



Diseño y recolección de Aguas Lluvias para Uso Agrícola de una vivienda rural del Municipio de Toledo, Norte de Santander

Autor

Ricardo Alexis Robayo Suarez

Directores

María Esther Rivera

Lic., PhD. en Hidrología

Luis Fernel Viracacha Quintero

MSc. Ing. Ambiental Hidrológica



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL, AMBIENTAL Y QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
INGENIERÍA CIVIL
2021



Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado 1

Jurado 2

Pamplona, 21 junio 2021





Dedicatoria

Dedico este documento principalmente a mi adorada hija con el sentimiento de amor más sincero.

A mis padres por sus esfuerzos invaluable en cada etapa de mi vida, por educarme y respaldarme, aconsejarme y tantas otras cosas, por las cuales me siento afortunado.

A mi esposa por su apoyo incondicional, finalmente y mis hermanos, por hacer parte de cada proceso.

Sin cada uno de ustedes nada hubiese sido posible.



Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios, por permitirme las herramientas para hacer posible este documento

Le agradezco de corazón a mi madre y padre Marisela Suarez y Miguel Robayo por tantas cosas

A mi universidad de Pamplona, y a cada uno de los docentes que hicieron parte de este proceso de formación, especialmente a mi directora de proyecto María Esther Rivera, quien de la mejor manera dispone de sus conocimientos, mil gracias, de igual manera al codirector, el ingeniero Luis Fernel Viracacha.

Finalmente, al señor Guillermo Montañez, a quien también le agradezco por su buena voluntad y generosidad por apoyarme para iniciar estudios universitarios, cuando solo contaba con el propósito, sin embargo, no contaba con los recursos necesarios para iniciar.

Resumen

La disponibilidad del recurso hídrico ha disminuido con el paso del tiempo, debido a la alteración de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica e intrusión en fuentes de agua dulce, convirtiéndolas en no aptas dado el alto grado de contaminación, principalmente a causa de factores antrópicos. Es por esto, que implementar tecnologías de aprovechamiento alternativo de los diferentes recursos, son en cierto grado parte de la solución a la problemática de abastecimiento de agua.

En este contexto, en el proyecto se presenta un sistema recolector de aguas lluvias para el sector agrícola en el área rural del municipio de Toledo, Norte de Santander. Para ello, se instaló un pluviómetro tipo vaso de precipitado para establecer relación entre la precipitación de la zona de proyecto, los datos disponibles en las estaciones vecinas del IDEAM y otras plataformas. Se tomaron muestras de agua lluvia en el periodo de estudio, evaluando la calidad del agua lluvia y uso óptimo mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos del Laboratorio de Control de Calidad y de Diagnóstico de la Universidad de Pamplona y la norma vigente. Luego, se determinó la evapotranspiración de referencia (ET_o), la precipitación efectiva, Requerimiento de agua del cultivo (RAC) de fresa y maíz. Después, se implementaron diferentes metodologías para el diseño de una red hidráulica en función de la superficie de recolección, teniendo en



cuenta la oferta, demanda, volumen de recolección. Por último, se creó una maqueta en SketchUp del diseño de recolección de agua lluvia.

Palabras clave: Abastecimiento, Aguas lluvias, ciclo hidrológico, estiaje, huella hídrica pluviómetro.

Abstract

The availability of water resources has decreased over time, due to the alteration of the ecosystems that regulate the water supply and intrusion into fresh water sources, making them unfit given the high degree of contamination, mainly due to anthropic factors. This is why implementing alternative use technologies for different resources are to a certain extent part of the solution to the problem of water supply.

In this context, the project presents a rainwater collection system for the agricultural sector in the rural area of the municipality of Toledo, Norte de Santander. To do this, a pluviometer type rain gauge was installed to establish a relationship between the rainfall in the project area, the data available at the neighboring IDEAM stations and other platforms. Rainwater samples were taken during the study period, evaluating the quality of the rainwater and optimal use through physico-chemical and microbiological analyzes obtained from the Quality Control and Diagnosis Laboratory of the University of Pamplona and the current standard.

Then, the evapotranspiration reference (ETo), effective precipitation, Crop water requirement (RAC) of strawberry and corn were determined. Later, different methodologies were implemented for the design of a hydraulic network depending on the collection area, taking into account supply, demand, and collection volume. Finally, a Sketchup mockup of the rainwater harvesting design was created.



Keywords: Catering, Rainy Waters, hydrological cycle, low water, Water footprint, Pluviometer



Índice de contenido

	Pág.
Capítulo I	16
1. Introducción	16
2. Planteamiento del problema y justificación	18
2.1 Planteamiento del problema	18
2.2 Formulación del problema.....	20
3. Justificación.....	21
4. Objetivos	23
4.1 Objetivo General	23
4.2 Objetivos específicos.....	23
5. Alcances y limitaciones	24
5.1 Alcances	24
5.2 Limitaciones	24
Capítulo II	26
6. Marco teórico y antecedentes	26
Capítulo III	41
7. Metodología	41
7.1 Tipo y diseño de la investigación	41
7.2 Determinación de las variables meteorológicas que inciden en la recolección de aguas lluvias.....	41
7.3 Caracterización de variables hidrológicas que inciden en la recolección de aguas lluvias en zona de estudio.	42
7.2.1 Estimación de la capacidad de recolección de aguas lluvias sobre la cubierta de una vivienda para el aprovechamiento agrícola.	64



Capítulo IV	77
8. Resultados y discusión	77
8.1 Determinación de las variables meteorológicas que inciden en la recolección de aguas lluvias.....	77
8.2 Caracterización de variables hidrológicas que inciden en la recolección de aguas lluvias en zona de estudio.	79
8.3 Estimar la capacidad de recolección de aguas lluvias sobre la cubierta de una vivienda para el aprovechamiento agrícola.	94
8.5 Crear una maqueta virtual de recolección de aguas lluvias en SketchUp	109
Conclusiones	112
Recomendaciones	115
Referencias bibliográficas	117

Lista de Tablas

	Pág.
<i>Tabla 1. Constante de velocidad superficial.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 2. Valores de rugosidad absoluta.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 3. Módulos para el requerimiento de agua de los cultivos (RAC).....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 4. Numero de muestras representativas por superficie de análisis.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 5. Serie de tamices usados en el análisis granulométrico.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 6. Coeficiente de corrección por temperatura Ct.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 7. Constante K para el cálculo del diámetro de las partículas en suspensión del suelo. ..</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 8. Gravedad especifica de algunos suelos en base a la granulometría</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 9. Periodos de retorno en años de acuerdo al área de drenaje.</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 10. Especificaciones de la sección de la canaleta PAVCO.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 11. Normas de calidad para el agua potable.</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 12. Puntajes de riesgo, para el cálculo del índice IRCA.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 13. Clasificación del nivel de riesgo IRCA.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 14. Parámetros mínimos admisibles para la calidad del agua para riego</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 15. Estaciones meteorológicas aledañas la zona de estudio.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 16. Precipitación media de la zona de influencia del proyecto.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 17. Precipitación efectiva de la zona de estudio para el año 2020.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 18. Evapotranspiración de los cultivos para el año 2020.....</i>	<i>84</i>



Tabla 19. <i>Coeficientes para el módulo de cultivo.</i>	85
Tabla 20. <i>Granulometría del ensayo de agregado grueso por tamizado.</i>	87
Tabla 21. <i>Humedad del suelo de la zona de estudio.</i>	88
Tabla 22. <i>Densidad aparente por el método de la parafina.</i>	88
Tabla 23. <i>Granulométrica de partículas finas de suelo por ensayo hidrométrico 152-H.</i>	89
Tabla 24. <i>registros de infiltración para obtener el modelo matemático de Horton.</i>	92
Tabla 25. <i>Cálculo del volumen del tanque de almacenamiento.</i>	99
Tabla 26. <i>Caudal de diseño.</i>	101
Tabla 27. <i>caudal de diseño para la proyección de mayor área tributaria.</i>	102
Tabla 28. <i>Déficit de agua mensual en función de la oferta y demanda de agua.</i>	104
Tabla 30. <i>Comparativos componentes químicos de las muestras tomadas.</i>	107
Tabla 31. <i>Puntaje de riesgo de las muestras de agua.</i>	108
Tabla 32. <i>Parámetros analizados, para uso agrícola.</i>	108
Tabla 33. <i>presupuesto del sistema de recolección pluvial</i>	112

Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1. Ubicación del proyecto.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 2 Área de la cubierta de la vivienda rural del municipio de Toledo.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3. Área efectiva de recolección de agua lluvia.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4. Recorrido en zigzag, para la toma de muestras.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 5. Procedimiento para la toma de muestras.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 6. Triangulo de las texturas del suelo, de acuerdo a su composición porcentual granulométrica.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 7. Materiales usados en el ensayo del hidrómetro.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 8. Proceso de agitación de los sólidos de suelo suspendidos en la solución, para distribución homogénea, de las partículas previo a las primeras lecturas.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 9. Hidrómetro o densímetro 152-H.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 10. Ensayo in situ para obtener la tasa de infiltración.</i>	<i>63</i>
<i>Figura 11. Parámetros para la ecuación de intensidad de Bernard (1932).....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 12. Descripción de la Canaleta Amazona.</i>	<i>69</i>
<i>Figura 13. Sección transversal trapezoidal de la canaleta Amazon.</i>	<i>70</i>
<i>Figura 14. Pluviómetro tipo vaso de precipitado, para monitoreo meteorológico pluvial instalado en la zona de estudio.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 15. Comportamiento diario de precipitaciones, durante el periodo de monitoreo del pluviómetro.</i>	<i>78</i>

<i>Figura 16. Registro pluviómetro del mes de noviembre de 2020.</i>	79
<i>Figura 17. Área aferente de cada estación vecina en la zona de estudio.</i>	80
<i>Figura 18. Análisis comparativo del fenómeno meteorológico mensual.</i>	82
<i>Figura 19. Distribución granulométrica de acuerdo al ensayo de la fracción gruesa del suelo.</i> 86	
<i>Figura 20. Curva de distribución granulométrica de la fracción fina del suelo.</i>	90
<i>Figura 21. modelo de regresión lineal en base a logaritmos de infiltración</i>	93
<i>Figura 22. lamina y curva de infiltración, modelo de Horton.</i>	94
<i>Figura 23. Lamina de riego mensual para cultivos de fresa y maíz.</i>	95
<i>Figura 24. Oferta- demanda, del cultivo para diferentes áreas de cultivo.</i>	97
<i>Figura 25. Vista en corte de un módulo tipo, de madera con recubrimiento de plástico de polietileno</i>	98
<i>Figura 26. Curvas intensidad Duración y frecuencia IDF.</i>	100
<i>Figura 27. Volumen del potencial hídrico mensual.</i>	105
<i>Figura 28. Render del modelo de recolección pluvial.</i>	110
<i>Figura 29. Corte longitudinal, desde la proyección frontal de la vivienda del proyecto.</i>	110
<i>Figura 30. Planos de la vivienda del modelo de recolección de aguas lluvias.</i>	111



Índice de Anexos

<i>Anexo A. Variables climatológicas.....</i>	<i>123</i>
<i>Anexo B. Datos faltantes.....</i>	<i>126</i>
<i>Anexo C. registros fotográficos de los ensayos de suelo.....</i>	<i>132</i>

Capítulo I

1. Introducción

La agricultura es uno de los sectores de mayor demanda hídrica a nivel mundial, sin embargo, también ha sufrido las consecuencias del déficit de agua en algunos periodos de estiaje que ha ido aumentando con el paso de los años, es alarmante la manera en que mientras el consumo crece de manera exponencial, la disponibilidad del recurso disminuye en proporción a los efectos de la mala gestión del mismo.

Un planteamiento importante para atenuar los impactos mencionado en el párrafo anterior, es la implementación de sistemas de gestión del recurso llamado también cosechas de agua de origen pluvial, para diferentes usos, dependiendo de estándares de calidad, como resultado de análisis de laboratorio, que definen el uso y dado el caso el tratamiento respectivo.

La precipitación media del área aferente planteada en la zona de estudio, se determinó mediante la metodología de polígonos de Thiessen, al mismo tiempo que se relacionaron las estaciones vecinas disponibles analógicamente, es decir, con características geo-climáticas y espaciales similares a las del pluviómetro del proyecto.



