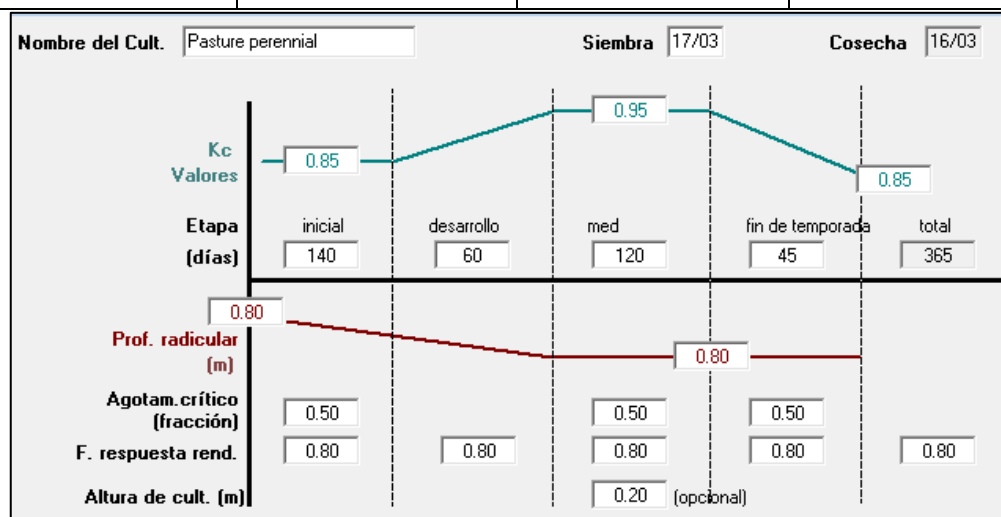


Ilustración 5. Curva coeficiente de cultivo de pasture Perennial

Fuente: Elaboración Propia

El valor de K_c irá variando a lo largo de las fases tal y como muestra la línea a trazos de la Figura anterior. No obstante, se suele utilizar una curva aproximada de trazos rectos similar a la línea continua de la misma figura. Para construir la curva de un cultivo anual se realiza el siguiente procedimiento:

- Dividimos el ciclo de cultivo en las cuatro fases, para lo que se puede consultar la tabla de fases y coeficientes de cultivo en este caso se escoge la establecida por la Organización de las Naciones Unidas para la

Alimentación y la Agricultura (FAO). Existen ciclos de diferentes longitudes de tiempo, por lo tanto, se debe elegir el más cercano a las condiciones locales del proyecto. En este caso 140, 60, 120 y 45 días.

- Una vez que contamos con la longitud en días de las diferentes fases del cultivo, necesitamos los tres valores de KC que nos sirven para dibujar la curva aproximada, es decir, los valores KC inicial (0.85), KC media (0.95) y KC final (0.85).
- Una vez que se cuenta con la duración de las fases del cultivo y los valores de KC se puede dibujar la curva. Durante las fases inicial y media se dibujan líneas horizontales con los valores de KC inicial y KC medio.

9.3. Software CROPWAT

Cropwat es un programa informático de la FAO para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos, también llamado diseño agronómico de riego. Consiste en calcular los turnos, caudales y tiempos de riego basándose en las necesidades de agua del cultivo, que vienen determinados por las variables del tipo de suelo, la precipitación, el brillo solar, clima y cultivo.

Cuando se disponen de datos locales, estos archivos de datos se pueden modificar fácilmente o se pueden crear otros nuevos. Así mismo, si no se disponen de datos climáticos locales, éstos se pueden obtener para más de 5.000 estaciones en todo el mundo de CLIMWAT, la base de datos climática asociada. El desarrollo de los programas de riego en CROPWAT 8.0 se basa en un balance diario suelo-agua utilizando varias opciones definidas por el usuario para las condiciones de suministro de agua y de manejo de riego. El régimen de abastecimiento de agua se calcula de acuerdo con el patrón de cultivo definido por el usuario, que puede incluir hasta 20 cultivos. (Trezza)

Este programa utiliza el método de Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración de los cultivos (ET). Los valores de ET son utilizados posteriormente para estimar los requerimientos de agua de los cultivos y el calendario de riego.

Uno de los mayores atributos de la fórmula Penman-Monteith es que permite estimar la evapotranspiración de referencia, E_{To} , en función de los siguientes elementos meteorológicos: radiación solar neta, temperatura del aire, velocidad del viento y tensión de vapor del agua.

Para el ingreso de datos en Cropwat se utilizan las guías de la FAO, quienes son los creadores del programa.

10. INFORMACIÓN HIDRO CLIMÁTICA

Los datos a continuación fueron tomados de la estación del IDEAM 36015010 de nombre Paz de Ariporo, ubicada en la cabecera municipal de Paz de Ariporo, de tipo climatología principal. La siguiente información permitirá un desarrollo adecuado del proyecto puesto que para mayor practicidad los datos establecidos son promedios de datos mensuales durante 20 años.

En el siguiente cuadro se presentan los promedios de cada variable climatológica, obtenidos de los datos totales de la estación mencionada. Los datos están acotados por mes desde el año 1996 al 2016, y a partir de ello, se realiza un análisis resaltando en qué época de los años están los valores relevantes de cada variable.

VARIABLE	VALOR PROMEDIO	ANÁLISIS
Brillo solar	182,73 Hrs/Mes	Abril es el mes de menos horas de brillo solar.
Evaporación	173,43 mm/mes	Junio tiene menor evaporación y Febrero es el mes de mayor evaporación.
Humedad relativa	74%	Mayor en Junio 80%.
Nubosidad	4,8 mm Octas	En abril se encuentra la mayor nubosidad donde llega generalmente a 6 Octas
Punto de rocío	21,6 Oc	Febrero es el mes con menor punto de rocío 19.7 Oc
Precipitación	163,4 mm promedio multianual	Enero 11,3 mm y Mayo con 289 mm
		Comportamiento bimodal, dos periodos lluviosos y dos secos.
Temperatura máxima	34°C	En el mes de Marzo se pueden llegar a alcanzar temperaturas de 36°C
Temperatura mínima	27°C	
Tensión de vapor	26 Mb	De enero a Marzo se presenta tensión del viento de 23Mb
Velocidad del viento	3.4m/s	m/s
Termómetro Húmedo	23,3oC	Comportamiento constante.
Recorrido del viento	4264,25 Km	De Junio a Septiembre se presentan velocidades alrededor de 3000 Km

Tabla 1. Análisis de variables hidro climáticas

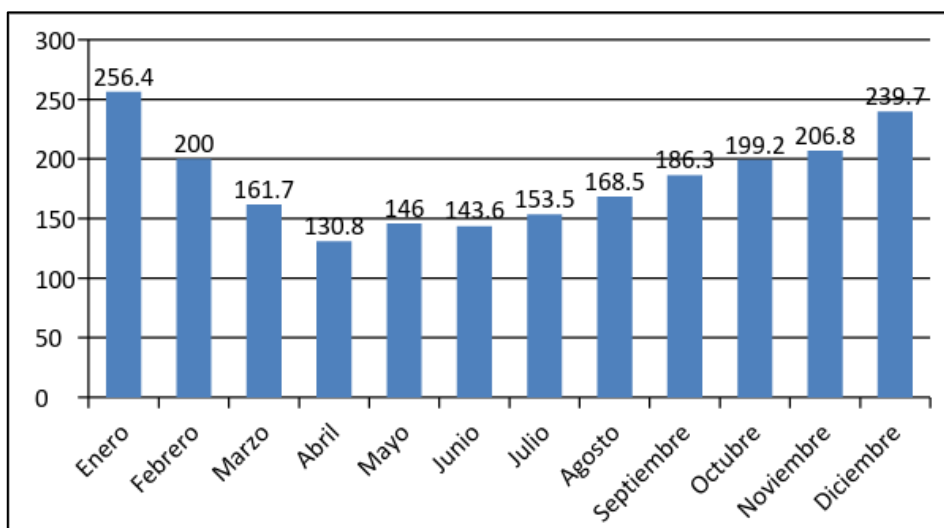
Fuente: Elaboración Propia.

10.1. Características climatológicas:

10.1.1. Brillo solar:

También llamado heliofanía en horas, significa el tiempo total durante el cual incide luz solar directa sobre alguna localidad, entre el alba y el atardecer.

Como es evidente los meses de enero y diciembre cuenta con mayor presencia de brillo solar, al contrario a mitad de año se presenta el tiempo de menor brillo solar.



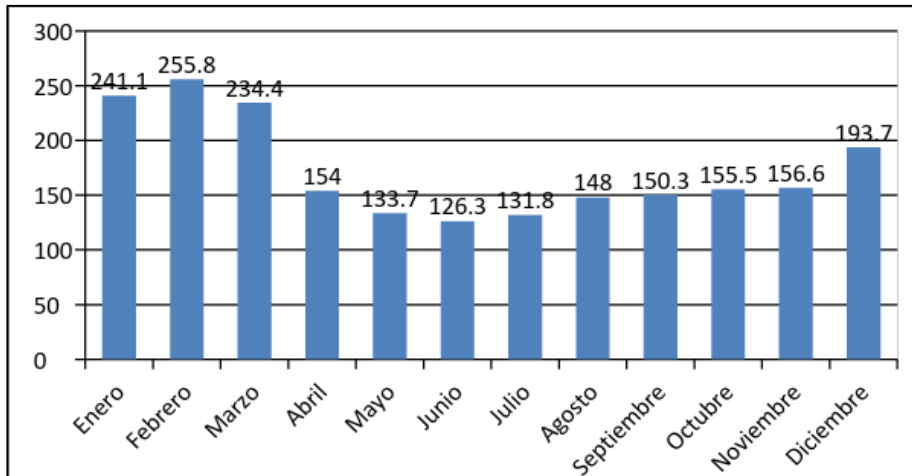
Gráfica 1. Brillo Solar

Fuente: Elaboración Propia

10.1.2. Evaporación:

Es el proceso físico donde el agua de una superficie húmeda, o de una superficie de agua libre, es introducida en el aire en forma de vapor a una temperatura por debajo del punto de ebullición.

Como junio no presenta temperaturas altas, es el mes en el que menos hay evapotranspiración a diferencia que en enero, febrero, marzo y diciembre.

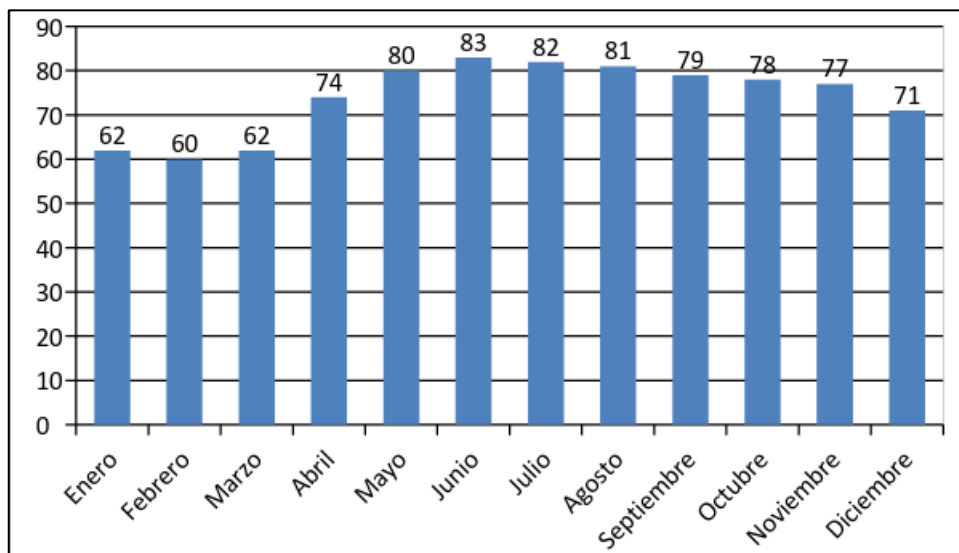


Gráfica 2. Evaporación

Fuente: Elaboración Propia

10.1.3. Humedad relativa:

Elemento meteorológico que está relacionado con la componente en la estabilidad atmosférica y por lo tanto también con la ocurrencia y distribución de la precipitación en una zona terrestre. En esta zona se encontró que a mitad de año se presenta la mayor humedad relativa del año, debido a que no se presentan mayores temperaturas.



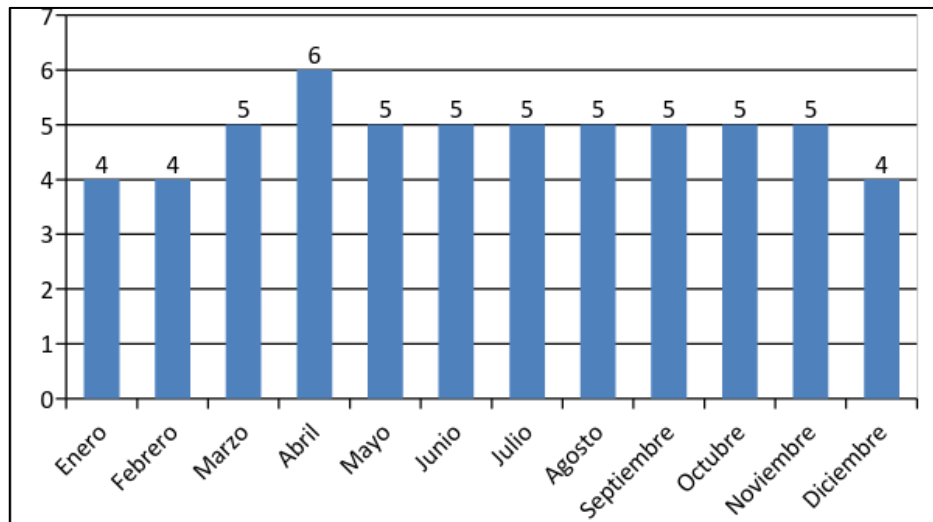
Gráfica 3. Humedad Relativa

Fuente: Elaboración Propia

10.1.4. Nubosidad:

Es la cantidad de cielo cubierto que se observa en un instante dado en el firmamento, se da en octas, para tal efecto la bóveda celeste se divide en ocho partes.

Generalmente en el año se presentan la misma cantidad de nubes en el sector.



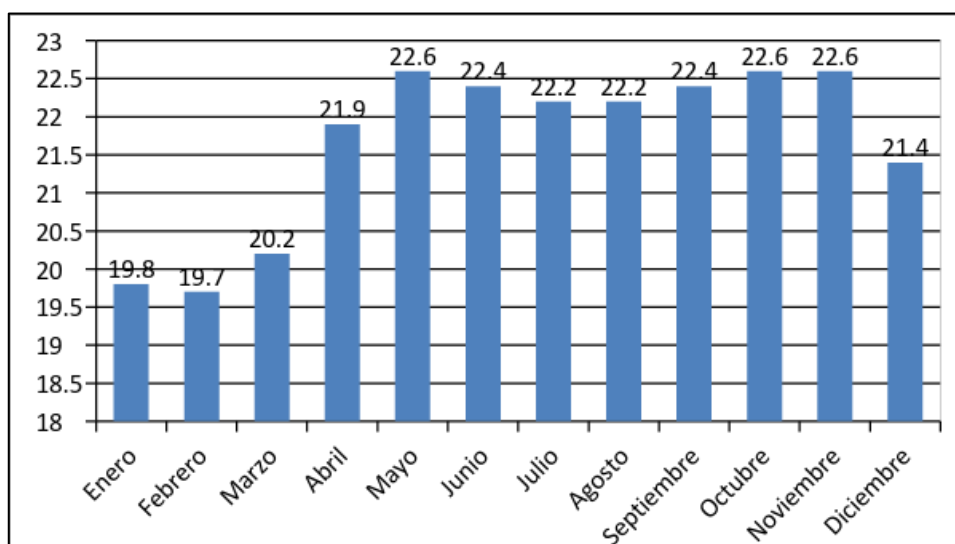
Gráfica 4. Nubosidad

Fuente: Elaboración Propia

10.1.5. Punto de rocío:

Valor al que debe disminuir la temperatura del aire para que el vapor de agua existente comience a condensarse. (Celemín)

De diciembre a abril se presenta en menor grado el punto de rocío.



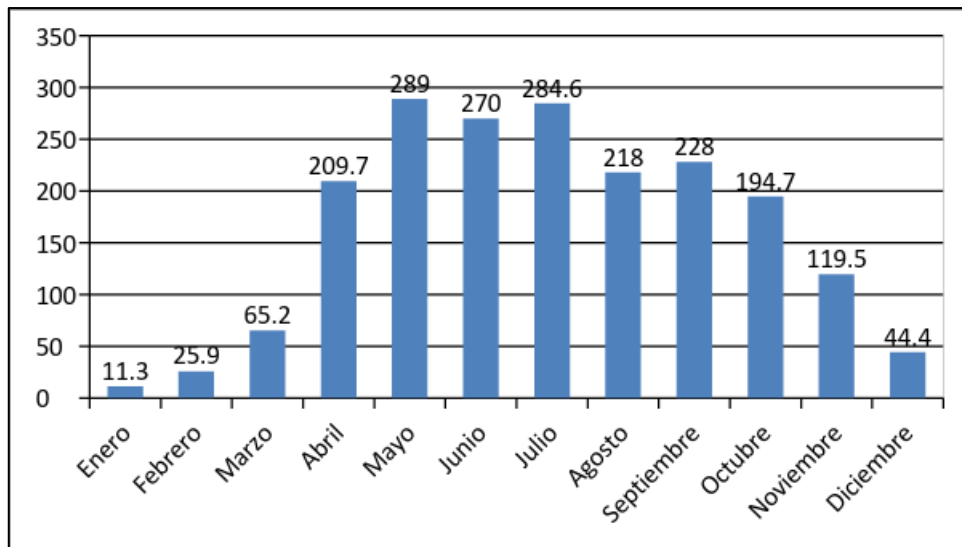
Gráfica 5. Punto de Rocío

Fuente: Elaboración Propia

10.1.6. Precipitación:

Caída de hidrometeoros que alcanzan finalmente el suelo. Su medida es expresada por la altura de la capa de agua que cubriría el suelo, aparentemente en un plano horizontal perfecto, sino se filtra, evapora, ni se escurre.

Los meses donde hay mayor sequía por falta de precipitación son enero, febrero, marzo y diciembre.



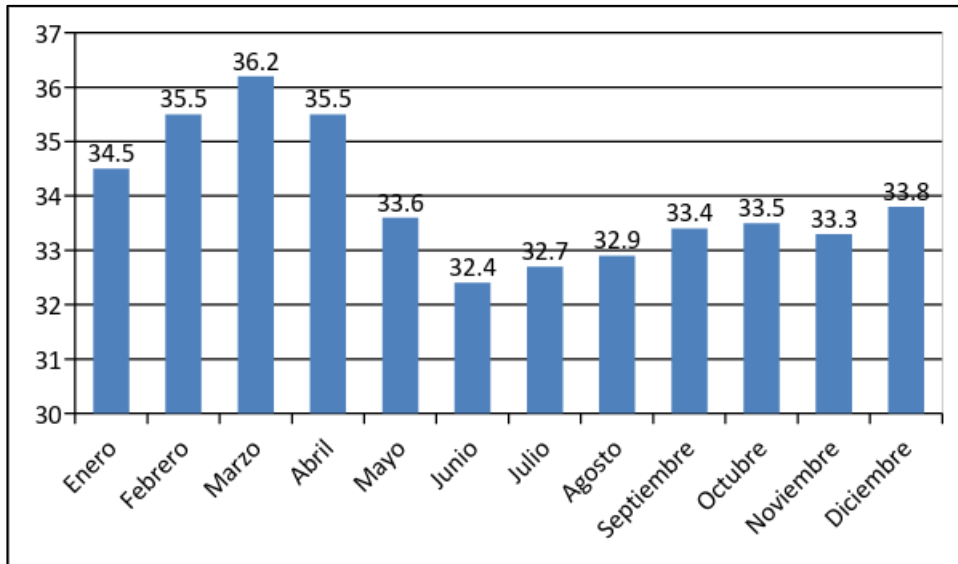
Gráfica 6. Precipitación

Fuente: Elaboración Propia

10.1.7. Temperatura:

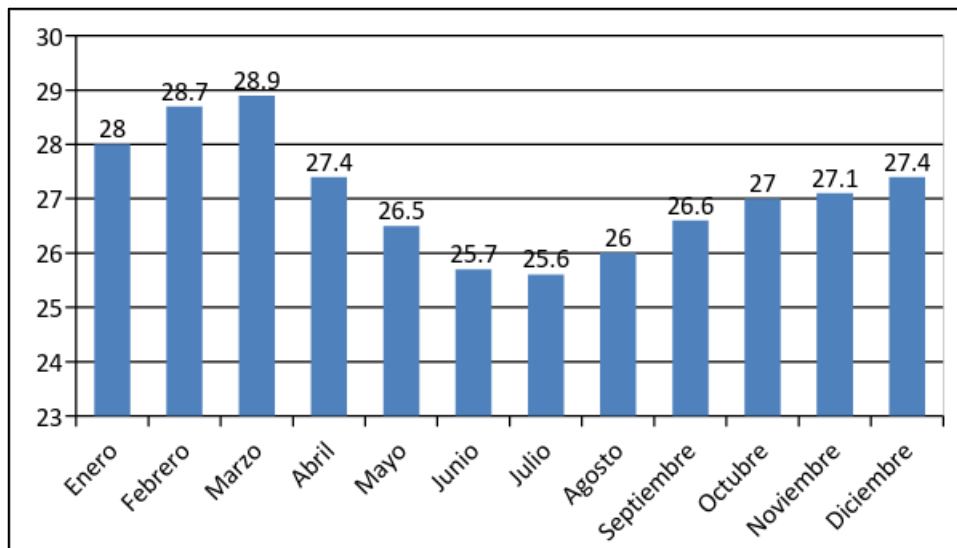
Conocida como un parámetro del estado térmico de la materia, el cual depende de la energía cinética media de las moléculas. Para medir la temperatura se hace a través de la transferencia de calor entre cuerpos de niveles distintos de energía cinética molecular media.