Como resultado del estudio se presentan diferentes análisis, con el fin de estimar la capacidad de optima del potencial pluvial, teniendo en cuenta los requerimientos del cultivo y los agentes climatológicos, en el balance natural de los complejos procesos que dan lugar a la producción de los agro-ecosistemas

Con lo anterior mencionado, se busca dar solución en cierto grado al estrés hídrico ocasionados por periodos prolongados de sequía sobre los suelos del cultivo reduciendo su capacidad de campo CC, a su vez, generando perdidas agrícolas.

2. Planteamiento del problema y justificación

2.1 Planteamiento del problema

A través del tiempo se ha visto el incremento en el desabastecimiento de agua, debido a la disminución de las láminas de agua de muchos ríos por el cambio en los periodos de precipitación, la cual es un gran problema en las diferentes regiones en Colombia, como consecuencia de los incrementos de temperatura. Además, se conocen las afectaciones que puede ocasionar, como la falta de agua para consumo doméstico, pérdidas agrícolas y ganaderas. Por otra parte, la demanda de agua es tendiente a aumentar, debido al crecimiento poblacional, sumado a esto los cambios de patrones hidro-climáticos, que alteran los periodos de sequía y lluvia.

Según Losada (2015) para Colombia se obtuvo un aumento de la temperatura media de $0.13^{\circ}\text{C}/\text{década}$ en el periodo 1971-2000, a su vez los volúmenes de precipitación decrecerían, lo que implica mayor pérdida de agua hacia la atmósfera por evapotranspiración.

De acuerdo con Avellaneda (2011), alrededor del 80% del uso de agua dulce en Europa (potable y otros usos) proviene de ríos y aguas subterráneas, lo que sugiere una gran cantidad de explotación de estas fuentes, por ende, una disminución de caudales en las fuentes de abastecimiento. En el caso de Colombia, el IDEAM reporta a través del estudio Nacional del agua (2018)

que el recurso hídrico no se distribuye homogéneamente en las diferentes zonas hidrográficas del país.

Bien se sabe que las características climatológicas, la variabilidad natural, las características de la cobertura vegetal, usos del suelo, litología, geología y el régimen hidrológico, inciden en la oferta hídrica. Sin embargo, hoy en día según algunas investigaciones se ve afectada por la variabilidad climática y el cambio climático.

En el caso del departamento Norte de Santander, los agricultores se han visto afectados por periodos de sequías y de acuerdo con CORPONOR (2018), se han presentado sequías severas y extremas en los periodos de 1985,1988, 1991-1992, 1997-1998, 2001,2009,2015-2016, y sequías menos severas en 1982-1983-1986-1987, 2002-2003. Así mismo, se ha visto que las precipitaciones en Norte de Santander tienen una tendencia a disminuir en las series de registros 1981-2015 (abril-mayo, octubre –noviembre). Sin embargo, las últimas temporadas de precipitación han ocasionado desastres como: inundaciones, pérdidas de banca, entre otras

En el último año, en el área rural de Toledo se ha visto disminución de caudales, a su vez el periodo de lluvias también ha decrecido, o variado en comparación de años anteriores, por ende, se disminuye el agua del suelo y afecta en cierta medida la cobertura vegetal. Sin em-

bargo, el municipio de Toledo también ha sido víctima de los fenómenos naturales, como precipitaciones extremas que han ocasionado socavación, pérdida de banca, erosión, crecientes súbitos, entre otras.

Teniendo en cuenta a Giraldo (2016) dependiendo el material de recolección de agua lluvia, se generan un tipo de pérdidas sobre la escorrentía total, producto de la porosidad y la evaporación sobre la superficie de la cubierta, de acuerdo al caso del proyecto.

2.2 Formulación del problema

Cabe anotar que en la zona de estudio no existe un sistema de recolección para el aprovechamiento de agua lluvia. Por tal razón, se plantean las siguientes preguntas:

- ¿Se podrá implementar la recolección de agua lluvia como una medida de manejo del recurso hídrico?,
- ¿podrá recolectarse agua lluvia suficiente para abastecer el requerimiento de un cultivo en época de estiaje?,
- ¿el diseño de canalización de agua lluvia será el más adecuado para la optimización de este recurso en el uso agrícola?

3. Justificación

De acuerdo con Castañeda (2010), el uso del agua lluvia, como una alternativa de abastecimiento (independientemente del uso que se le desea dar), requiere diseño para la conducción, almacenamiento, potabilización y distribución, así pues, estos componentes son de gran importancia para la ingeniería civil, para la implementación de metodologías de sistemas autosostenibles de recolección de aguas lluvias y cubrir las necesidades de una población. Así mismo León (2016), plantea el uso y recolección de aguas lluvias en aeropuertos, teniendo en cuenta de la gran demanda de la fuente hídrica.

Teniendo en cuenta a Villanueva (2018), Colombia basa gran parte de su economía en el sector agrícola, ahora bien, la dotación hídrica que demandan estos cultivos es considerable. Así mismo, es importante considerar que las estructuras de captación, recolección y distribución de agua lluvia, se enmarcan en criterios de diseño para la Ingeniería Civil, y sobre todo sabiendo que la disminución del recurso hídrico está relacionada con la variabilidad climática. Por lo tanto, se resalta que, en el municipio Toledo, es necesario que se desarrolle este tipo de investigaciones para brindar soluciones a las personas que desarrollan actividades agrícolas como, maíz, morón, frijol, papa, arveja, fresa, plátano, durazno, entre otras, así mismo, se destaca por su producción de café.



Es importante optimizar los recursos hídricos al máximo, por ello, se debe conocer el consumo de agua de una la población. Para el caso de esta investigación, la población agrícola requiere diferentes necesidades, dependiendo del tipo de cultivo, y etapa en que se encuentre, en este sentido FAO (2012), plantea, modelos de gestión del recurso hídrico para un mayor rendimiento y producción agrícola, como es el caso del software CROPWAT, que se deben ingresar información de las propiedades físicas del suelo y del cultivo, condiciones hidro climáticas, generando cronogramas de riego durante las diferentes etapas del cultivo, cabe resaltar, que hay periodos en que el cultivo requiere riego abundante, y en otros periodos no es necesario. En conclusión, se mejora producción, se tiene un control y gestión de riego, generando impactos económico y ambiental positivos.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Diseñar un sistema recolección de aguas lluvias para uso agrícola, para una vivienda rural del municipio de Toledo Norte de Santander

4.2 Objetivos específicos

- Determinar las características meteorológicas que inciden en la recolección de aguas lluvias.
- Caracterizar las variables hidrológicas que inciden en la recolección de aguas lluvias en zona de estudio.
- Estimar la capacidad de recolección de aguas lluvias sobre la cubierta de una vivienda para el aprovechamiento agrícola.
- Analizar la viabilidad del uso del agua lluvia como una alternativa en los cultivos durante la época de estiaje.
- Crear una maqueta virtual de recolección de aguas lluvias en SketchUp

5. Alcances y limitaciones

5.1 Alcances

- El presente estudio abarca, datos históricos, de series multianuales meteorológicas, para análisis e incidencia en el diseño de un sistema de recolección de agua lluvia cultivo a partir de modelos de investigación y correlación, para el cálculo del requerimiento de agua en el cultivo.
- Uso del software Cropwat para estimar la precipitación efectiva, así mismo, estimar el cronograma de riego mediante la metodología de servicio de conservación de suelos

5.2 Limitaciones

- En la zona de influencia del proyecto no existe una estación de monitoreo que relacione directamente el punto de estudio, sin embargo, se instaló un pluviómetro tipo vaso de precipitado para completar el eslabón meteorológico y relacionar las estaciones vecinas disponibles del IDEAM, para estimar la precipitación media y conocer la oferta pluvial.
- La mayoría de series analizadas presento datos faltantes, para lo cual se imputaron mediante el software InfoStat, por el método de la distancia Euclídea, el cual identifica en



términos de la distancia los datos asociados al índice de similitud entre datos completos y calcula el ponderado más cercano.

- En el marco de la pandemia (covid-19), que afecta a nivel mundial la movilidad, dificulta para desplazamiento para la toma de muestras y ensayos necesarios para llevar a cabo el presente proyecto.

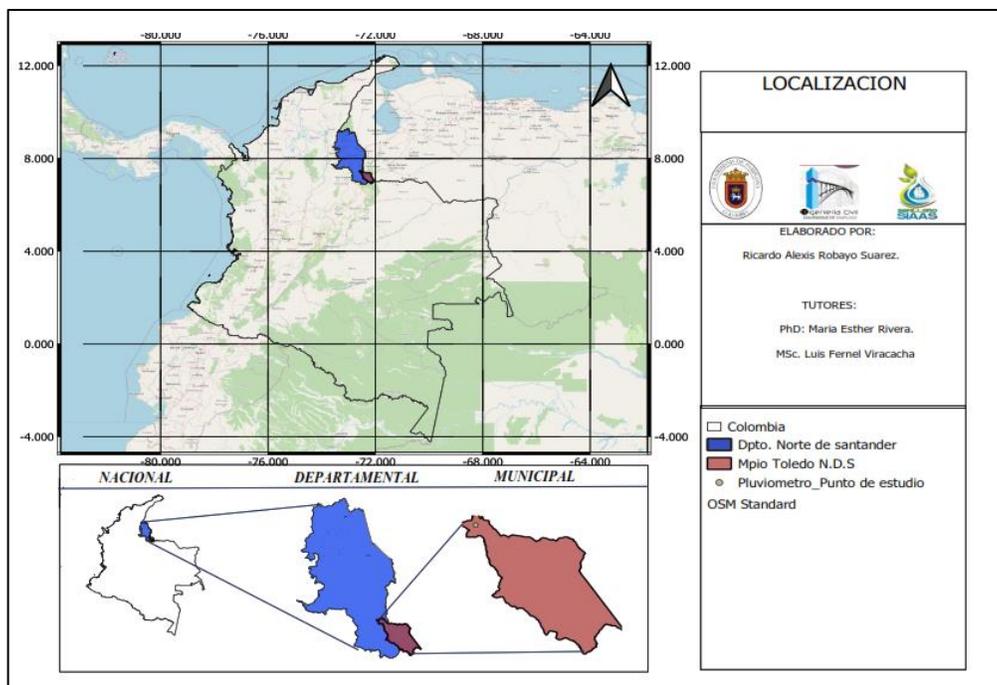
Capítulo II

6. Marco teórico y antecedentes

El proyecto de captación de agua lluvia se encuentra localizado En el municipio de Toledo en el departamento Norte de Santander (Ver figura 1), sobre la vía que conecta los municipios, Toledo y Chinácota aproximadamente equidistante, a unos 26 kilómetros entre los dos municipios, y alrededor de 3 kilómetros abajo del páramo Meje en dirección a Toledo.

Figura 1.

Ubicación del proyecto



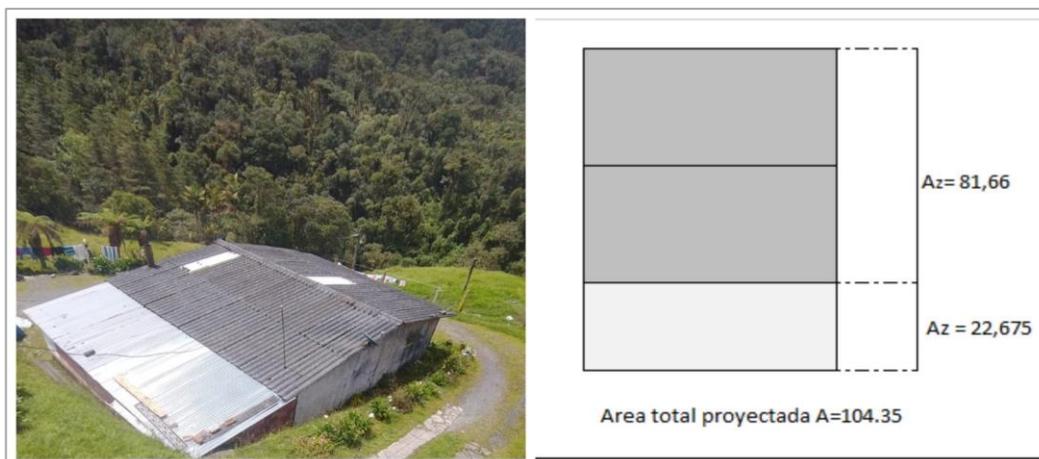
Fuente: Robayo S (2021)

De acuerdo con la *guía de diseño para captación del agua de lluvia (2004)*, un sistema que llama la atención para captar y eliminar las primeras aguas, es decir las aguas contaminadas o con sedimentos acumulados sobre la superficie de la cubierta mediante un sistema hidráulico de cierre automático que desplaza una bola de jebe, mediante la presión que genera el llenado del depósito de estas primeras aguas.