En la zona solo se encuentran temperaturas mayores de 25°C Y menores a 36.3°C.



Gráfica 7. Temperaturas Máximas

Fuente: Elaboración Propia

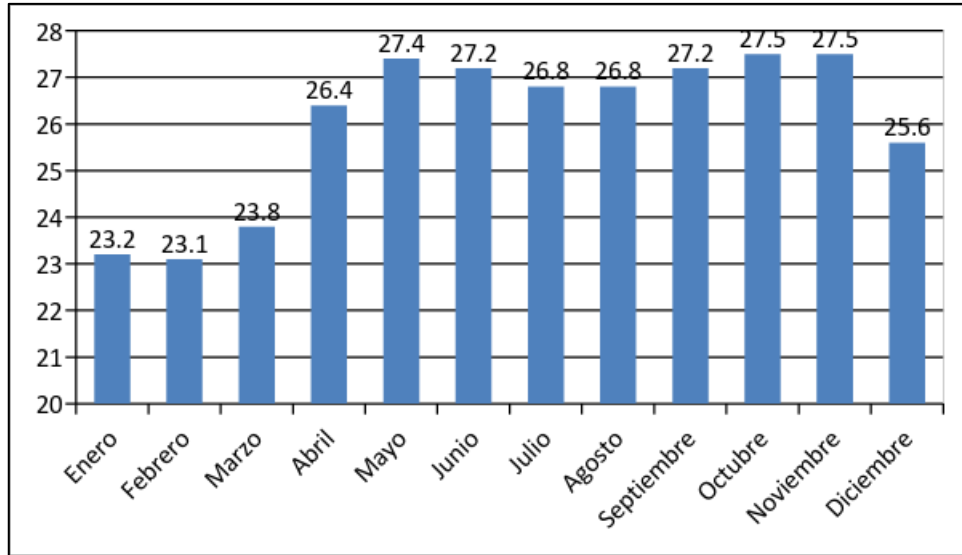


Gráfica 8. Temperaturas Mínimas

Fuente: Elaboración Propia

10.1.8. Tensión de vapor:

La tensión de vapor siempre es mayor a 23Mb.



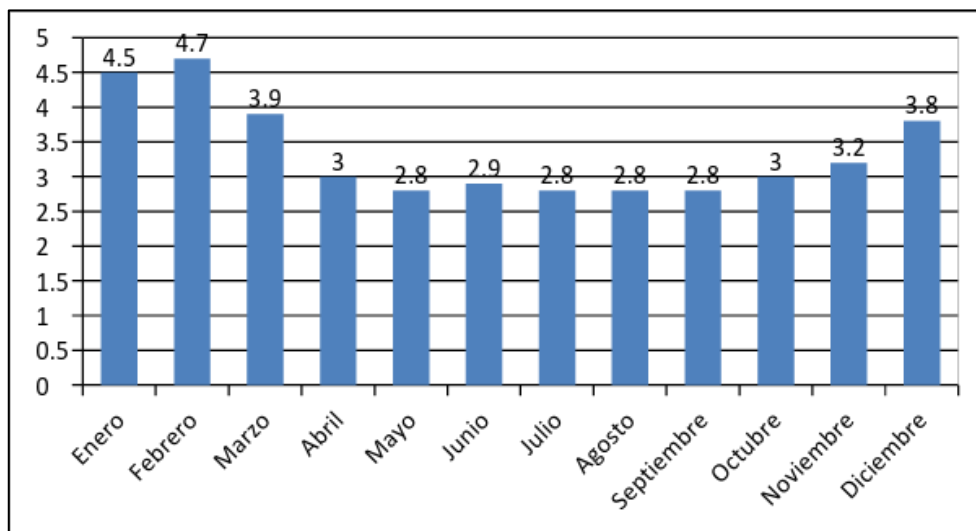
Gráfica 9. Tensión de Vapor

Fuente: Elaboración Propia

10.1.9. Velocidad del viento:

Se establece por la zona recorrido por las partículas de aire que el flujo del aire impulsa en su movimiento, o por la presión que el viento practica sobre una traba dada.

En la zona se presentas vientos de 2.8 m/s a 4.7 m/s.



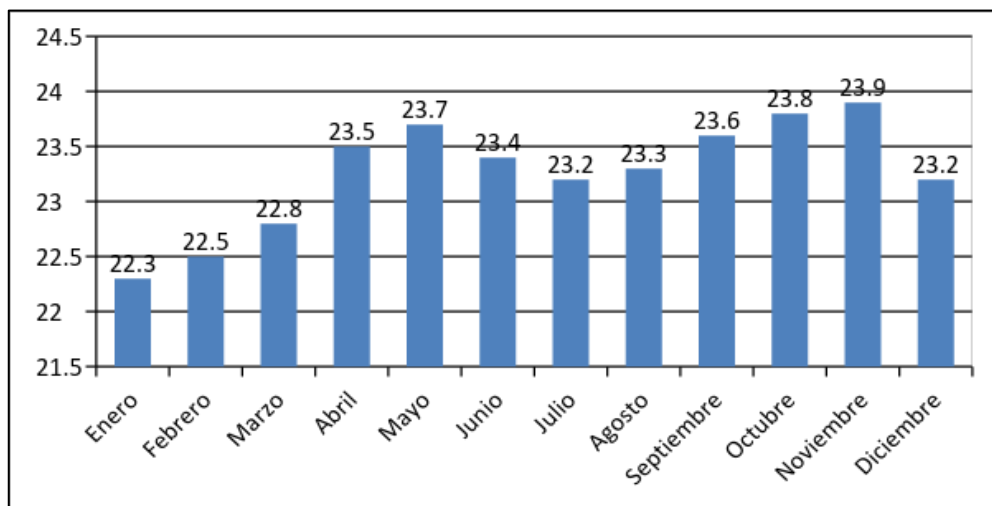
Gráfica 10. Velocidad del Viento

Fuente: Elaboración Propia

10.1.10. Termómetro Húmedo:

Termómetro de mercurio que tiene el bulbo envuelto en un paño de algodón empapado de agua, que se emplea para medir la temperatura húmeda del aire. Al proporcionarle una corriente de aire, el agua se evapora más o menos rápidamente dependiendo de la humedad relativa del ambiente, enfriándose más cuanto menor sea ésta, debido al calor latente de evaporación del agua. La corriente de aire puede darse mediante un pequeño ventilador o poniendo el termómetro en una especie de carraca para darle vueltas. (Universidad Nacional Pedro Luis Gallo)

Se evidencia un comportamiento constante.

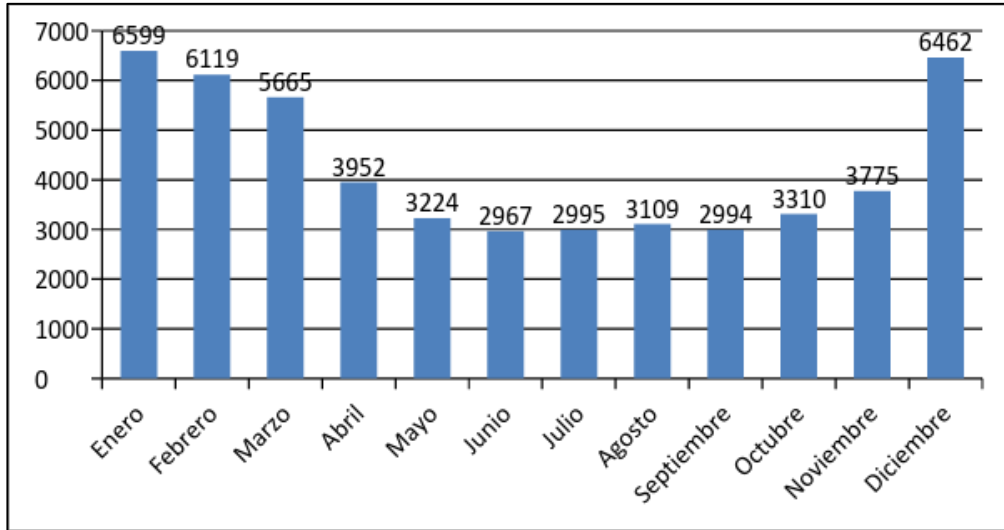


Gráfica 11. Termómetro Húmedo

Fuente: Elaboración Propia

10.1.11. Recorrido del viento:

De Junio a Septiembre se presentan velocidades alrededor de 3000 Km, en los meses de verano es donde se presenta mayor recorrido.



Gráfica 12. Recorrido del Viento

Fuente: Elaboración Propia

|

11. APLICACIÓN CROPWAT

Periodos de aplicación de la fórmula:

- En periodo mensual, pero la ETo se expresa en mm/día.
- En periodo diario: se entra con los datos medios diario y la ETo también se expresa en mm/día. En periodo diario $G = 0$, es decir, se ignora el valor del flujo de calor hacia el suelo, por ser insignificante para 24 horas.
- En periodo horario: Se entra con los datos medios horarios y el resultado de ETo en mm/h; pero 900 se cambia por 37; 0,34, por 0,24 en el día y por 0,96, en la noche.

11.1. Superficie de Cultivo:

En la fórmula que usa el programa como superficie de referencia, hay datos incluidos en las constantes: resistencia superficial del cultivo, resistencia aerodinámica, albedo, y altura de la grama. (Richard G. Allen, 2006)

EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ETO)

La evaporación y la transpiración son procesos que ocurren al mismo tiempo, lo hace que no sea fácil diferenciar entre dos procesos. Por otro lado, la disponibilidad de agua en las superficies, la evaporación de un terreno cultivado se determina especialmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción se reduce a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el cultivo se proyecta más y más sombra sobre el suelo.



Ilustración 6 Evapotranspiración de referencia

Fuente: *Guía para la determinación de los requerimientos de agua del cultivo*.
Roma.

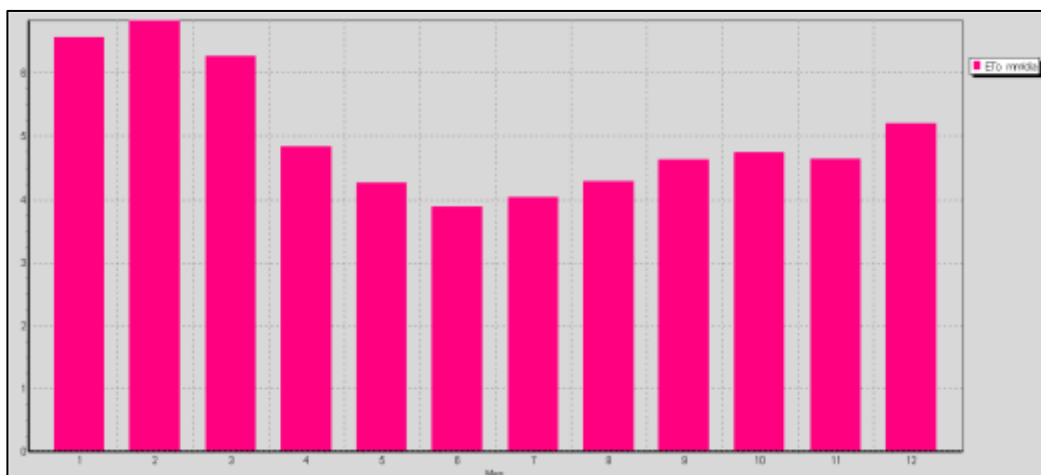
La evapotranspiración de referencia se implantó con el fin de estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo.