El área de la cubierta de la vivienda rural del municipio de Toledo (Figura2) tiene una superficie de cubierta en Eternit (asbesto-cemento) equivalente a 8,68 m x 9,50 m a dos aguas, con área asimétricamente distribuidas. Además, de una superficie en láminas de zinc de 8,48 m x 2,70 m, debido a que se construyó en dos fases. Ahora bien, la pendiente de la cubierta de recolección para determinar el área efectiva en el plano horizontal es de 14%.

Figura 2

Área de la cubierta de la vivienda rural del municipio de Toledo



Fuente: Robayo S (2021)

En la figura 3 se observa, el área efectiva de los diferentes tipos de cubierta, en este contexto el área inclinada para el proyecto de investigación es de $A_e = 82,46 \text{ m}^2$, $A_z = 22,896 \text{ m}^2$, $A_t = 105.356 \text{ m}^2$, siendo área de Eternit, de zinc y área total respectivamente, para posterior cálculo del área efectiva de recolección en el plano horizontal. Para el Eternit es de $A=81,66 \text{ m}^2$ y para las láminas de zinc es de $A= 22,675 \text{ m}^2$.

Figura 3.

Área efectiva de recolección de agua lluvia



Fuente: Robayo S (2021)

Conforme a la resolución 0330 de 2017, la dotación neta de agua se obtiene mediante datos históricos de consumo de determinada población, sin embargo establece valores máximos de acuerdo a la altura en referencial al mar, por ejemplo la zona de estudio esta alrededor de 2400 m.s.n.m por lo que corresponde un valor máximo de 120 litros diarios por habitante, el cual se puede asumir debido a que no presenta registros, no obstante esto difiere según el área objeto, es

decir obedece a una serie de factores tales como, tipo de población (rural, urbana), hábitos de consumo, el costo del servicio, la temperatura del lugar, entre otros, en este contexto, el agua lluvia puede cubrir las necesidades hídricas mediante el diseño adecuado de reservorios o tanques de almacenamiento.

Cabe resaltar la importancia de la implementación de alternativas sostenibles para gestionar el agua lluvia teniendo en cuenta que es un recurso no renovable, pese a que el ciclo hidrológico es cíclico, sin embargo, debido a factores antrópicos (uso y obras que modifican las propiedades de infiltración del suelo, procesos industriales, disminución de la cobertura vegetal, erosión, incendios forestales, entre otros), alteran los procesos naturales para la renovación del vital líquido, a su vez se ven reflejados los cambios drásticos de temperatura, periodos secos, lluvias intensas es decir la variabilidad climática que se ha ido alterando con el paso del tiempo.

Para el IDEAM (2018), la variabilidad climática se presenta, con el paso del tiempo, el clima presenta oscilaciones por encima y debajo de los valores medios en las variables climatológicas (precipitación, temperatura, velocidad el viento, radiación solar, etc.). Lo que en términos generales significa una desviación anormal del comportamiento del clima, en cualquier serie de tiempo analizada (no inferior a 30 años). Así mismo, IDEAM (2018) considera que la precipitación es un fenómeno hidrológico, donde se desprende una partícula de agua desde la atmosfera, y se descarga sobre la superficie terrestre. De igual manera, Torres (1977), describe la evapotrans-

piración, como la cantidad de agua en forma de vapor, que por efectos de la energía del sol asciende a la atmosfera desde diferentes superficies, tales como, la cobertura vegetal, la superficie marina, etc.

En cumplimiento al decreto 1090 de 2018, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, donde establece el uso optimo del recurso hídrico, mediante la adopción de estrategias de aprovechamiento, ahorro y reutilización, considerando el agua como fuente de desarrollo social y económico. Cabe resaltar, que mediante la implementación del proyecto en el municipio de Toledo y utilización del agua lluvia como mecanismo alternativo de abastecimiento en los cultivos en temporada de estiaje, pretende ser un modelo de gestión y aprovechamiento del potencial hídrico sostenible, para futuros proyectos de la región generando hábito social de explotación alterna y eficiente del agua, debido su disminución a través del tiempo por efectos del cambio climático.

De acuerdo con la norma técnica de recolección de aguas residuales y lluvias NDI-SE-RA-007/V1.0 (2011), las curvas IDF (intensidad, duración y frecuencia proporcionan información importante para el cálculo y diseño de los caudales, teniendo en cuenta los periodos de los eventos meteorológicos máximos, y estudios hidrológicos en el área de estudio.

Ordoñez (2011), menciona que la escorrentía superficial, es el agua que se precipita y fluye a través de cualquier superficie, sin evaporarse e infiltrarse, sin embargo, cuando esta esco-

rentía se disminuye considerablemente y se bajan los niveles de los caudales de los ríos afectando la oferta hídrica, por efectos de la ausencia de precipitaciones, este periodo prolongado se le denomina Periodo de estiaje.

El IDEAM (2015) denomina la oferta hídrica como la relación entre el volumen de escorrentía de agua con el tiempo que permanece en el suelo sin evaporarse o infiltrarse, entre las cuales se encuentra el abasto de sistemas de distribución de agua. Así mismo, Tolón (2013) considera la huella hídrica, como un indicador de consumo de volumen de agua para la producción de bienes o servicios. Así mismo, el consumo del agua por las plantas se define como huella hídrica verde.

Por otra parte, la sequía es un evento extremo de ausencia prolongada de precipitaciones, que genera un sin número de problemas, desde el desabastecimiento del recurso hídrico, hasta muertes, y grandes pérdidas económicas. Existen diferentes tipos de sequía, CORPONOR (2018), indica los siguientes.

- a) Sequia meteorológica: sucede, cuando se presenta una disminución por debajo de los niveles normales de la precipitación en un lapso de tiempo. Además, deriva los demás tipos de sequía.
- b) Sequia hidrológica: cuando la escorrentía superficial llega a sus niveles mínimos, superando la demanda hídrica, como resultado, genera grandes impactos a los ecosistemas.

- c) Sequia agrícola: se produce cuando el suelo no provee suficiente agua para que un cultivo pueda desarrollarse.
- d) Sequia socioeconómica: se da cuando la oferta hídrica no alcanza a cubrir el consumo, para el desarrollo de las actividades humanas, requeridos por una población.
- e) Sequia invisible: se presenta, cuando hay ausencia parcial de precipitación, por debajo de la media, acumulando ligeramente, hasta no poder cubrir la huella hídrica verde.
- f) Sequia contingente: esta sequia se presenta como una baja muy poco común de oferta hídrica, y se presenta en temporada de lluvias

La captación de aguas lluvias se basa en la utilización de cualquier superficie, como sistema de conducción y aprovechamiento del recurso hídrico, de modo que pueda abastecer diferentes necesidades de cualquier población, humana, agrícola, ganadera, etc.

Autores como Boers & Ben-Asher (1982); T. D. Fletcher, et al., (2008); Sturm, et al., (2009) y Zhang, et al., (2009) citado en Estupiñan y Zapata (2010), consideran que a nivel mundial han surgido diferentes modelos de infraestructura de sistemas de recolección de agua lluvia que constan de cuatro componentes primarios: captación, tratamiento, almacenamiento y distribución

De acuerdo normativa vigente RAS 2000 y su actualización en la Resolución 0330 del 2017, es necesario calcular la relación lluvia-escorrentía con base en la cobertura vegetal, uso del

suelo, condición hidrológica del suelo, y la precipitación efectiva determinando el número de curva de la zona. Con respecto al caudal pico se necesita considerar el área efectiva de la cubierta de relección, teniendo en cuenta que es menor a 80 ha. Por lo tanto, se puede determinar mediante el método racional, desarrollado por Mulvaney en 1850, el cual tiene en cuenta que la cuenca total tiene una superficie única y uniforme en tiempo y espacio, con un tamaño igual al área de la cuenca (Rodríguez, Camacho, & Villareal J, 2008 citado en Estupiñán y Zapata, 2010)

Las variables que inciden en el comportamiento del caudal pico o caudal máximo sobre una superficie son, el coeficiente de escorrentía (C), el cual depende de tipo de superficie, textura del suelo y pendiente de la zona; intensidad máxima (I) y duración de la lluvia es igual al tiempo de concentración, el cual es el recorrido de la escorrentía formada durante la lluvia, desde el inicio (cota máxima de la superficie de la cubierta), hasta el final del recorrido (cota mínima de la superficie de la cubierta), es decir, el tiempo que tarda en recorrer dicho trayecto; y el área afluente (A). En la ecuación 1 se muestra la relación de las variables anteriormente mencionadas.

$$Q = C \times I \times A \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde, Q - Caudal pico de aguas lluvias (L/s); C - Coeficiente de impermeabilidad (adimensional); I - Intensidad de precipitación respecto al tiempo de concentración (L/s.ha) y A - área tributaria de drenaje (ha).

Entre los principales componentes de un sistema de recolección de y aprovechamiento de agua lluvia, se encuentra la superficie de recolección, la cual es la encargada de interceptar agua durante el fenómeno hidrológico de precipitación y trasladarla a la red de conducción.

Generalmente, para proyectos que usan las superficie de la cubierta de una vivienda, se dispone de una red de canales suspendidos que interceptan el fluido, con el fin de transportar el agua hacia los tanques de almacenamiento, la cual dependen del estudio hidrológico para determinar la capacidad de recolección y la necesidad del proyecto, previamente en algunos casos, dependiendo el tipo de proyecto y uso que se le quiera dar, se diseñan cámaras de tratamiento, para eliminar cualquier patógeno que pueda afectar la calidad del agua.

Finalmente, se dispone del sistema de conducción, encargado de llevar el agua al punto de consumo, que depende de las de las siguientes consideraciones: la cota de consumo se encuentre por debajo de la cota del tanque de almacenamiento, la cota de consumo se encuentre por sobre de la cota del tanque de almacenamiento, en estos casos puede ser un sistema de impulsión (bombeo), o de gravedad respectivamente, o dado el caso un sistema mixto.

Según el manual técnico de Aquino (2010), relaciona dimensionamiento de las canaletas de recolección, con la superficie de la cubierta, donde para Áreas relativamente pequeñas (menores a 60 m²), es suficiente media sección de tubería de 6 pulg de diámetro, sin embargo es importante mencionar que el área de la cubierta de la vivienda de este proyecto es de alrededor 104

m², ahora bien está dividida a dos aguas, es decir, que el área puede estar dentro del rango para canales de dimensiones mínimas, no obstante, habría que analizar el volumen máximo de precipitaciones mediante series de datos históricos y tomados in situ, para incluir una sección de canales apropiada para conducir el fluido, relacionando estos parámetros, mediante la ecuación (2) de Manning.

$$Q = Av = A \frac{1}{n} R^{\frac{1}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde, Q- Caudal en la canaleta (m³/s). A-Área de la sección transversal del canal (m²).
n-Coeficiente de rugosidad de la canaleta. R- Radio hidráulico (m) =A/P. P-Perímetro mojado de la sección (m). S-Pendiente (m/m).

Por otra parte, una técnica poco común para el diseño y construcción de los reservorios o tanques de almacenamiento, se basa en construir tanques de ferrocemento, su nombre atribuye al francés Joseph Louis Lambot, básicamente está conformado por varias capas de mallas de alambre, electrosoldadas, y una proporción más reducida de varillas de acero y reemplazando el concreto comúnmente usado por un mortero (mezcla de cemento y arena) , en forma de cascaron, se le denomina así debido a que la relación entre las dimensiones del tanque y espesor de sus paredes es mucho menor.

Con respecto al tiempo de concentración, la Resolución 0330 del 2017 considera que si la “lluvia se distribuye uniformemente sobre toda el área de drenaje”. De igual manera, “la intensidad de la lluvia permanece constante durante un período de tiempo por lo menos igual al tiempo de concentración. Esta suposición es particularmente correcta para períodos de tiempo relativamente cortos y el tiempo de concentración puede ocurrir en cualquier momento a lo largo del período de lluvia, ya sea cerca al comienzo, en la mitad o al final de ésta”.

Por otra parte, es necesario tener en cuenta las limitaciones del método racional. A continuación, se mencionan algunas que tiene aplicación con el presente proyecto (RAS, inciso D). a) El punto en el hidrograma de escorrentía, es el caudal pico. b) Si la superficie es quebrada, compleja, y el patrón de lluvia tiende a tener un pico muy alto entonces, la ecuación puede sobrestimar el caudal. Para el caso de la constante que depende de la superficie, se presenta en la tabla (1).

Dicha ecuación de uso y conservación de suelos (SCS), Que describe el tiempo de entrada en función de la velocidad de recorrido del fluido se muestra a continuación.

$$T_e = \frac{L}{60 \times v_s} \quad \text{Ec. (3)}$$

Entonces la velocidad de la escorrentía o recorrido se expresa como.

$$v_s = \alpha \times \sqrt{S} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde: T_e -Tiempo de entrada (min). L -Longitud máxima del recorrido de flujo (m). v_s -Velocidad de flujo (m/s). α -Constante de velocidad. S - Pendiente media del tamo más largo.

Tabla 1.

Constante de velocidad superficial

Tipo de superficie	α
Bosque con sotobosque denso	0,7
Pastos y patios	2
Áreas cultivadas en surcos	2,7
Suelos desnudos	3,15
Áreas pavimentadas y tramos iniciales de Quebradas	6,5

Fuente: Ras 2016, Título D

Con respecto al tiempo de recorrido se puede decir que es el tiempo la gota de agua lluvia dura en recorrer el sistema, desde el punto de entrada hasta el punto de análisis o salida de la cuenca, ver ecuación 5.

$$Tr = L / (60*v) \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde, Tr - Tiempo de recorrido (min). L - Longitud de la tubería o tramo de red (m) y V es la velocidad media del flujo (m/s).

Según Ortiz & Velandia (2017), mediante la ecuación de Darcy-Weisbach, (ecuación 6) se puede determinar las pérdidas generadas al caudal, durante el recorrido por la tubería de la red

de distribución de agua debido a la fricción generada por el material de conducción, definido por la ecuación 4 en función del caudal.

$$h = 0,0826 \times f \times L \times \left(\frac{Q^2}{D^5}\right) \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde, h-perdida de carga, f-Coeficiente de fricción (adimensional) depende la rugosidad relativa de la tubería (ϵr) y del número de Reynolds (Re), L- Longitud de la tubería, D-Diámetro de la tubería, Q-Caudal (m^3/s).

$$Re = D \times v \times \left(\frac{\rho}{\mu}\right) \quad \text{Ec. (7)}$$

$$\epsilon r = \frac{\epsilon}{D} \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde, v-Velocidad media (m/s^2), μ - Viscosidad del fluido, ϵ -Rugosidad absoluta de la tubería.

Con base en la tabla 2, determinamos la rugosidad absoluta para el material correspondiente a los diseños hidráulicos.

Tabla 2.

Valores de rugosidad absoluta.

Rugosidad absoluta de materiales			
Material	ε(mm)	Material	ε(mm)
Plástico (PE, PVC)	0,00015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	madera	0,18-0,90
fundición centrifugada	0,003	hormigón	0,3-3,0

Fuente: Ortiz & Velandia (2017).

De manera similar, el método empírico de Hazen-William solo para las aguas que se encuentren a temperaturas entre 5°C a 25°C. pérdidas de cargas por fricción en las tuberías para redes de distribución de diversos materiales. Es una ecuación sencilla y determina las perdidas por fricción, de las redes de tubería, según el tipo del material. Definido por la ecuación 9.

$$h = 10,674 \times \left[\left(\frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} D^{4,871}} \right) \right] \times L \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde, h-Perdida de carga o energía (m),Q-Caudal (m³/s), C-e de rugosidad (adimensional),D-Diámetro interno de la tubería (m),L-Longitud de la tubería (m).

Finalmente se calcula el coeficiente general de toda la superficie de estudio, mediante la ecuación 10.

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \times A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad \text{Ec. (10)}$$

Donde, C-Coeficiente de escorrentía ponderado. Ci-Coeficiente de escorrentía para el área Ai.

Ai- Área parcial i

Capítulo III

7. Metodología

7.1 Tipo y diseño de la investigación

El desarrollo del proyecto abarca, investigación tipo experimental en sus diferentes etapas de recolección, medición y análisis cualitativo y cuantitativo de datos, mediante técnicas empíricas y de correlación.

7.2 Determinación de las variables meteorológicas que inciden en la recolección de aguas lluvias.

Partiendo del hecho que en la zona de estudio no se cuenta con estación meteorológica, o pluviométrica, se instaló un pluviómetro tipo vaso de precipitado desde el 18 de noviembre de 2020. De igual manera, se utilizaron series de datos de las plataformas GLOBAL Climate Monitor, Meteoblue, y las estaciones de monitoreo del IDEAM, debido a la densidad de las series de datos analizados fue necesario imputar datos faltantes en el software estadístico INFOSTAT, por el método de la distancia Euclídea.

7.3 Caracterización de variables hidrológicas que inciden en la recolección de aguas lluvias en zona de estudio.

Para la ponderación espacial de la precipitación media de una cuenca o superficie de influencia, se aplicó la metodología de polígonos de Thiessen. Para la selección de las estaciones vecinas, circundantes o aledañas se tuvo en cuenta los siguientes criterios: a) Características geoclimáticas de cada una de las estaciones, en relación a la zona de proyecto, b) Distancia desde la zona de proyecto a la estación de monitoreo y c) Relación entre cotas de la estación y la zona de proyecto, una vez evaluados estos criterios, se procede a generar polígonos de Thiessen. Finalmente, se correlacionan cada área aferente de cada estación, con la precipitación promedio multi-anual por medio de la ecuación 11, obtenido así la precipitación media de la superficie de interés.

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \times A_i}{\sum A_i} \quad \text{Ec. (11)}$$

Donde, P- Precipitación media de la superficie de estudio (mm). Pi- Precipitación de la estación i. Ai- Área de influencia de la estación i.

Para estimar el requerimiento hídrico del cultivo se tuvieron en cuenta tres variables fundamentales: El suelo, el cultivo y variables climatológicas (ver la tabla 3), cada una atañe en cierto grado en la oferta hídrica natural agrícola, de acuerdo al balance hídrico entre las entradas y salidas de agua en la zona de aporte a las raíces es decir, la fracción del fluido que no se convirtió en escorrentía superficial, se evaporo e infiltró profundamente, como resultado, estimar

con mayor precisión el restante de la huella hídrica requerida, para obtener un cronograma, uso y manejo eficiente del recurso, en cada una de las etapas del cultivo.

Tabla 3.

Módulos para el requerimiento de agua de los cultivos (RAC).

Factores	variables relacionadas	Descripción
Clima	Temperatura, humedad, precipitación, insolación, velocidad del viento Precipitación efectiva	la evapotranspiración de referencia ETo es la parte del ciclo hidrológico, donde se combinan la evaporación en una superficie de suelo y la transpiración del cultivo, efecto de las variables climáticas, para dar lugar al desprendimiento o pérdida de agua en forma de vapor a la atmósfera.
Cultivo	Coeficiente de cultivo (Kc), Factor de respuesta de rendimiento (Ky), Altura del cultivo, factor de agotamiento crítico (p), Etapas de cultivo, fecha de siembra y profundidad radicular.	Estos factores varían según el tipo de cultivo, etapa en que se encuentra, correlación con el suelo y el clima de la zona.
Suelo	Textura, densidad aparente, infiltración, profundidad radicular y agotamiento.	La estructura y las propiedades de un suelo limitan el agua disponible total para un cultivo (ADT), en otras palabras, el movimiento y estancia del fluido es variable, esto se puede cuantificar mediante: la capacidad de campo (CC), que es la cantidad del recurso hídrico que el suelo es capaz de mantener luego de ausencia de precipitaciones y el punto de marchitez permanente (PMP), que es el punto en el que el agua del suelo tiene una capacidad de campo igual a cero es decir que no aporta agua para el cultivo.

Fuente: FAO. Evapotranspiración del cultivo FAO (1990)

➤ Módulo de Clima/ETo y precipitación

En el software Cropwat 8.0 se ingresaron datos promedios mensuales de las variables de temperatura, velocidad de viento, humedad relativa e insolación, y se calcularon la Radiación solar y Evapotranspiración de referencia (ETo) por el método de Penman-Montheit (ver ecuación 12 y 13). Los datos de las variables de Temperatura, humedad relativa, precipitación, velocidad del viento e insolación, fueron obtenidos de la plataforma METEOBLUE, para el periodo de estudio.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad \text{Ec. (12)}$$

Luego,

$$ET_C = K_c ET_0 \quad \text{Ec.(13)}$$

Donde, ETc- Evapotranspiración de cultivo (mm/día). Kc-Coeficiente de cultivo. ETo-Evapotranspiración de referencia (mm/día). R_n- Radiación neta en área de cultivo (MJ /m².día). G- Flujo de calor del suelo (MJ /m².día). T-Temperatura promedio del aire (°C).U₂-Velocidad del viento a 2m de altura (m/s). e_s- Presión de vapor de saturación (KPa). e_a- Presión real de vapor (KPa). (e_s-e_a)- Defecit de presión de vapor (KPa). Δ- Pendiente de la curva de presión de vapor (KPa/°C) γ-Constante psicrométrica (KPa/°C).

Para determinar la precipitación efectiva, la cual es considerada como la fracción útil de la precipitación, en el suelo para el cultivo, se utilizó la ecuación del Uso y Conservación de Suelos (USDA) de Estados Unidos (ver ecuaciones 14 y 15).

$$\text{Para } P_t < 250 \quad P_e = P_t((125 - 0.2P_t)/125) \quad \text{Ec. (14)}$$

$$\text{Para } P_t > 250 \quad P_e = 125 + 0.1P_t \quad \text{Ec. (15)}$$

Donde, P_e – precipitación efectiva, P_t – Precipitación mensual

Se establecieron los cultivos de fresa y maíz, mediante un análisis comparativo entre las condiciones agroclimáticas de la zona de estudio y las condiciones específicas de desarrollo de los cultivos, así mismo obtener mayor eficiencia en la producción, gestión y programación de riego, de acuerdo a consideraciones del manual fresa (2015) & varias referencias citadas en Ruiz, *et al* (2013).

Para cada cultivo en estudio se tendrá en cuenta la etapa del cultivo (inicio, desarrollo, crecimiento y final), la profundidad radicular en la etapa inicial y final, la fracción de agotamiento, el uso consultivo del cultivo (K_c), información que será tomada de fuentes secundarias disponibles.

➤ Módulo de Suelo

Se tuvo en cuenta las propiedades físicas del suelo y para efectos de la investigación se hicieron 5 sondeos con el fin de obtener una muestra representativa, teniendo en cuenta que la masa de muestreo representa todo el suelo del cultivo, utilizando técnicas de referencia de la serie riego y drenaje de la FAO, *Guía Técnica para Muestreo de Suelos*, (2017), como sigue:

1. Cantidad mínima de muestras.

La cantidad de muestras mínimas, para representar el suelo de la superficie de cultivo varía en función del área a cultivar. En la tabla 4 se muestra la cantidad de muestras por superficie agrícola, cabe resaltar que el área de cultivo del proyecto es menor a 3 hectáreas por consiguiente el número mínimo de muestras es 5.

Tabla 4.

Numero de muestras representativas por superficie de análisis.

Área de cultivo	Muestras representativas
≤ a 3 Ha	5
> 3 Ha ≤ 5 Ha	15
> 5 Ha ≤ 7 Ha	25 a 30

Fuente: Guía, el manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas, FAO (2013).

2. Recorrido de muestreo.

Existen varias maneras de recorrer un terreno para coleccionar muestras y obtener un ponderado del suelo representativo de toda el área de cultivo, los más comunes son; aleatorio, en

cuadrícula, en zigzag y en x, se adoptó el recorrido en zigzag, sin embargo, en todos los métodos se debe abarcar la mayor parte de la superficie, independientemente del recorrido.

En la figura (4) muestra el recorrido a través de la superficie agrícola, para realizar toma de muestras de suelo que se realizó en el sitio.

Figura 4.

Recorrido en zigzag, para la toma de muestras.



Fuente: Robayo S (2021) modificado en Google Earth.

3. Método de muestreo.

Una vez seleccionado el punto para las muestras de suelo, se procede a retirar la cobertura vegetal, seguido se perfora en forma de v (figura 5).

Figura 5.

Procedimiento para la toma de muestras.