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m ² /día	mm/día
Enero	20.5	34.5	62	389	8.3	20.5	6.56
Febrero	21.0	35.5	60	406	6.5	18.8	6.83
Marzo	21.5	36.2	62	337	5.2	17.5	6.27
Abril	21.5	35.5	74	259	4.2	15.9	4.83
Mayo	20.9	33.6	80	242	4.7	16.1	4.26
Junio	20.4	32.4	83	251	4.6	15.5	3.88
Julio	20.3	32.7	82	242	5.0	16.2	4.04
Agosto	20.1	32.9	81	242	5.4	17.4	4.29
Septiembre	20.2	33.4	79	242	6.0	18.6	4.63
Octubre	20.5	33.5	78	259	6.4	18.8	4.75
Noviembre	20.6	33.3	77	276	6.4	17.9	4.65
Diciembre	20.7	33.8	71	328	6.7	17.8	5.21

Tabla 2. Evapotranspiración de Referencia

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente grafica se ve evidenciada la Evapotranspiración de referencia mensual.



Gráfica 13. Evapotranspiración de Referencia

Fuente: Elaboración Propia

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} + u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Ecuación 1.

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ETo. Penman-Monteith permite estimar la evapotranspiración de referencia, ETo, en función de los siguientes elementos meteorológicos: radiación solar neta, temperatura del aire, velocidad del viento y tensión de vapor del agua.

Dónde:

Eto: Evapotranspiración de referencia (mm/día)

Δ : Pendiente de la curva de la tensión de vapor saturado (kPa/ °C)

Rn: Radiación neta sobre la superficie del cultivo (MJ/ m² día)

G: Flujo calórico utilizado en el calentamiento del suelo (MJ/ m² día)

γ : Constante psicrométrica (kPa/ °C) = 0,001628 (P/l)

u₂: Velocidad del viento a 2 m de altura, en m/s. Se estima por: $u_2 = 4,87 \text{ uz} / \ln(67,8z - 5,42)$

uz: velocidad del viento en m/s, observada a una altura, z en m

(e_s – e_a): déficit de tensión de vapor (kPa); e_s y e_a tensión de vapor saturado, y actual respectivamente

l: Calor latente de vaporización (MJ /kg).

T: temperatura media del aire, en °C, calculada por: $T = (T_{\max} + T_{\min}) / 2$

11.2. Precipitación efectiva

Se llama precipitación efectiva aquella fracción de la precipitación total que es aprovechada por las plantas; el tipo de suelo, la intensidad de la precipitación, etc.

No toda la precipitación que cae al suelo penetra de manera efectiva en este y es aprovechable por los cultivos. (Alocén, 2007) En cada lluvia, sólo un porcentaje cumple la función de penetrar el suelo pues se producen pérdidas por escorrentía, evaporación y por percolación profunda.

Por lo tanto por medio del método USDA S.C, que es utilizado por el programa CROPWAT 8.0 se puede encontrar el valor de precipitación efectiva 1251.8 mm.

$$P_e = (1.25247 P_t^{0.82416} - 2.93522) 10^{0.00095 U_f}$$

Ecuación 2.

Siendo:

Pe: Precipitación efectiva mensual (mm)

Pt: Precipitación total mensual (mm)

U: Uso consuntivo medio mensual

$$f: 0.531747 + 0.011621\Delta_s - 8.9 \times 10^{-5}\Delta_s^2 + 2.3 \times 10^{-7}\Delta_s^3$$

Δ_s : Dosis de riego neta (mm)

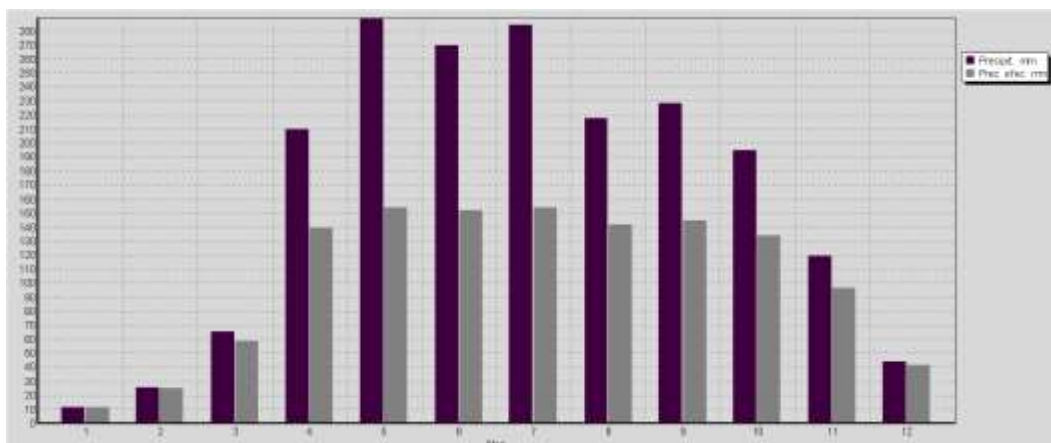
(P) $Pe = Pt (125 - 0.2 Pt / 125)$ para $Pt < 250$ mm $Pe = 125 + 0.1 Pt$ para $Pt > 250$ mm

Mes	Precipit. mm	Prec. Efec mm
Enero	11.3	11.1
Febrero	25.9	24.8
Marzo	65.2	58.4
Abril	209.7	139.3
Mayo	289.0	153.9
Junio	270.0	152.0
Julio	284.6	153.5
Agosto	218.0	142.0
Septiembre	228.0	144.8
Octubre	194.7	134.0
Noviembre	119.5	96.7
Diciembre	44.4	41.2
Total	1960.3	1251.8

Tabla 3. Evapotranspiración Efectiva

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente grafica se muestra en morado la precipitación y en gris la precipitación efectiva.



Gráfica 14. Precipitación Efectiva

Fuente: Elaboración Propia

11.3. Especificaciones del suelo para CROPWAT

El suelo encontrado en esta zona del municipio, según el POT, es un suelo franco arenoso, el cual cuenta con características óptimas y apropiadas para cultivos agrónomos pues genera un equilibrio entre la permeabilidad del agua y la retención de nutrientes. Para el programa influyen las siguientes propiedades presentes en el sitio:

Humedad de suelo disponible	120 mm/metro
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	15 mm/día
Profundidad máxima radicular	150 cm
Agotamiento inicial de humedad de suelo	60%
Humedad de suelo inicialmente disponible	48 mm/metro

Tabla 4 Propiedades del suelo

Fuente: Elaboración Propia

12. BALANCE HÍDRICO:

Para desarrollar un análisis y una evaluación sobre cualquier fuente hídrica se debe conocer acerca de la evaporación potencial y la precipitación, ya que estos permiten establecer el balance hídrico anual de la fuente. De este modo, existe la posibilidad de saber cuál es la cantidad de agua que se evapora desde el suelo, la cantidad que transpiran las plantas, la cantidad de agua que es almacenada por el suelo y la que se pierde por derrame superficial y/o profundo.

Tanto la evapotranspiración del cultivo *Etc* que funciona como la entrada y la precipitación efectiva que es la salida, son variables climáticas autónomas; su desarrollo anual habitualmente no coincide en un mismo punto del suelo, ya que en algunos lugares hay períodos donde la necesidad de agua está satisfecha por las lluvias y otros en donde se escasea la cantidad de agua requerida. Por lo tanto, en ciertos meses el recurso será suficiente, como así mismo existirán meses que tendrán exceso o deficiencia de agua.

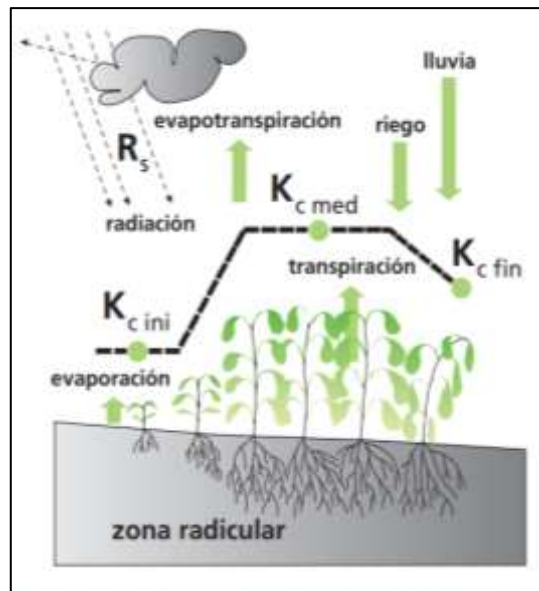


Ilustración 7. Esquema de balance hídrico

Fuente: FAO. (s.f.). Manual CROPWAT 8.0.

La tabulación que se encuentra a continuación fue dada por el software *Cropwat*, donde se describe el coeficiente del cultivo, la evapotranspiración y precipitación efectiva de cada 10 días. Estos valores permiten obtener el requerimiento hídrico mensual a través del balance hídrico el cual satisface las necesidades hídricas del cultivo.