Fuente: Robayo S (2021)

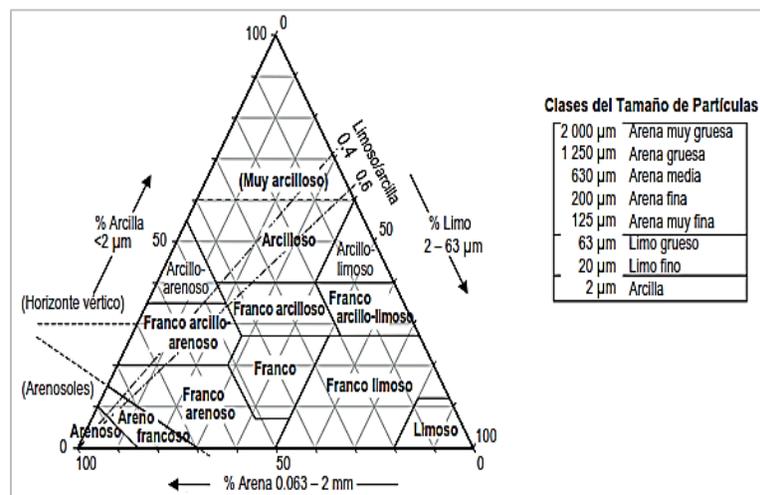
4. Granulometría del suelo.

Para la granulometría del suelo se tuvo en cuenta que la estructura del suelo se compone por partículas de diferentes tamaños, que definen sus propiedades, de acuerdo al porcentaje en

proporción a la masa total así: las partículas menores a 2 micras, de 00063 a 2 mm y 2 a 63 micras, corresponden a arcilla, arena y limos respectivamente, como muestra la figura (6) del triángulo textural.

Figura 6.

Triángulo de las texturas del suelo, de acuerdo a su composición porcentual granulométrica.



Fuente: Guía para la descripción de suelos (2009)

El análisis textural de un suelo, comprende dos grandes fases, análisis granulométrico de las partículas gruesas por tamizado y el análisis hidrométrico basado en la ley de Stokes (fracción fina). La porción gruesa corresponde al diámetro de partículas inferior a 0,075 mm (malla 200) y la porción fina es la que pasa dicha malla. Los métodos usados para estos ensayos se describen posteriormente.

Para el análisis granulométrico por tamizado (fracción gruesa) se utilizó Balanza digital Maso de goma, 1000 g de suelo disgregado y Serie de tamices ASTM (Tabla 5).

Tabla 5.

Serie de tamices usados en el análisis granulométrico.

TAMIZ	ABERTURA (mm)
1/2"	12,700
3/8"	9,525
N°4	4,760
N°8	2,360
N°16	1,190
N°20	0,840
N°30	0,590
N°40	0,426
N°60	0,250
N°100	0,149
N°200	0,074

Fondo

Fuente: Robayo S (2021)

El análisis de la fracción gruesa de un suelo, consiste en disponer una fracción representativa de suelo, secado al aire libre, sobre una serie de tamices o mallas, con aberturas desde ½ pulg (en este caso), hasta la malla No. 200 de 0.074 mm, seguidamente se procede a agitar vigorosamente, mediante una tamizadora mecánica o en su defecto manualmente, por un lapso de 10 a 20 minutos respectivamente. Una vez transcurrido este tiempo se procedió a pesar cada tamiz para calcular el porcentaje retenido, porcentaje que pasa y la distribución granulométrica en escala logarítmica.



En el análisis granulométrico de la fracción fina (pasa tamiz 200) se utilizó el método de Hidrómetro, corresponde a la relación entre la velocidad de sedimentación de una partícula en suspensión dentro de un fluido (agua destilada,), de acuerdo a al diámetro de la misma. Para ello, se presentan los materiales y equipos usados en el ensayo granulométrico de la fracción correspondiente a el material fino (figura 7).

Figura 7.

Materiales usados en el ensayo del hidrómetro.

Materiales y equipos			
	Para esta analisis de laboratorio se uso el Hidrometro 152-H, normas ASTM 422 e INV. 124., este equipo mide la densidad de los solidos en suspensión		50 gramos de la porcion de suelo que pasa por la malla Nº 200, es decir, la fracion fina del suelo
	Probetas graduadas con caocidad de 1000 y 250 ml, para realizar los respectivoc ajustes o correcciones, por menisco y por floculante.		Agua destilada con Gs de 1 a 20º C
	Termometro de inmersioncon precision de 0,5 ºC, para hacer ajustes por temperatura de cada registro en el periode de analisis.		Agente dispersante en una solucion del 4% en agua destilada
	vasos de precipitado, graduados con 250 ml, mara medir la mescla porcion de agente dispersante, agua destilada y porcion de suelo		Aparato agitador magnetico, este distribuye la solucion (agua, suelo y dispersante) homogeneamente, por medio de un campo magnetico formado electroimanes y una barra metalica cubierta de plastico por dentro de la sulucion por un periodo aproximado de un minuto

Fuente: Robayo S (2021)

A continuación, se describe la metodología utilizada para clasificar la fracción fina del suelo, de acuerdo a la velocidad de suspensión de las partículas dentro de un medio acuoso.

- Se añade una solución de agente dispersante, hexametáfosfato de sodio, en agua destilada al 4 %, es decir para una solución de 1000 ml de agua, se usan de 40 g del agente dispersante, una vez preparada la solución, se le adiciona a los 50 gramos de suelo, se mezcla y se deja en reposo como mínimo 16 horas.
- Luego, se mezcló mediante agitador magnético, por un periodo de un minuto, de modo que la mezcla se distribuya homogéneamente en la sección del vaso de precipitado, donde se preparó la solución.
- Posteriormente, se añade la mezcla homogenizada en una probeta graduada de 1000 ml cuidadosamente, desprendiendo cada partícula mediante un frasco lavador con agua destilada.
- Seguidamente, se afora la probeta hasta un volumen de 1000 ml, con agua destilada y se agita por un minuto, tapando la boca de la probeta cuidadosamente, evitando que se generen pérdidas como ilustra la figura (8).

Figura 8.

Proceso de homogenización de los sólidos de suelo con agente dispersante



Fuente: *Rivera (2021)*

- Inmediatamente se introduce el densímetro, y se registran las lecturas en diferentes lapsos, 1, 2, 5, 15, 30, 60, 120, 240 y 1440 minutos.
- Es importante ajustar las lecturas por temperatura, por menisco y por defloculante.

Es importante tener en cuenta las variaciones en las lecturas debido a efectos de la temperatura en el transcurso del ensayo no es constante, la desviación de la lectura por tensión superficial y la variación de la densidad del agua destilada al aplicar la solución defloculante. El ajuste se realiza de la siguiente manera:

- a. **Corrección por menisco.** Según la norma ASTM D422-63 e INV. 124 debido a la tensión superficial entre un fluido y un sólido suspendido, se generan dos lecturas, la norma establece la lectura inferior como la lectura real, es decir, se debe corregir dicha medición en agua destilada, debido a que se puede visualizar los dos extremos de las lecturas. Esta corrección se da mediante la ecuación (16).

$$C_m = L_i - L_s \quad \text{Ec. (16)}$$

Donde, C_m - Corrección por menisco. L_i -Lectura inferior. L_s -Lectura superior.

- b. **Corrección por defloculante o agente dispersante (C_d).** Debido al aumento en la densidad del fluido por la adición del agente dispersante, se hace necesario corregir estas lecturas, debido a que este ensayo está calibrado para hacer las mediciones desde el cero, dicho esto, la corrección será la diferencia entre la lectura de la solución entre 1000 ml al 4% del agente dispersante con agua destilada y la lectura solo en agua destilada, expresada mediante la ecuación (17).

$$C_d = L_{SH} - L_{Ad} \quad \text{Ec. (17)}$$

Donde, C_d - Corrección por agente dispersante. L_{SH} -Lectura en la solución al 4% en 1000 de agua destilada. L_{AD} - Lectura en agua destilada.

- c. **Corrección por temperatura C_t .** Para este ensayo fue necesario hacer correcciones por temperatura debido a que no se podía garantizar una temperatura constante de 20°C en un

cuarto que cumpliera con estas condiciones, sin embargo, de acuerdo a la temperatura registrada en cada lectura hidrométrica, la norma INV E-124-07 sugiere un factor de corrección (ver tabla 6).

Tabla 6.

Coefficiente de corrección por temperatura Ct.

Temperatura (°C)	Hidrómetro 151-H	Hidrómetro 152-H
10	-1,30	-2,00
11	-1,20	-1,90
12	-1,10	-1,80
13	-1,00	-1,60
14	-0,90	-1,40
15	-0,80	-1,20
16	-0,50	-1,00
17	-0,60	-0,80
18	-0,30	-0,50
19	-0,20	-0,30
20	0,00	0,00
21	0,20	0,30
22	0,40	0,60
23	0,60	0,90
24	0,80	1,30
25	1,00	1,70
26	1,30	2,00
27	1,50	2,40
28	1,80	2,90
29	2,00	3,30
30	2,30	3,70

Fuente: norma INV. 124-07.

Entonces, se obtiene la corrección de la lectura mediante la ecuación 18.

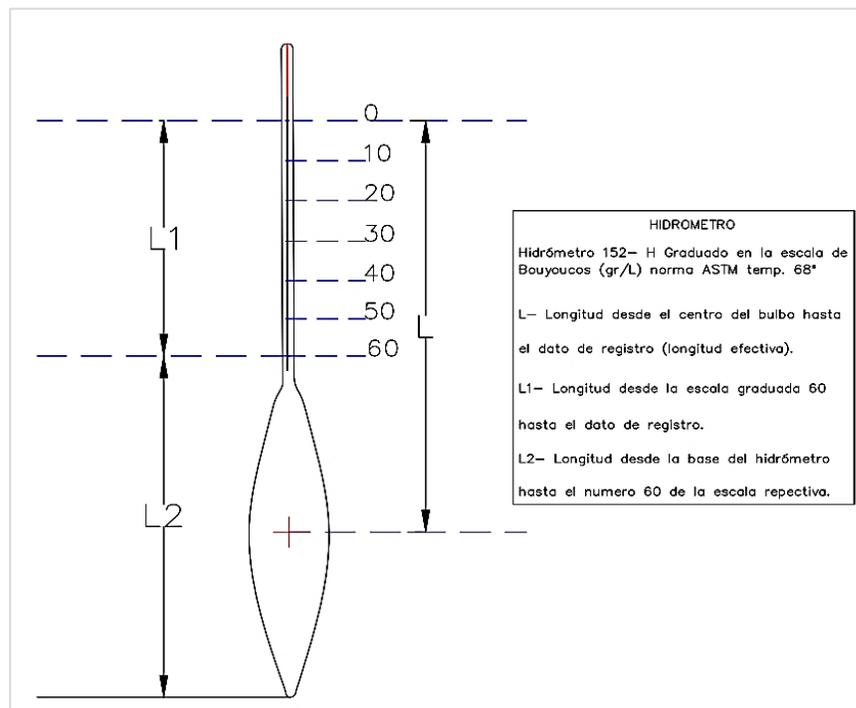
$$R_c = L_{Ap} - C_d + C_m + C_t \quad \text{Ec. (18)}$$

Donde, R_c -Lectura corregida. L_{Ap} -Lectura aparente.

En la figura (9) se ilustra el hidrómetro 152-H usado en el ensayo de análisis granulométrico de la fracción fina, al cual previamente al ensayo, se le determinaron las siguientes magnitudes constantes: $L_2 = 14,0 \text{ cm}$; $VB = 67,0 \text{ cm}^3$; $h = 6.9 \text{ cm}$ altura equivalente a cm^3 en la probeta; $\text{Vol} = 200 \text{ cm}^3$; $A = 28,99 \text{ cm}^2$. Área de la sección de la probeta $A = \text{Vol}/h$

Figura 9.

Hidrómetro o densímetro 152-H.



Fuente: Robayo S (2021)

Para estimar la lectura real, también conocida como la longitud efectiva (L), fue necesario hacer la equivalencia en (cm) de los registros hidrométricos, las demás dimensiones ilustradas en la figura (9), fueron tomadas en el laboratorio de igual manera el volumen del hidrómetro (V_B) se calculó de acuerdo al principio de Arquímedes. Relacionando las variables ya mencionadas mediante la ecuación (19)

$$L = L_1 + 0.5 \left(L_2 - \frac{V_B}{A} \right) \quad \text{Ec. (19)}$$

Para calcular el diámetro de las partículas en suspensión se usó una ecuación simplificada basada en la metodología de la ley de Stokes, conforme a la ecuación (20).

$$D = K \sqrt{\frac{L}{t}} \quad \text{Ec. (20)}$$

Donde, K -Constante en base a la gravedad específica del suelo G_s (Tabla 7). D - Diámetro de las partículas de suelo (mm). t - Tiempo en suspensión de sólidos (min).