El requerimiento hídrico se calcula así:

$$\text{Requerimineto de riego} = ETc - \text{Prec.Efect}$$

Ecuación 3

$$ETc = ETo \times Kc$$

Ecuación 4

ETo: evapotranspiración del cultivo de referencia Kc: Coeficiente del cultivo

Mes	Década	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec, efec	Req,Riego
			Coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Mar	2	Inic	0,9	5,65	22,6	6,9	25,3
Mar	3	Inic	0,85	4,92	54,2	27	27,2
Abr	1	Inic	0,85	4,52	45,2	39,5	5,6
Abr	2	Inic	0,85	4,11	41,1	49,5	0
Abr	3	Inic	0,85	3,95	39,5	50,1	0
May	1	Inic	0,85	3,78	37,8	50,2	0
May	2	Inic	0,85	3,62	36,2	52	0
May	3	Inic	0,85	3,52	38,7	51,6	0
Jun	1	Inic	0,85	3,41	34,1	50,8	0
Jun	2	Inic	0,85	3,3	33	50,6	0
Jun	3	Inic	0,85	3,34	33,4	50,8	0
Jul	1	Inic	0,85	3,39	33,9	51,4	0
Jul	2	Inic	0,85	3,43	34,3	51,8	0
Jul	3	Inic	0,85	3,51	38,6	50,3	0
Ago	1	Des	0,86	3,6	36	48,2	0
Ago	2	Des	0,88	3,76	37,6	46,7	0
Ago	3	Des	0,9	3,96	43,6	47,2	0
Sep	1	Des	0,92	4,16	41,6	48,4	0
Sep	2	Des	0,94	4,36	43,6	48,9	0
Sep	3	Des	0,96	4,5	45	47,5	0
Oct	1	Med	0,98	4,6	46	46,7	0
Oct	2	Med	0,98	4,64	46,4	45,9	0,4
Oct	3	Med	0,98	4,61	50,7	41,4	9,3
Nov	1	Med	0,98	4,57	45,7	36,9	8,8
Nov	2	Med	0,98	4,54	45,4	33	12,4
Nov	3	Med	0,98	4,73	47,3	26,6	20,7
Dic	1	Med	0,98	4,91	49,1	19,1	30
Dic	2	Med	0,98	5,09	50,9	12,6	38,3
Dic	3	Med	0,98	5,53	60,8	9,6	51,2
Ene	1	Med	0,98	6,03	60,3	5,7	54,7
Ene	2	Med	0,98	6,51	65,1	1,6	63,4
Ene	3	Fin	0,98	6,56	72,2	3,9	68,3
Feb	1	Fin	0,97	6,51	65,1	6,1	58,9
Feb	2	Fin	0,95	6,47	64,7	7,4	57,4

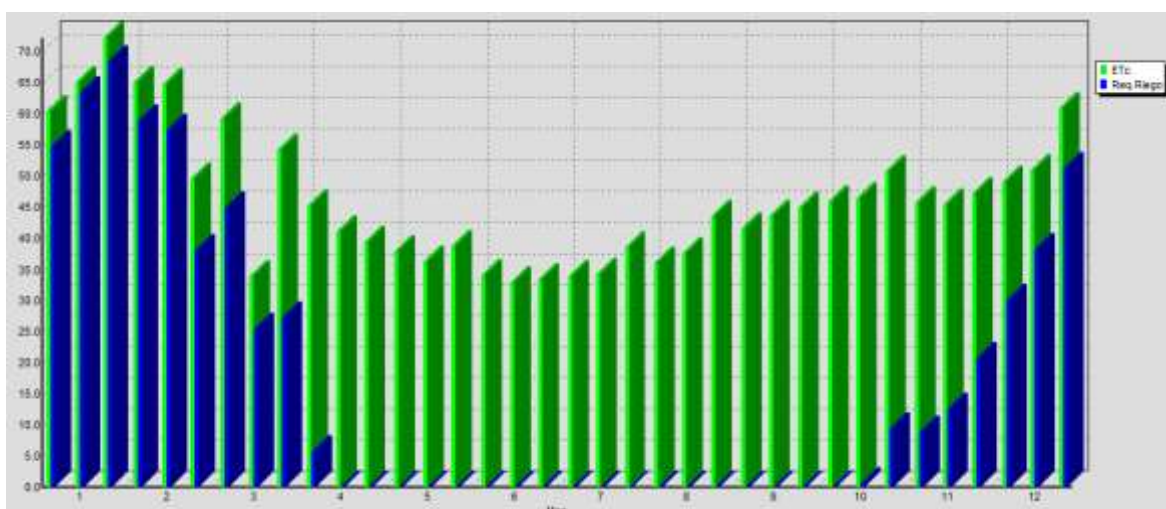
Mes	Década	Etap	Kc	ETc	ETc	Prec, efec	Req,Riego
			Coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Feb	3	Fin	0,93	6,19	49,5	11,4	38,1
Mar	1	Fin	0,92	5,91	59,1	14,3	44,9
Mar	2	Fin	0,9	5,65	33,9	10,4	25,3
					1682,2	1251,9	640,2

Tabla 5. Cálculo de Requerimiento Hídrico de Riego

Fuente: Elaboración Propia

A partir de la información mostrada en la tabla, se genera la siguiente gráfica, donde se ve representada por el color verde, la evapotranspiración efectiva y por el azul, el requerimiento de riego cada diez días. Es evidente que de mayo a septiembre las condiciones climáticas permiten un receso en el trabajo del riego, por lo que se permite un mayor almacenamiento de agua para los otros meses.

En verde se ve el Etc y en azul el requerimiento de riego.



Gráfica 1 ETC y Requerimiento Hídrico

Fuente: Elaboración Propia

13. DIAGNÓSTICO DE AGUA REQUERIDA

Cuando se habla del agua que requiere un cultivo, se refiere a la profundidad de agua necesaria para cumplir con la relación de agua ganada y agua perdida en una zona y periodo determinados. Los cultivos necesitan de agua retenida en el suelo para el óptimo desarrollo de los procesos biológicos; el conocimiento de esta necesidad va de la mano con el clima de la zona a estudiar pues así se puede encontrar un balance hídrico por medio de una estructura de riego por aspersión para lograr un óptimo cultivo.

Para el cálculo del caudal de agua requerido para la conducción, es necesario tener en cuenta los parámetros establecidos anteriormente en la tabla, los cuales son las propiedades de cultivo y el clima, puesto que estos intervienen de manera directa en la determinación del caudal nombrado. Por otro lado, es de resaltar que las propiedades físicas del suelo también son tomadas en cuenta pues es importante conocer su capacidad de humedad.

Para simplificar la tabla 2 se realiza una que especifica los requerimientos mensuales del cultivo en diferentes unidades.

Requerimiento Neto sistema	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
mm/día	6	5,4	2,7	0,2	0	0	0	0	0	0,3	1,4	3,9
mm/mes	185,5	150,7	85,2	5,6	0	0	0	0	0	9,7	41,9	119,5
en l/s/h	0,69	0,62	0,32	0,02	0	0	0	0	0	0,04	0,16	0,45
Req. de riego área real (l/s)	34,5	31	16	1	0	0	0	0	0	2	8	22,5

Tabla 6. Requerimientos del Sistema

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con el software *Cropwat* esta programación de riego tiene una eficiencia del 100% y la precipitación es de 85.6 %. Por lo tanto el riego llega a satisfacer las necesidades del cultivo y contribuye a un mejor desarrollo agronómico.

14. Fuente hídrica

La fuente hídrica que va abastecer el distrito de riego es una corriente de agua superficial de 35 metros de distancia, 5 metros de ancho y profundidad media de 4,2 metros. Dicha fuente se encuentra en el terreno de la finca el Calvario, ya que de este punto es que partirá el suministro del distrito. A continuación, se muestra una fotografía y un plano de ubicación de la fuente para contextualizar e ilustrar.



Ilustración 8. Fotografía de fuente hídrica

Fuente: Elaboración Propia

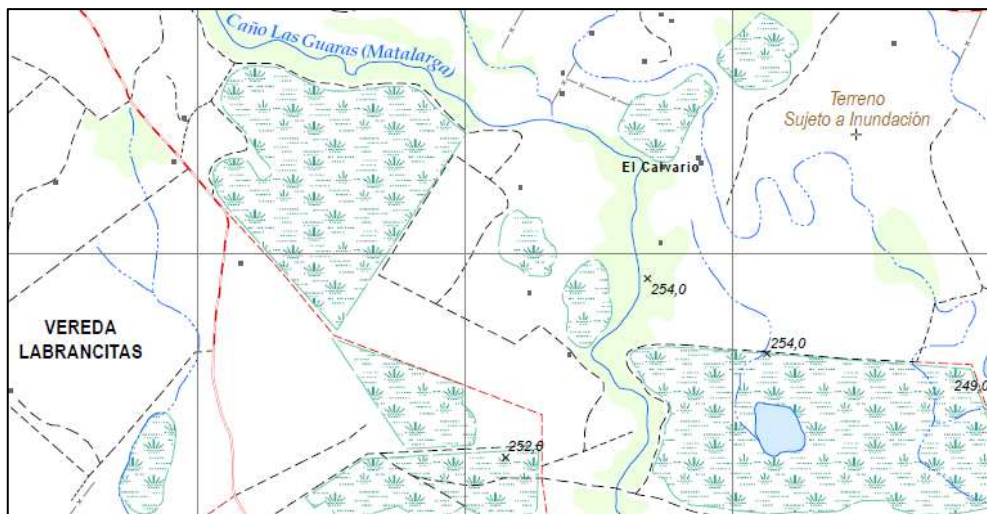


Ilustración 9. Plano de Ubicación de la Vereda Labrancitas

Fuente: IGAC

En la siguiente tabla se encuentran los datos de caudal mensual, hallados con base en los datos tomados en campo para el mes de abril. Para los otros meses, se elaboró el cálculo por reconocimiento porcentual con la fuente hídrica más cercana: “el río Muese”, la cual cuenta con una estación del Ideam identificada con el número 36017020 de nombre PTE CARRETERA.

Rio Muese		
Mes	Caudal(m³/s)	%
Enero	2,33	5,25
Febrero	1,04	2,34
Marzo	0,97	2,19
Abril	5,12	11,54
Mayo	3,16	7,11
Junio	5,47	12,32
Julio	3,28	7,38
Agosto	6,19	13,94
Septiembre	10,81	24,37
Octubre	2,12	4,77
Noviembre	2,55	5,76
Diciembre	1,34	3,01
Q anual	44,36	
Fuente hídrica tomada		
Mes	Caudal(m³/s)	Caudal(l/s)
Enero	1,857	1856,592
Febrero	0,83	829,643
Marzo	0,776	776,461
Abril	4,083	4083,333
Mayo	2,517	2517,116
Junio	4,36	4359,881
Julio	2,613	2612,578
Agosto	4,934	4934,249
Septiembre	8,625	8625,098
Octubre	1,689	1688,802
Noviembre	2,038	2037,944
Diciembre	1,067	1066,836
Q anual	35,389	35388,534

Tabla 7. Caudales Río Muese y Fuente Hídrica Tomada

Fuente: Elaboración Propia

Para una mejor recopilación de información, se presenta el dato de caudal en sistema inglés y sistema internacional.

15. TIPO DE RIEGO

Se plantea un distrito de riego por aspersión con cañones, puesto que este sistema de riego está caracterizado por su eficiencia de rendimiento, ya que se adapta a distintos relieves sin necesidad de nivelación de suelos, del mismo modo que se adapta a diferentes tipos de cultivos proporcionando por medio de dosificaciones, cantidades diferentes de agua de dependiendo la necesidad. La aspersión se encarga de llevar el agua simulando la acción de la lluvia, a través de aspersores que funcionan mediante una presión establecida por la unidad de bombeo, que además se puede utilizar con pequeños caudales obteniendo gran eficiencia en el proceso. Existen tres tipos de riego por aspersión: fijos, semifijos y móviles, los cuales también dependen del tipo del cultivo y la necesidad del agricultor.

Para poder aplicar el riego por aspersión se debe tener en cuenta que tanto el costo inicial, como la exigencia de energía son altos y requieren de diseño, mantenimiento y operación apropiados.