Tabla 7.

Constante K para el cálculo del diámetro de las partículas en suspensión del suelo.

Temperatura °C	Gravedad específica de las partículas de suelo								
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.0151	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17	0.01501	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20	0.01556	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.0129	0.01269	0.01249	0.0123	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

Fuente: Norma Invias 124-07.

Para abordar la tabla anterior, fue necesario acudir a valores típicos de gravedad específica, de acuerdo a la textura del suelo (Bowles 1981), ver tabla 8.

Tabla 8.

Gravedad específica de algunos suelos en base a la granulometría

Tipo de suelo	Gravedad específica (Gs)
Arena	2.65-2.67
Arena limosa	2.67-2.70
Arcilla inorgánica	2.70-2.80
Suelos con micas o hierro	2.75-3.00
Suelos orgánicos	Variable, puede ser menor a 2

Fuente: manual de laboratorio de suelos Bowles. J. (1981)

- d. Densidad aparente, método de la parafina.** Para efectos del proyecto se tomaron tres muestras representativas inalteradas, recuperadas de los sondeos descritos en párrafos posteriores. Para llevar a fin dicho ensayo empírico, se usaron materiales como: Palín, espátula, parafina, peso, muestra de suelo inalterada.

El procedimiento utilizado se describe brevemente a continuación:

1. Se toma una fracción de suelo, tratando de hacer cortes cuidadosamente con la espátula, a fin de no perturbar la estructura natural del suelo.
2. Una vez se toma el registro de la masa de las muestras, se procede a introducir cada cara del volumen, , cuidadosamente en parafina derretida durante un lapso muy corto, con el fin de impermeabilizar con una capa muy delgada, toda la superficie de cada muestra.

3. Para cuantificar el volumen de cada muestra, se introdujo cada espécimen, en un vaso de precipitado, con un volumen inicial, resultando un desplazamiento, equivalente al volumen de la muestra.
4. Es importante mencionar que se debe estimar también la humedad de la muestra, en este orden, se tomaron 3 muestras del mismo suelo, luego se dispusieron en un horno, hasta obtener masa constante.

El método consistió, en relacionar, el peso del suelo secado en el horno y el volumen de cada muestra, para obtener la densidad aparente, de acuerdo a la ecuación 21.

$$\rho = \frac{W_s}{V_s} \quad \text{Ec. (21)}$$

Donde, ρ -Densidad aparente del suelo. W_s - Peso del suelo secado al horno. V_s -Volumen del suelo.

Entonces, la humedad del suelo corresponde a la Ecuación 22.

$$H = \frac{W_h - W_s}{W_w} \times 100 \quad \text{Ec. (22)}$$

Donde H-Humedad en porcentaje. $(W_h - W_s) = W_w$ -Contenido de agua del suelo. W_h -Peso de la muestra húmeda.

5. Lámina de agua aprovechable ADT (CC - PMP).

De acuerdo a FAO (2006) & Silva *et al.*, (1988), se estimó la capacidad de campo CC y el punto de marchitez permanente PMP, con base en la correlación de Bodman & Mahmud (ecuación (23) y Maximov ecuación (24), respectivamente. Finalmente, el agua total disponible en volumen se relaciona en la ecuación (25), cabe aclarar que el termino PR se utilizó como 1 metro en mm, para obtener dicho valor en mm/m.

$$C_c\% = 0.023(\%Arena) + 0.25(\%Limo) + 0.61(\%Arcilla) \quad \text{Ec. (23)}$$

$$PMP = 0.001(\%Arena) + 0.12(\%Limo) + 0.57(\%Arcilla) \quad \text{Ec. (24)}$$

$$ADT = \frac{(CC - PMP) \times Da \times PR}{100 \times DW} \quad \text{Ec. (25)}$$

Donde, CC-Capacidad de campo. PMP-Punto de marchitez permanente. ADT-Agua disponible Total. DW-Densidad del agua 1 g/cm^3 . PR-Profundidad radicular efectiva en mm.

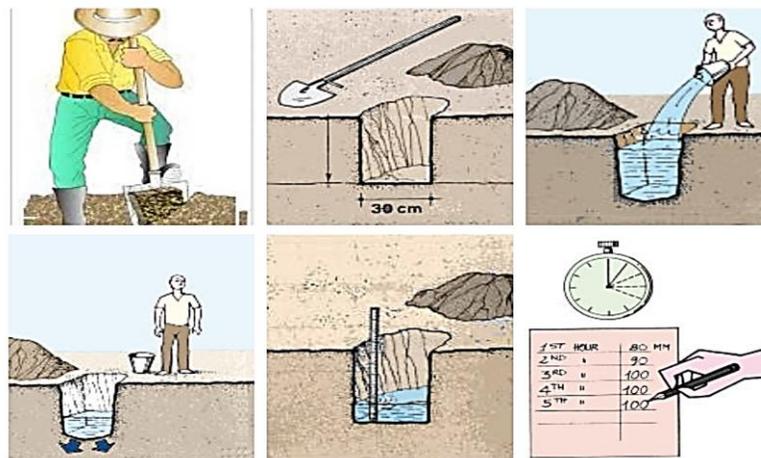
6. Tasa de infiltración del suelo

Para obtener la lámina de riego de acuerdo a las entradas y salidas de agua en el suelo, la velocidad de infiltración es un componente clave en el balance hídrico, para obtenerla se usó la metodología empírica de Porchet. Los materiales utilizados fueron: Draga, Cuerda, Azadón, cronometro, Estacas, Flexómetro

Primero, se adecuo el punto escogido para realizar el ensayo, retirando la cobertura vegetal y perforando en el sustrato de suelo un cubo con dimensiones de 0.30m de largo, 0.30m de ancho y 0.50m de profundidad. Segundo, se le aplicó una capa de grava de aproximadamente 5 cm, se tomó un nivel de referencia con las estacas y la cuerda para establecer mediciones, luego se aplicó una carga de agua y se registra la infiltración cada 5 minutos por un periodo de 2 horas (figura 10).

Figura 10.

Ensayo in situ para obtener la tasa de infiltración.



Fuente: FAO disponible en; http://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm

Existen numerosas correlaciones para estimar la conductividad hidráulica de un suelo en el campo, sin embargo, se usaron las ecuaciones de Kostiacov (Ecuación 26) y Horton (Ecuación 27)

$$F = cnt^{n-1} \quad \text{Ec. (26)}$$

Donde; F-Capacidad de infiltración. c,n-Coeficientes. t-Tiempo en minutos

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad \text{Ec. (27)}$$

Donde, f-Capacidad de infiltración. f_c . Capacidad de infiltración final. f_0 -Capacidad de infiltración inicial. e-Base de los logaritmos naturales. k-Constantes positivas. t-Tiempo en minutos

De acuerdo con Macias, *et al.*, (2018), la conductividad hidráulica se puede estimar con el modelo de Horton cuando un suelo saturado la tasa de infiltración es constante, en este sentido se ajustó el modelo de Horton, para encontrar este parámetro.

7.4 Estimación de la capacidad de recolección de aguas lluvias sobre la cubierta de una vivienda para el aprovechamiento agrícola.

La metodología para estimar el volumen del tanque de almacenamiento, involucra la diferencia entre la oferta y demanda hídrica, además se considera un volumen de reserva para el cultivo para época de estiaje y un volumen de limpieza a la cubierta en un evento de precipitaciones, debido al arrastre de sedimentos en un lapso dependiente de la intensidad de las primeras lluvias.

Para determinar dicho volumen se aplicó la metodología planteada en la *guía de captación de aguas lluvias de Perú (2004)*.

Interceptor de primeras aguas. El cálculo del volumen del interceptor varia en función de la cubierta de recolección, el volumen se calculó con la ecuación (28)

$$V_{int} = \frac{1l/m^2 \times A_c}{1000} \quad \text{Ec. (28)}$$

Donde, A_c - Área de la cubierta de recolección (m^2). V_{int} - Volumen del interceptor (litros)

Oferta de agua pluvial. Partiendo de la precipitación media de la zona, en función del área efectiva de recolección de la vivienda, se estimó la oferta pluvial mediante la ecuación:

$$A_i = \frac{P_{pi} C_e A_c}{1000} \quad \text{Ec. (29)}$$

$$A_i = A_{(i-1)} + \frac{P_{pi} C_e A_c}{1000} \quad \text{Ec. (30)}$$

Donde, P_{pi} - Precipitación media (l/m^2). C_e . Coeficiente de escorrentía. A_c - Área de la cubierta (m^2). A_i -Oferta de agua en el mes “i”. $A_{(i-1)}$ - Oferta de agua acumulada

Demanda de agua para el cultivo de maíz y fresa. Con el requerimiento hídrico de los cultivos de maíz y fresa, obtenidos mediante el software Cropwat 8.0 se ajustó la ecuación (31).

$$D_i = \frac{N_u N_d D_{ot}}{1000} \quad \text{Ec. (31)}$$

Además, se ajustó la ecuación originalmente para calcular la demanda para consumo humano, para estimar la demanda agrícola en base al área de cultivo resultando la ecuación (32) .

$$D_i = \frac{A_{cul} \times (Dot_m + Dot_f)}{1000} \quad \text{Ec. (32)}$$

$$D_i = D_{(i-1)} + \frac{A_{cul} \times (Dot_m + Dot_f)}{1000} \quad \text{Ec. (33)}$$

Donde, A_{cul} - Área del cultivo. $(Dot_m + Dot_f)$ =Dot. Suma de las dotaciones de maíz y fresa respectivamente. D_i - Demanda mensual de agua. $D_{(i-1)}$ - Oferta de agua acumulada

Caudal de diseño. Conforme al *Reglamento técnico colombiano RAS 2016, Título D*, se aplicó el método Racional (ecuación 1), para estimar el caudal de diseño sobre las superficies de recolección de la vivienda, cabe señalar que este método es válido para áreas menores a 80 ha.

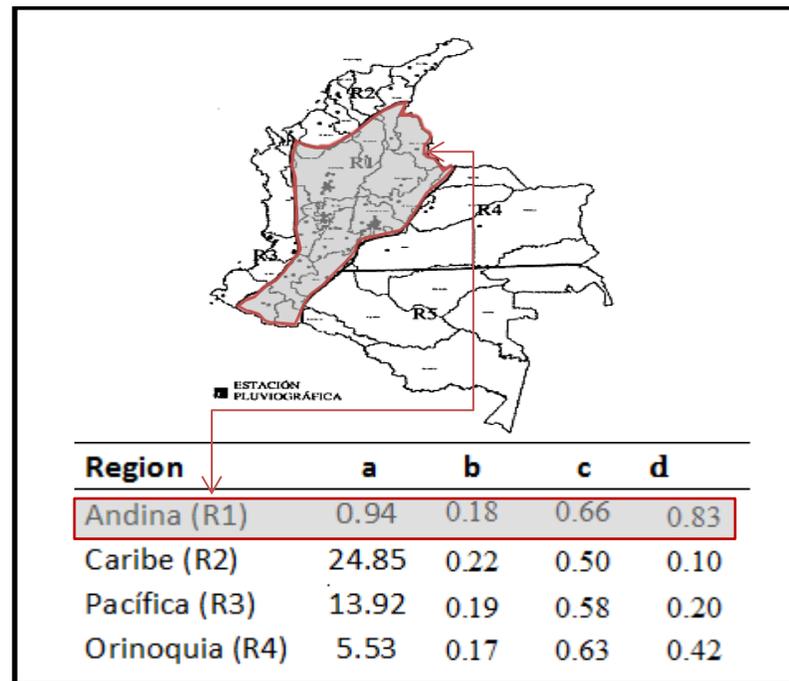
Para determinar la intensidad de la lluvia se aplicó un modelo ajustado de la ecuación de Bernard (1932) por Vargas, M (1998) ver ecuación 34. En relación al patrón geo-climático de las regiones de Colombia como aparece en la figura (11), donde se resalta la región Andina (R1), relacionada al área de interés. Vale la pena aclarar que la ecuación modificada de Bernard, es aplicable para eventos de lluvia mayores o iguales a 5 minutos.

$$i = \frac{a \times T^b \times M^d}{(t/60)^c} \quad \text{Ec. (34)}$$

Donde, i - Intensidad de la precipitación (mm/h). T -Periodo de retorno (años). M -Precipitación diaria máxima promedio anual multianual (mm). t - Duración de la lluvia (minutos). a , b , c y d , son parámetros de ajuste de regresión, la cual se encuentran consignados en la tabla implícita en la figura (11).