Una estructura de riego por aspersión está compuesta de cuatro partes elementales; la unidad de bombeo, tubería fija y móvil, aspersores y por último los accesorios.

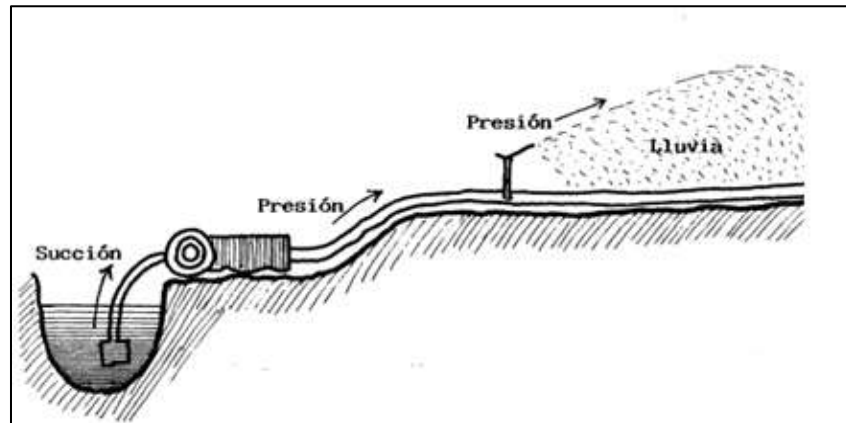


Ilustración 10. Esquema de riego por aspersión

Fuente: Edmundo Varas, 1989

15.1. Componente de riego

Para iniciar el análisis de satisfacción del requerimiento hídrico del cultivo, se estudian los diferentes aspersores que están en el mercado. Por lo tanto, se acude a revisar y analizar las fichas técnicas de equipos de riego de la empresa Irrigaciones Ltda, quienes proveen

los elementos necesarios para un sistema de riego donde especifica que los cañones tipo Nelson son los más apropiados para pastos de rotación debido a su alcance y rendimiento.

15.1.1. Cañones tipo Nelson

Aspersores grandes compuestos por cuerpo y boquilla, su función es permitir una distribución de agua polucionada en pequeñas gotas. Giran 360° a lo que se llama círculo de mojadura.

Para el cultivo a trabajar, se seleccionan Cañón arco Iris 150 tipo nelson, círculo regulable de 0° – 360°. El anterior maneja caudales de 100 a 545 gpm, diámetros de 76 a 140 m y presiones de operación entre 40 - 110 psi.



Ilustración 11. Cañón Tipo Nelson

Fuente: Irrigaciones.

175 TAPER BORE NOZZLE — 24° TRAJECTORY

Kgal/m ²	17.8 mm			20.3 mm			22.9 mm			25.4 mm			27.9 mm			30.5 mm			33.0 mm			35.6 mm		
	LS	MPH	dist. ft.	LS	MPH	dist. ft.	LS	MPH	dist. ft.	LS	MPH	dist. ft.	LS	MPH	dist. ft.	LS	MPH	dist. ft.	LS	MPH	dist. ft.	LS	MPH	dist. ft.
3.5	6.39	23.0	76.0	8.29	29.8	82.0	10.5	37.8	88.0	13.0	46.9	95.0	15.9	57.1	101	19.0	68.3	105	22.3	80.1	110	25.8	92.9	114
4.0	6.83	24.6	79.6	8.86	31.9	85.6	11.2	40.4	91.6	13.9	50.1	97.8	16.9	61.0	104	20.3	73.0	109	23.8	85.7	114	27.4	98.6	118
5.0	7.63	27.5	85.4	9.91	35.7	91.6	12.6	45.2	98.6	15.6	56.0	105	18.9	68.2	111	22.7	81.7	117	26.6	95.8	121	30.8	111	126
6.0	8.36	30.1	89.7	10.9	39.1	96.7	13.8	49.5	104	17.0	61.3	110	20.8	74.7	117	24.9	89.5	123	29.1	105	128	33.6	121	133
7.0	9.03	32.5	95.0	11.7	42.2	101	14.9	53.5	108	18.4	66.3	114	22.4	80.7	122	26.8	96.6	128	31.5	113	134	36.4	131	139
8.0	9.66	34.8	99.3	12.5	45.1	105	15.9	57.2	112	19.7	70.8	118	24.0	86.3	126	28.7	103	132	33.7	121	138	38.9	140	145
9.0	10.2	36.9	104	13.3	47.9	110	16.8	60.6	117	20.9	75.1	123	25.4	91.5	131	30.4	110	137	35.7	129	143	41.1	148	149

Tabla 8. Caudal Cañón Tipo Nelson

Fuente: Irrigaciones.

Q (l/hr)	140040
Diámetro de mojadura (m)	145
Radio de alcance (m)	72,5

Tabla 9. Cañón Tipo Nelson

Fuente: Elaboración propia

15.1.2. Tubería

Para este tipo de riego se utiliza tubería de pvc de 6" ya que permite la óptima conducción del fluido hasta su punto más lejano evitando las presiones negativas en trayecto. La tubería se propone enterrada para que le ganado no obstruya el funcionamiento de la estructura.

15.1.3. Bomba

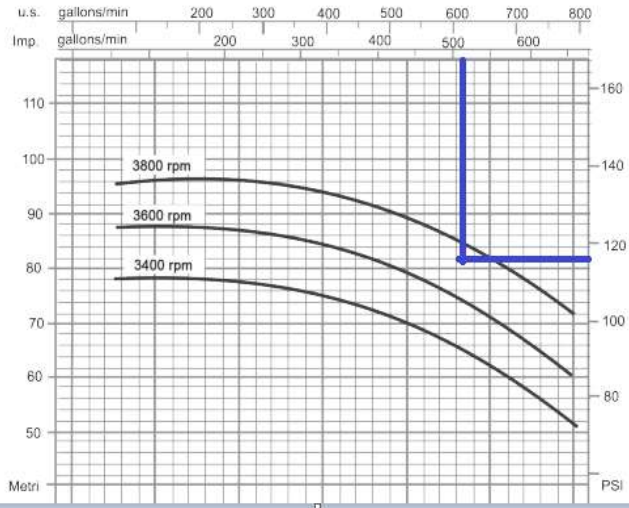
La bomba es la encargada que eleva, comprime y transporta el agua, para la elección de la bomba se debe tener en cuenta la presión y el caudal necesario. Para este proyecto se escoge una tracto bomba Marani, la cual no se recalienta y es silenciosa.

Para esta selección el caudal es de 616.58 gpm y 113.784 psi de presión, datos que da el cañón elegido para satisfacer el requerimiento hídrico.



Ilustración 12. Tracto bomba Marani Modelo MAT80

Fuente: Irrigaciones.



Gráfica 15. Sección de la bomba escogida

Fuente: Irrigaciones.

16. TIPO DE CAPTACIÓN:

Las estructuras de captación hidráulicas están construidas sobre un río o canal con el propósito de captar, es decir extraer, una parte o la totalidad del caudal de la corriente principal.

En este caso se propone una captación de fondo ya que es aconsejable usarla cuando la fuente de agua es de escaso caudal y el ancho de esta es pequeño, este tipo de captación requiere una buena estabilidad geológica.

Como el caudal que se necesita al día es de 38,9 l/s, se decide diseñar una captación con caudal de diseño mayorado con 30% lo cual da 50.8 l/s. Solo se mayoro el 30% porque el caudal necesario es solo por máximo 10 horas.

Se plantea una cámara de almacenamiento a un lado de la bocatoma con capacidad de almacenamiento de 21.6 m^3 .

Reja	127cm x 40cm, con 36 varillas de 5/8 in.
Camara	360x600x100

Tabla 10 Características captación

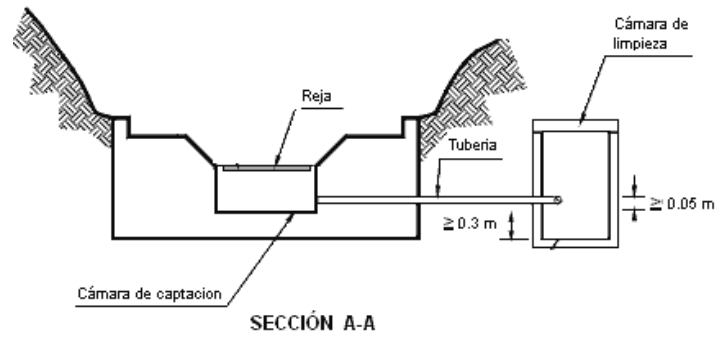
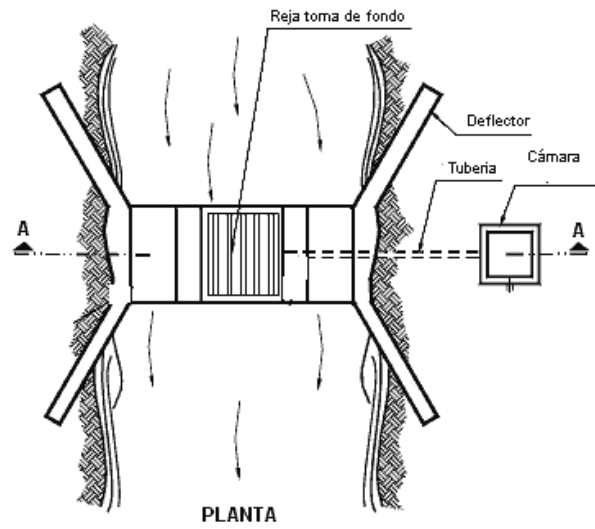


Ilustración 13 Esquema captación

17. DISEÑO

17.1. Disposición de cañones

En el momento de decidir la posición de cada cañón se debe tener en cuenta el diámetro de mojadura del cañón, para no llegar a crear estrés hídrico. En este caso el diámetro es de 145 m, lo cual permite un posicionamiento de los aspersores con esa distancia. Para completar el área propuesta en el proyecto se asignan 24 posiciones de los cañones, trabajando con dos bombas y dos cañones al tiempo, para así lograr regar el área total en un día.

Lo anterior debido a que el desarrollo del proyecto es una perfectibilidad por lo tanto se pretende mostrar el desempeño de la propuesta.

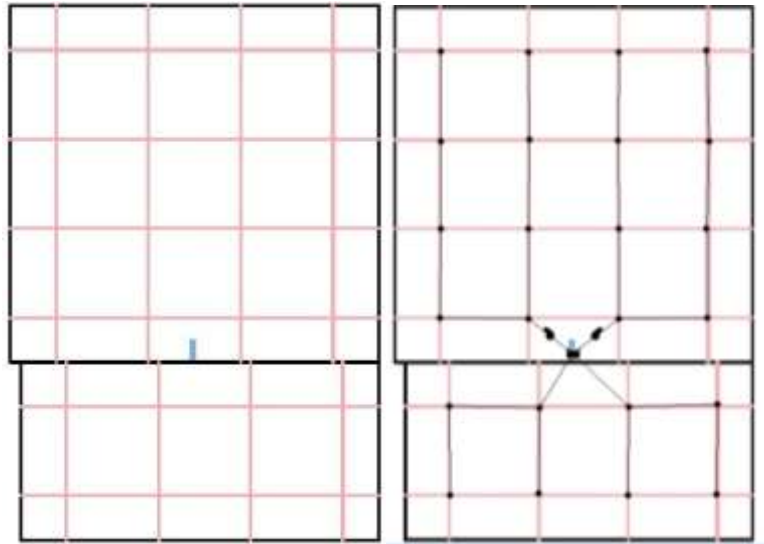


Ilustración 14. Disposición de Cañones

Fuente: Propia

17.2. Duración de riego

Para la duración del riego se necesita conocer la lámina neta mensual, la cual fue dada por cropwat según el balance hídrico.

Tenido dicha lámina se saca tiempo la siguiente forma:

$$T = \frac{Ln}{Da}$$

Dónde:

T: tiempo Ln: Lamina neta Da: Demanda del aspersor

Se definen 26 días de trabajo al mes para el funcionamiento del aspersor ya que los días domingos se descansará. Por cada día se proponen 14 horas máximas de trabajo.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Lámina requerida (mm)	185,5	150,7	85,2	5,6	0	0	0	0	0	9,7	41,9	119,5
Demanda aspersor (mm/hr)	8,48	8,48	8,48	8,48	8,48	8,48	8,48	8,48	8,48	8,48	8,48	8,48
Tiempo (horas)	22	18	10	1	0	0	0	0	0	1	5	14
Días de trabajo.	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
Duración de riego diaria por cada turno.	0,8	0,7	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,5

Tabla 11. Cálculo Duración de Riego Diario

Fuente: Elaboración Propia

Según los agrónomos se recomiendan evitar horas del mediodía para regar entonces las horas a regar serán entre 4 am a 9 am o entre 3pm a 8pm.

Por otro lado, teniendo ya seleccionado el cañón, se calcula el tiempo que se requiere para que la posición de cada cañón satisfaga el requerimiento hídrico del cultivo; por lo tanto, se debe tabular el tiempo mensual requerido.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	Oct	Nov	Dic
Tiempo requerido	10.10	8.20	4.64	0.30	0.53	2.28	6.50
jornada a trabajar	5 por la mañana y 5 por la tarde	4 por la mañana y 4 por la tarde	2 por la mañana y 2,64 por tarde	en la tarde	en la tarde	en la tarde	3 en la mañana y 3.5 en la tarde.

Tabla 12. Asignación de Horario de Riego

Fuente: Elaboración Propia

18. APLICACIÓN EPANET

18.1. Modelación

Con la disposición ya asignada para abastecer toda el área establecida se procede a trabajar en EPANET, como lo muestran las siguientes graficas cada par de cañones a lo largo del día logran completar el área a regar total. Se establecen 12 turnos semejantes para cada bomba para así trabajar al tiempo y no tener descuido.

Para la modelación en virtud de que no se tenía levantamiento topográfico y el terreno es prácticamente plano, se estima que la diferencia de las cotas entre el punto más alto y el más bajo es de 50 cm con pendiente aproximada de 6×10^{-4} .

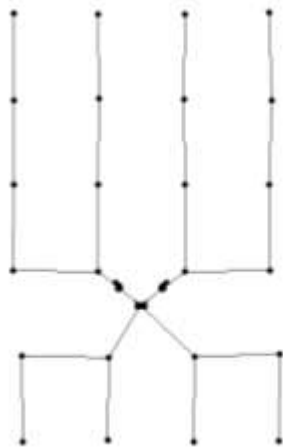


Ilustración 15. Modelo Epanet

Fuente: Elaboración Propia

A cada nudo y línea se le asigna un número, para así facilitar su interpretación.

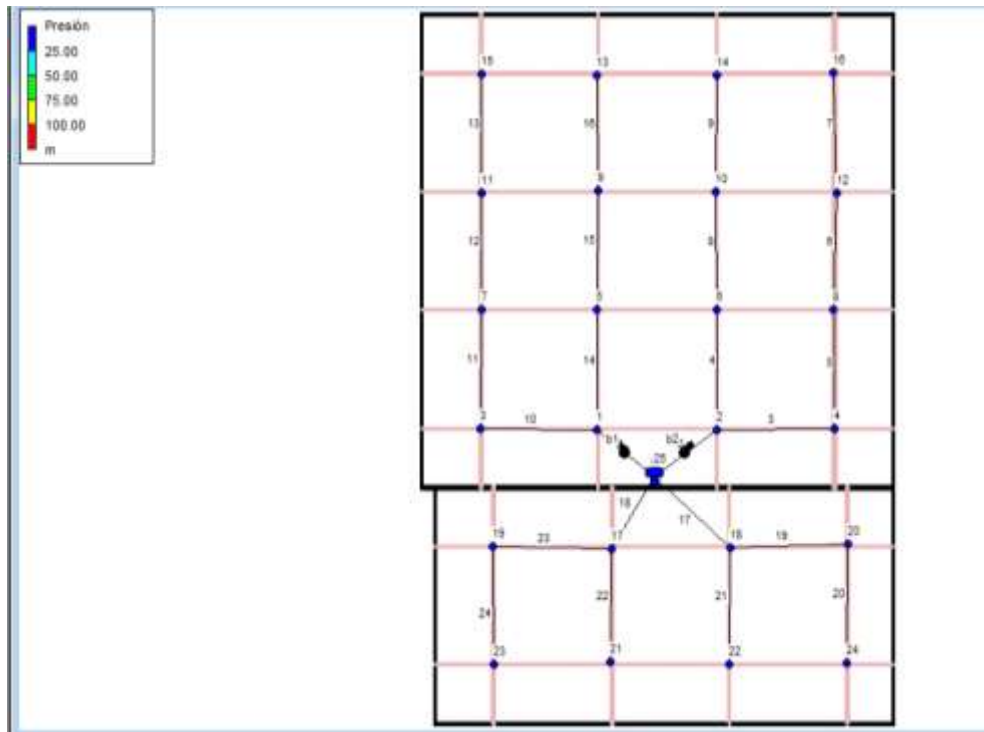
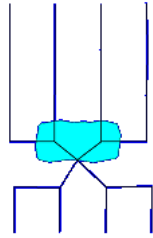
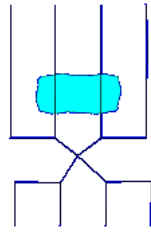


Ilustración 16 ID de nudos y tuberías

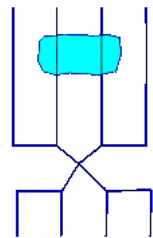
A continuación, se muestra el área de contorno de cada turno de cañones, como los niveles de presión en los cañones y las pérdidas en las tuberías.



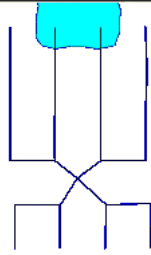
Turno 1



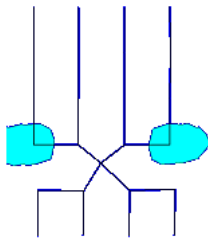
Turno 2



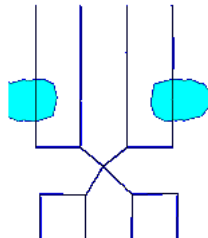
Turno 3



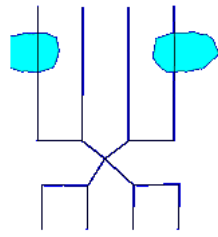
Turno 4



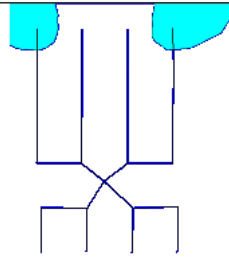
Turno 5



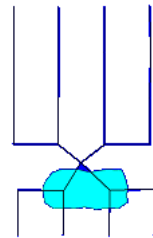
Turno 6



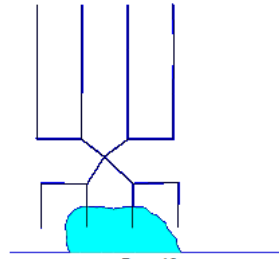
Turno 7



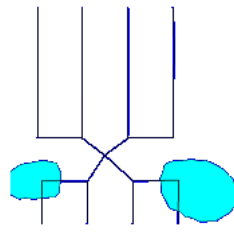
Turno 8



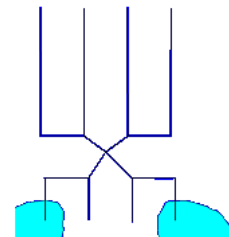
Turno 9



Turno 10



Turno 11



Turno 12

Ilustración 17 Posiciones con contorno de mojadura

Las pérdidas están dadas por la ecuación de Darcy –Weisbach, la cual permite el cálculo de la pérdida de carga debida a la fricción dentro una tubería.

$$hf = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 2 Darcy –Weisbach

Donde hf es la pérdida de carga debida a la fricción, calculada a partir de la fricción λ (término este conocido como factor de fricción de Darcy o coeficiente de rozamiento), la relación entre la longitud y el diámetro de la tubería L/D, la velocidad del flujo v, y la aceleración debida a la gravedad g que es constante.

En la siguiente se encuentran las pérdidas del sistema.

Tubería	Perdida unitaria(m/km)
1	12.13
2	12.13
3	14.76
4	14.76
5	14.76
6	14.76
7	14.76
8	14.76
9	14.76
10	14.76
11	14.76
12	14.76
13	14.76
14	14.76
15	14.76
16	14.76
17	11.23
18	11.23
19	14.76
20	14.76
21	14.76
22	14.76
23	14.76
24	14.76

Tabla 13 Pérdidas de tuberías

Fuente: Elaboración Propia

La presión con la que el cañón comienza a trabajar es de 8 m para alcanzar el diámetro establecido, por lo tanto, se entra a revisar en cada turno las alturas de los respectivos nudos.

ID nudo	Presión (m)
1	11.45
2	11.52
3	11.45
4	11.52
5	9.23
6	9.30
7	11.37
8	11.44
9	9.14
10	9.21
11	11.28
12	11.35
13	9.05
14	9.12
15	11.19
16	11.26
17	10.06
18	10.06
19	10.06
20	10.06
21	10.20
22	10.20
23	10.20
24	10.20

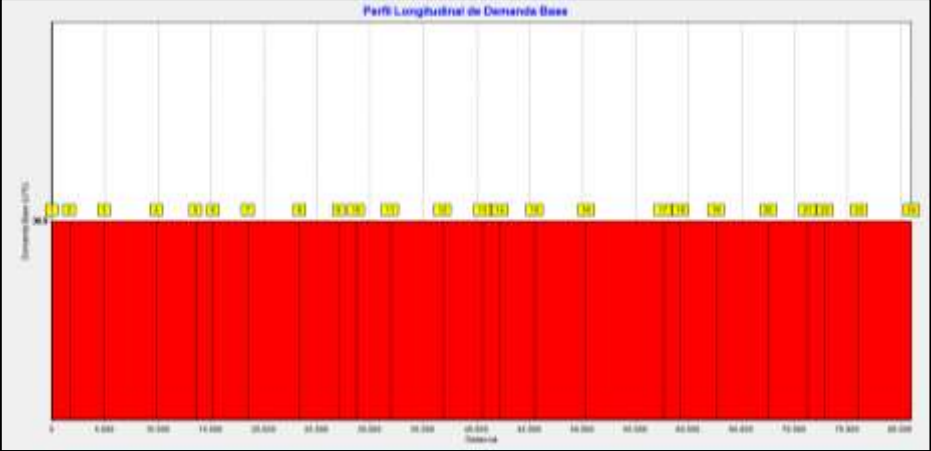
Tabla 14 Altura en cada nudo por turno

Fuente: Elaboración Propia

Como las presiones obtenidas fueron mayores a 8 m, el diseño cumple.