Figura 11.

Parámetros para la ecuación de intensidad de Bernard (1932)



Fuente: Vargas, M 1988

De acuerdo con la Resolución 0330, el periodo de retorno se debe seleccionar acorde al área tributaria de diseño, por lo que corresponde a 3 años (Tabla 9), subsiguientemente se calculó

la intensidad de acuerdo a datos de precipitación máxima promedio anual de la serie con robustez de la estación Parque Tama del municipio de Herrán, siendo la estación más cercana al proyecto y con mayor relación de acuerdo a los parámetros de selección de estaciones mencionados metodología de Thiessen.

Tabla 9.

Periodos de retorno en años de acuerdo al área de drenaje.

Características de las áreas de drenaje	Periodo de retorno (T)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 hectáreas	10
Canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 hectáreas	50
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100

Fuente: Resolución 0330 de 2017, Tabla 16

Una vez se obtuvo el caudal de diseño, se determinó el diámetro de las tuberías bajantes despejando de la ecuación de Manning.

$$Q = 1.754 \times D^{8/3} r^{5/3} \quad \text{Ec. (35).}$$

Donde, Q-Caudal (l/s). D-Diámetro (Pulg). r- Relación de áreas entre la corona de la tubería y el área de la sección transversal, los valores que generalmente se adoptan de r son 1/4, 7/24, 1/3. (Pérez Carmona 2019)

Por otra parte, la ficha técnica de PAVCO, tiene una capacidad de recolección de 90 m² por bajante, lo cual cumple las condiciones de la vivienda del proyecto (Figura 12).

Figura 12.

Descripción de la Canaleta Amazona.

La Canal Amazona está diseñada para acoplarse con las Bajantes PAVCO.

Tramos de 3 mt.

Capacidad Canal Amazona PAVCO

La capacidad de la Canal Amazona PAVCO es de 90 m² de cubierta por cada bajante



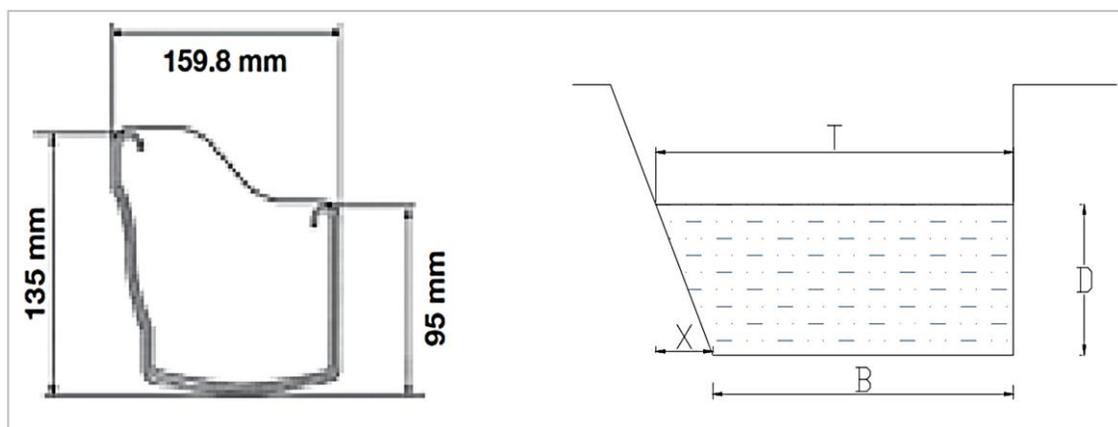
Fuente: ficha técnica de Pavco (2021)

Sin embargo, se evaluó la altura de la lámina de agua (d) de la sección trapezoidal de la canal (figura 13) de acuerdo al caudal de diseño y la ecuación de Manning, donde:

rugosidad del PVC es de $n = 0.09$, y también se adoptó una pendiente de canal de 1% para garantizar arrastre de sedimentos a velocidad mínima.

Figura 13.

Sección transversal trapezoidal de la canaleta Amazon.



Fuente: Modificado de la ficha técnica de PAVCO.

las dimensiones del canal tipo Amazonas fueron obtenidas de la ficha técnica de Pavco y especificaciones de proveedor (Homecenter) como se muestra en la tabla (10),

Tabla 10.

Especificaciones de la sección de la canaleta PAVCO

Especificaciones canaleta Amazonas Pavco.	
Tirante de la sección (T)	?
Base de la canal (b)	12 cm
Altura al espejo de agua d	?
Relación de pendiente	1:3.39
Componente X de la inclinación	$d/3.39$

Fuente: Robayo S. (2021)

El primer paso es plantear las relaciones hidráulicas en términos del tirante (d) de la sección del canal de acuerdo a las especificaciones PAVCO como describen las ecuaciones 36, 37 y 38

$$A = (b \times d) + \left(\frac{X \times d}{2}\right) \quad \text{Ec. 36}$$

$$R_h = \frac{A}{P} \quad \text{Ec. 37}$$

$$P = d + b + \sqrt{d^2 + \left(\frac{d}{3.39}\right)^2} \quad \text{Ec. 38}$$

Ahora retomando la ecuación 2 de Manning en función del tirante (ecuación 39), procedemos a despejar (d), para obtener la altura de la lámina de agua sobre el canal, conociendo el caudal de diseño obtenido por el método racional.

$$Q = \frac{1}{n} \times \left((b \times d) + \left(\frac{d}{3.39} \times d\right) \right) \times \left(\frac{(b \times d) + \left(\frac{d}{3.39} \times d\right)}{d + b + \sqrt{d^2 + \left(\frac{d}{3.39}\right)^2}} \right)^{2/3} \times S^{1/2} \quad \text{Ec. 39}$$

7.5 Análisis la viabilidad del uso del agua lluvia como una alternativa en los cultivos durante la época de estiaje

Para el análisis de la viabilidad del uso del agua lluvia se tomaron dos muestras de agua lluvia recolectada y se analizaron los parámetros físico-química y microbiológica en el laboratorio de Control de calidad y de diagnóstico de la Universidad de Pamplona. Además, se tuvo en

cuenta la resolución 2115 de 2007 y el decreto 1594 de 1984 a nivel nacional, que rigen los estándares de calidad y uso del agua respectivamente. Además, de la norma internacional de países como la Unión Europea, la organización mundial de la salud (OMS), la Agencia de Protección animal de Usa (EPA), México y Canadá (ver tabla 3) para determinar el uso, ya sea para; a) Consumo humano y doméstico, b) Preservación de flora y fauna, c) Agrícola d) Pecuario; e) Recreativo; f) Industrial; g) Transporte.

En la tabla 11 se muestra las normativas de referencia acogidas para la calidad de agua potable

Tabla 11.

Normas de calidad para el agua potable.

Normativa (Agua potable)	Orden
Resolución 2115 de 2007	Nacional
Organización de la Unión Europea (EU),	Internacional
Organización Mundial de la Salud (WHO).	Internacional
Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)	Internacional
Normativa de México	Internacional
Normativa de Canadá	Internacional

Fuente: Robayo S. (2021)

Una vez se establecieron los parámetros aceptables y no aceptables, se calculó el índice IRCA (Tabla 12), donde se asigna un puntaje de riesgo a cada parámetro no aceptable y al final la sumatoria equivale al nivel de riesgo, ver tabla 13.

Tabla 12.

Puntajes de riesgo, para el cálculo del índice IRCA.

Característica	Puntaje de riesgo
Color Aparente	6
Turbiedad	15
pH	1.5
Cloro Residual Libre	15
Alcalinidad Total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza Total	1
Sulfatos	1
Hierro Total	1.5
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio (Al3+)	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes Totales	15
Escherichia Coli	25
Sumatoria de puntajes asignados	100

Fuente: Resolución 2115 de 2007.

Tabla 13.

Clasificación del nivel de riesgo IRCA.

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo	Descripción del nivel de riesgo
80.1-100	Inviabile	No apta
35.1-80	Alto	No apta
14.1-35	Medio	No apta
5.1-14	Bajo	No apta
0-5	Sin riesgo	Apta

Fuente: Resolución 2115 de 2007

Por otra parte, se evaluaron los parámetros mínimos requeridos para uso agrícola conforme al Decreto 1594 de 1984, ver tabla 14.

Tabla 14.

Parámetros mínimos admisibles para la calidad del agua para riego

Referencia	Símbolo	Valor	Referencia	Símbolo	Valor
Aluminio	Al	5	Hierro	Fe	5
Arsénico	As	0.1	Litio	Li	2.5
Berilio	Be	0.1	Manganeso	Mn	0.2
Cadmio	Cd	0.01	Molibdeno	Mo	0.01
Cinc	Zn	2	Níquel	Ni	0.2
Cobalto	Co	0.05	pH	Unidades	4.5 - 9.0
Cobre	Cu	0.2	Plomo	Pb	5
Cromo	Cr + 6	0.1	Selenio	Se	0.02
Flúor	F	1	Vanadio	V	0.1
Coliformes T.	NMP	5000	Coliformes F.	NMP	1000

Fuente: Artículo 40 del Decreto 1594 de 1984



5. Se editan los skins que dan realismo a la escena estos pueden ser, cielos reales, agudizar, Exposición, Corrección de color, Reflexión, Hyperlight, Sky light y Sombras.
6. Para efectos de la visualización del proyecto se centra en un evento de PRECIPITACIÓN la cual trae este programa para animar el comportamiento pluvial en un render. En esta edición se controlan las cantidades, los niveles y el tamaño de las gotas a la vez que se edita los tiempos en los que se mostrará en el video final.
7. Para terminar, se da inicio al renderizado el cual es un proceso de fotogramas uno a uno el cual dan como resultado final el video animado presentado.

Capítulo IV

8. Resultados y discusión

8.1 Determinación de las variables meteorológicas que inciden en la recolección de aguas lluvias.

Partiendo del hecho de que la estación común del IDEAM más cercana a la cubierta interceptora de agua lluvia, está alrededor de 11.47 kilómetros de distancia, fue importante relacionar el patrón espacial de precipitaciones circundantes correspondiente a la zona de afectación, lo cual permitió la instalación de un pluviómetro tipo vaso de acuerdo con lineamientos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), ver figura 14.

Figura 14.

Pluviómetro tipo vaso de precipitado, para monitorio meteorológico pluvial instalado en la zona de estudio.

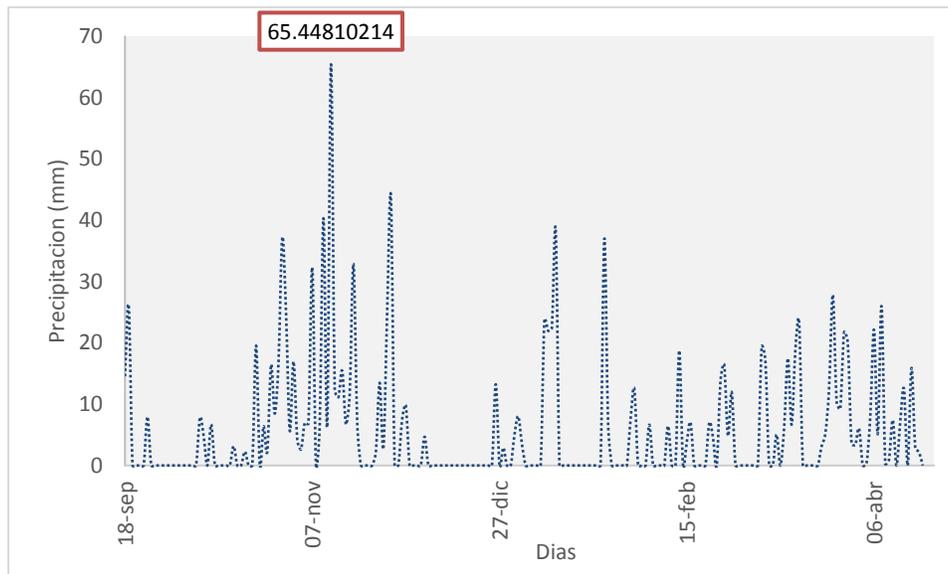


Fuente: Robayo S. (2021)

En la figura 15 se muestra el comportamiento pluviométrico de la zona, desde el 20 de septiembre del 2020 hasta abril 17 de 2020, observando registros elevados, por ejemplo, el día 56 de la gráfica se registró el pico máximo en periodo de estudio con 65.45 mm/m correspondiente al día 12 de noviembre del 2020.