Para esta simulación la demanda base será el caudal que requiere el aspersor para llegar al diámetro de mojadora, en el momento de satisfacer el requerimiento de agua del cultivo dependerá del tiempo según cada mes.

En el sistema la demanda base de cada posición siempre será 38.9 l/s por lo tanto el perfil longitudinal da recto.



Gráfica 16. Perfil Longitudinal Demanda Base

Fuente: Elaboración Propia

19. PRESUPUESTO

En la siguiente tabla se hace el presupuesto de las actividades propuestas para el desarrollo del distrito.

ITEM	DESCRIPCION	UNID	CANT	VALOR UNT	VALOR TOTAL
1	Bocatoma				
1,1	Suministro e instalación de rejilla metálica de 1,27 m x 0,40 m, con varillas lisas de Ø 5/8". Con marco y guía de 2" x 1/4". Incluye pintura anticorrosiva.	UND	1	\$ 328.509	\$ 328.509
1,2	Excavación manual a todo costo	M3	1,86	\$ 23.450	\$ 43.617
1,3	Concreto corriente grava común 2000 PSI	M3	0,972	\$ 25.578	\$ 24.862
2	Cámara de almacenamiento				
2,1	Excavación manual a todo costo	M3	6.048	\$ 23.450	\$ 141.825.600
2,2	Muro recocido 0,12	M2	16	35368	\$ 565.888
2,3	Pañete interior para cámara de agua esmaltado e impermeabilizado	M2	16	\$ 28.414	\$ 454.624
2,4	Malla para filtro	M2	4	\$ 10.300	\$ 41.200
3	Suministro de bombeo, tuberías y accesorios				
3,1	Motor Diesel Deutz (alemán) F4L-914 de 4 cilindros de 66 Hp a 1.800 RPM.	UND	2	\$ 32.106.000	\$ 64.212.000
3,2	Bomba centrífuga Hidromac modelo 80/40 ZLND, caudal = 400 gpm x ADT 75m	UND	2	\$ 5.291.000	\$ 10.582.000
3,4	Tubería PVC 6" X 6M	UND	552	\$ 194.646	\$ 107.444.426
3,6	Unión 4"	UND	30	\$ 45.000	\$ 1.350.000
3,7	Unión 6"	UND	550	\$ 62.000	\$ 34.100.000
3,9	Te 6"	UND	24	\$ 168.000	\$ 4.032.000
4	Codo 6"	UND	8	\$ 114.000	\$ 912.000
4,2	Hidrantes	UND	24	\$ 132.000	\$ 3.168.000
4,3	Tripode	UND	2	\$ 562.000	\$ 1.124.000
4,4	Aspersor	UND	2	\$ 2.431.000	\$ 4.862.000
				Total	\$ 375.070.726

Tabla 15 Presupuesto

20. GUIA RAPIDA DE USO PARA EL USO DEL RIEGO

Para un buen funcionamiento de la estructura propuesta se deben cumplir algunos parámetros en su uso.

1. Verificar periódicamente que la bocatoma este en buen estado.
2. Limpiar periódicamente la rejilla y la cámara de almacenamiento.
3. Programar manualmente el arco de rotación del cañón a 360°.
4. Verificar estado de cada hidrante.
5. Mantener limpia el área de bombeo.
6. Cumplir con los tiempos estipulados.
7. Llenar formato por a diario.
8. Para los meses de abril, septiembre y octubre se debe regar solo durante 20 min por turno a mitad del mes un día.
9. Se recomienda no regar en periodos de 10:00 am a 3:00 pm.
10. Cualquier duda llamar al ingeniero.
11. Revisar calidad del agua periódicamente.
12. Verificar que el aspersor empate bien con el trípode que porta el cañón.

Enero	
Turno	Duración
1	04:00
2	05:00
3	06:00
4	07:00
5	08:00
6	09:00
7	03:00
8	04:00
9	05:00
10	06:00
11	07:00
12	08:00

Tabla 16 Duración Enero

Febrero	
Turno	Duración
1	04:00
2	04:50
3	05:40
4	06:30
5	07:20
6	08:10
7	09:00
8	03:00
9	03:50
10	04:40
11	05:30
12	06:20

Tabla 17 Duración Febrero

Marzo	
Turno	Duración
1	04:00
2	04:30
3	05:00
4	05:30
5	06:00
6	06:30
7	07:00
8	07:30
9	08:00
10	08:30
11	09:00
12	09:30

Tabla 18 Duración Marzo

Noviembre	
Turno	Duración
1	04:00
2	04:40
3	05:20
4	06:00
5	06:40
6	07:20
7	08:00
8	08:40
9	09:20
10	03:00
11	03:40
12	04:20

Tabla 19 Duración Noviembre

Diciembre	
Turno	Duración
1	04:00
2	04:40
3	05:20
4	06:00
5	06:40
6	07:20
7	08:00
8	08:40
9	09:20
10	03:00
11	03:40
12	04:20

Tabla 20 Duración Diciembre

21. RECOMENDACIONES

Se encontró que la fuente hídrica escogida para el desarrollo del proyecto puede ser aprovechable de forma adecuada sin ser afectada ambientalmente de una forma negativa, se recomienda hacer estudios acerca de la implementación de una captación alternada con aprovechamiento de aguas subterráneas.

Para futuras investigaciones, ampliaciones o continuaciones de este estudio, se recomienda hacer una evaluación de la fuente hídrica en otros puntos para favorecer zonas aledañas a las que les pudiese ser útil la implementación de este tipo de sistemas

De modo complementario, es importante tener en cuenta los otros tipos de requerimientos del cultivo como el abono, de modo que las condiciones de producción sean óptimas.

Es necesario acudir al sector del gobierno a quien corresponda la adecuación de tierras para obtener apoyo financiero ya que la inversión necesaria es alta. Así mismo, es preciso acudir a la corporación autónoma regional para solicitar la concesión del agua para así cumplir con todos los requisitos de ley.

22. CONCLUSIONES

Este proyecto aporta a la comunidad un estudio hidroclimático que no existía; dicho estudio facilitará el planteamiento y la planeación de diferentes proyectos que busquen desarrollar ayudas tanto para la adecuación como para el aprovechamiento de tierras en el municipio.

A partir del análisis de resultados obtenidos, se puede concluir que existe la necesidad expresa de implementar un distrito en esta zona, para lo cual el diseño propuesto cumple satisfactoriamente con los requerimientos de un sistema óptimo para estas condiciones.

Por medio del software CROPWAT se pudo conocer que la demanda hídrica no toma lugar todo el año, sino en una parte de él. Por ello, se evidencia que no hay abuso alguno sobre la fuente hídrica escogida para el proyecto.

En el manejo de los turnos, el turno 8 es el más vulnerable debido a su lejanía con la fuente hídrica. La distribución para este turno posee poca presión y mayores pérdidas.

Es importante que haya una figura del estado que apoye y se interese en lugares como la zona que se estudió, puesto que prometen un mayor desarrollo económico debido a su riqueza productiva.

La estructura propuesta muestra lo óptimo que puede llegar a ser el riego presentado, ya que permite la alimentación del cultivo en horas lejanas al medio día, optimizando el riego y mejorando la productividad. Dicha estructura comienza con una captación de fondo con rejilla de área igual a $50,8 m^2$ seguidas de una cámara de almacenamiento con volumen de $21.6 m^3$. De allí dos bombas Diésel extraen el agua para empezar la distribución, cada bomba lleva el agua a 12 posiciones diferentes por medio de tubería de 6", con el fin de evitar presiones negativas. Para finalizar, el agua sale por cañones durante el tiempo específico necesario para cumplir con el caudal requerido.

La propuesta de realizar el abastecimiento de agua haciendo uso de 12 turnos a lo largo del día, hacen que la inversión sea menor y aun así se siga cumpliendo con el requerimiento indicado.

La fuente hídrica escogida resulta ser la indicada para este distrito ya que su caudal es mayor al requerido.

23. Bibliografía

abc. (s.f.). importancia del riego en agricultura. Obtenido de <http://www.abc.com.py/edicion-impres/suplementos/abc-rural/importancia-del-riego-en-agricultura-1284503.html>

Agua para la alimentación – una cuestión de supervivencia. (s.f.). Obtenido de http://www.inforesources.ch/pdf/focus06_3_s.pdf.

(2006). *Agua para la alimentación – una cuestión de supervivencia* . InfoResources Focus.

Alocén, J. C. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*.

biotecnología, S. d. (2003). *Biotecnología y alimentos*. España.

CAR. (2010). *Distritos de riego CAR*. Bogota.

Celemín, A. H. (s.f.). *Para Nauticos*. Recuperado el 03 de 2017, de <http://www.paranauticos.com/Notas/Meteorologia/punto-de-rocio.htm>

civil, C. s. (s.f.). *La visión para la ingeniería civil en 2025*. ACSE.

Edmundo Varas, J. S. (1989). *Riego por aspersión* . Temuco, Chile: Instituto de investigaciones agropecuarias.

federrriego. (s.f.). *federrriego*. Obtenido de http://federriego.org/index.php?option=com_content&view=article&id=63:programa-riego-drenaje&catid=39:programas

Forcael, E., Vargas, S., Opazo, A., & Medina, L. (s.f.). Rol del ingeniero civil en la sociedad chilena contemporánea. *Revista de la construcción* .

Guevara Díaz, J. M. (2006). LA FÓRMULA DE PENMAN-MONTEITH FAO 1998.

INCODER. (s.f.). *Instituto Colombiano para el desarrollo rural*. Obtenido de www.incoder.gov.co

MAPFRE. (2003). *RIESGO Y SEGURO EN LA CONSTRUCCION DE INFRAESTRUCTURAS CIVILES*.

Orjuela, H. (26 de 04 de 2013). *Hidraco*. Obtenido de <http://www.hidraco.co/blog-hidraco/distritos-de-riego-en-colombia-una-necesidad-latente>

Richard G. Allen, L. S. (2006). Evapotranspiración del cultivo. En L. S. Richard G. Allen, *Guía para la determinación de los requerimientos de agua del cultivo*. Roma.

Trezza, R. (s.f.). *Cropwat para windows*.

Universidad Nacional Pedro Luis Gallo. (s.f.). *Medición de temperaturas y calibración de termómetros*.