Figura 15.

Comportamiento diario de precipitaciones, durante el periodo de monitoreo del pluviómetro.

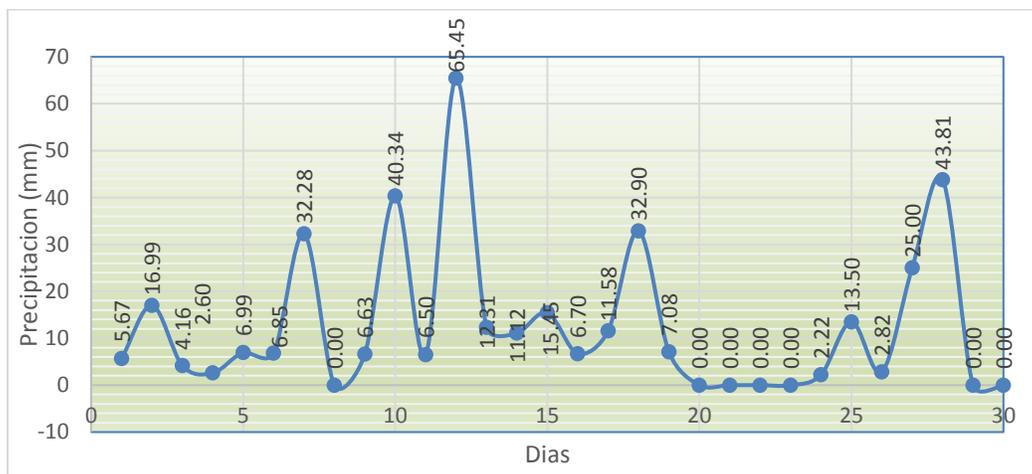


Fuente: Robayo S. (2021)

Con respecto a la figura anterior se aprecia mayor índice de precipitaciones en el mes de noviembre de 2020, donde registro su pico máximo, en lo corrido del registro pluviométrico de 65,45 mm como se observa en la figura (16) el registro de dicho mes.

Figura 16.

Registro pluviómetro del mes de noviembre de 2020.



Fuente: Robayo S. (2021)

8.2 Caracterización de variables hidrológicas que inciden en la recolección de aguas lluvias en zona de estudio.

En la tabla 15 muestra las estaciones vecinas disponibles en la zona del proyecto, para estimar la precipitación media de la superficie de influencia del proyecto.

Tabla 15.

Estaciones meteorológicas aledañas la zona de estudio.

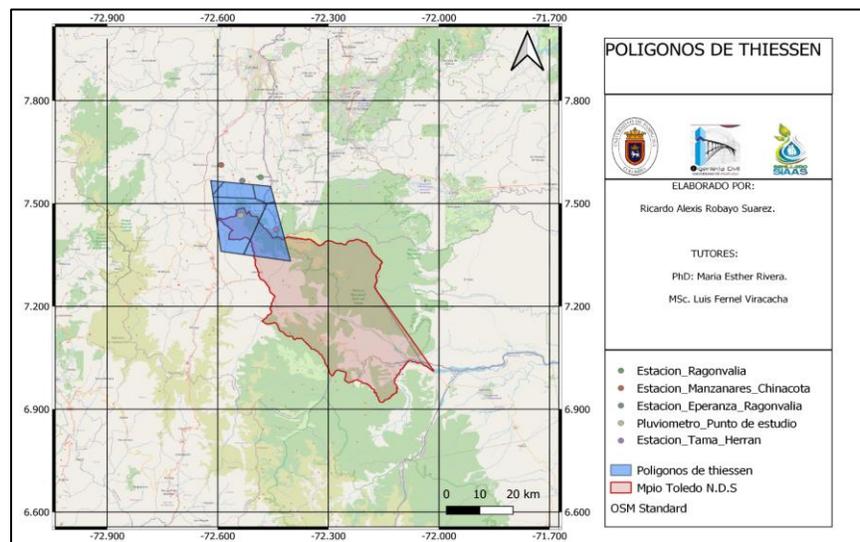
ESTACION	CODIGO	MUNICIPIO	SERIE	ELEVACION	LATITUD	LONGITUD
Tama Parque Nacional	16015090	Herrán	1991-2020	2424	7,424	-72,442
Manzanares	16010110	Chinácota	1991-2020	1370	7,612	-72,590
Ragonvalia	16015100	Ragonvalia	1991-2020	1653	7,576	-72,483
Esperanza la	16010290	Ragonvalia	1991-2020	1828	7,566	72,533
Pluviómetro	-----	Toledo	Nov_2020	2469	7,465	-72.537

Fuente: portal DHIME del IDEAM (2021) y Robayo S (2021)

En la figura 17 se muestra el área de influencia de cada una de las estaciones, en la zona de estudio.

Figura 17.

Área aferente de cada estación vecina en la zona de estudio.



Fuente: Robayo S. (2021)

En la tabla 16 se presenta la precipitación media mensual para la zona de estudio. Es importante mencionar que el periodo de registro del pluviómetro es alrededor de $\frac{3}{4}$ partes de un año, por lo que se consideró el $\frac{1}{4}$ restante como el ponderado mensual de las estaciones con influencia en el punto de proyecto como se resalta en las celdas naranjas de la tabla.

Tabla 16.

Precipitación media de la zona de influencia del proyecto.

Area Km2	41,86	7,28	18,14	228,70	175,84	
Mes	E_Esperanza	E_Manzanarez	E_Ragonvalia	E_Tamaparque	pluviometro	P media (Thiessen)
septiembre	165.48	145.73	165.48	145.73	48.49	112.00
octubre	216.16	198.38	216.16	198.38	156.98	185.21
noviembre	176.92	188.62	176.92	188.62	378.97	258.07
diciembre	74.00	86.85	74.00	86.85	43.01	68.88
enero	46.83	49.64	46.83	49.64	169.58	93.98
febrero	39.99	55.65	39.99	55.65	113.67	75.28
marzo	83.61	92.52	83.61	92.52	227.75	141.79
abril	150.46	179.93	150.46	179.93	120.32	153.97
mayo	163.46	139.68	163.46	139.68	155.54	148.62
junio	129.89	97.90	129.89	97.90	119.22	109.92
julio	120.06	87.13	120.06	87.13	109.08	99.50
agosto	132.77	87.37	132.77	87.37	117.64	104.42

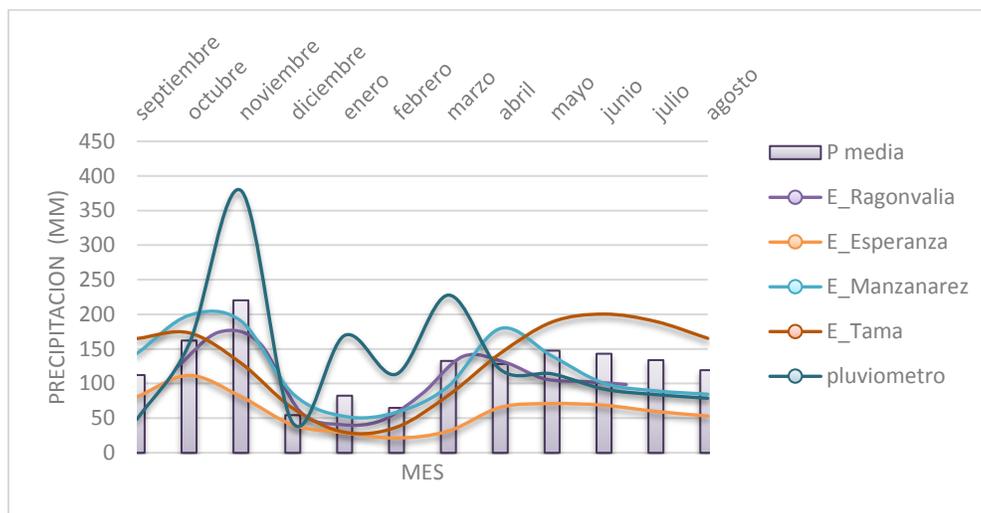
Fuente: Robayo S. (2021)

La figura 18 se observa el comportamiento de la precipitación entre las estaciones aledañas y el pluviómetro colocado en la zona de estudio, de la cual se establece que presentan un

comportamiento similar, excepto en el mes de noviembre donde se registró mayor lluvia en el pluviómetro ubicado en la zona de estudio.

Figura 18.

Análisis comparativo del fenómeno meteorológico mensual.



Fuente: Robayo S. (2021)

La precipitación efectiva para la zona de estudio en el 2020 se muestra en la tabla 17, de la cual se infiere que hay un gran aporte pluvial de riego natural aprovechable para los cultivos.

Tabla 17.

Precipitación efectiva de la zona de estudio para el año 2020

mes	Precipit. Mm	Prec. Efec. Mm
Enero	43.7	40.6
Febrero	11.5	11.3
Marzo	70.6	62.6
Abril	234.7	146.6
Mayo	269.4	151.9
Junio	172.8	125
Julio	66.3	59.3
Agosto	84.2	72.9
Septiembre	161	119.5
Octubre	172.3	124.8
Noviembre	82.2	71.4
Diciembre	46.5	43
Total	1415.2	1029

Fuente: Robayo S. (2021), obtenida en el software Cropwat.

➤ **Módulo de Clima /ETo y precipitación efectiva**

En el Cálculo del requerimiento hídrico de los cultivos se obtuvo la Evapotranspiración de referencia (ETo) para el año 2020, la cual se observa en la tabla 18 de la cual se establece que el mes donde se presentó mayor evapotranspiración de referencia es julio con 132.1 mm lo cual concuerda con el periodo de verano del sitio y como se ha podido analizar un bajo índice de pre-

cipitaciones, sin embargo es importante resaltar que la fresa es un cultivo perenne, por el contrario el cultivo de maíz cumple su ciclo en alrededor de 4 meses por lo que comprende variación en el tamaño foliar en cortos periodos, y a su vez la tasa de evapotranspiración.

Tabla 18.

Evapotranspiración de los cultivos para el año 2020

mes	Eto de los cultivos		
	fresa	maíz	total
ene	51.7	24.9	76.6
feb	50.1	58.4	108.5
mar	16.7	49.2	65.9
abr	40.8	56.7	97.5
may	54.5	27.4	81.9
jun	60.1	60.4	120.5
jul	44.6	87.5	132.1
ago	66.9	52	118.9
sep	65.6	29.9	95.5
oct	62.1	58.9	121
nov	55.8	48.7	104.5
dic	55.1	60.6	115.7

Fuente: Robayo S. (2021), obtenida en el software Cropwat.

De la guía de Evapotranspiración del cultivo de la FAO (2006) se tomó la información referente a los diferentes coeficientes hídricos (Tabla 19), propios de los cultivos seleccionados (Fresa y maíz), los cuales varían de acuerdo a: las etapas de desarrollo, coeficiente del cultivo Kc, factor de respuesta de rendimiento, Agotamiento crítico, profundidad radicular y altura del

cultivo. Se resalta que esta información es tenida en cuenta en los estudios nacionales del agua que son elaborados por el IDEAM.

Tabla 19.

Coefficientes para el módulo de cultivo.

CULTIVOS DE FRESA Y MAÍZ												
Etapa	Duración de la etapa del cultivo (días)		Factor de respuesta de rendimiento		Coeficiente del cultivo Kc		Profundidad radicular		Agotamiento Crítico		Altura cultivo (m)	
	Fresa	Maíz	Fresa	Maíz	Fresa	Maíz	Fresa	Maíz	Fresa	Maíz	Fresa	Maíz
INICIAL	75	20	0,45	1,10								
DESARROLLO	75	35	0,40	2,10	0,40	0,30	0,25	1,00				
MEDIA	200	40	0,45	3,10	0,85	1,20			0,20	0,55	0,20	2,00
COSECHA	90	30	0,40	4,10	0,75	0,35	0,30	1,70				
			0,43	1,25								

Fuente: FAO (2006) y Robayo S. (2021).

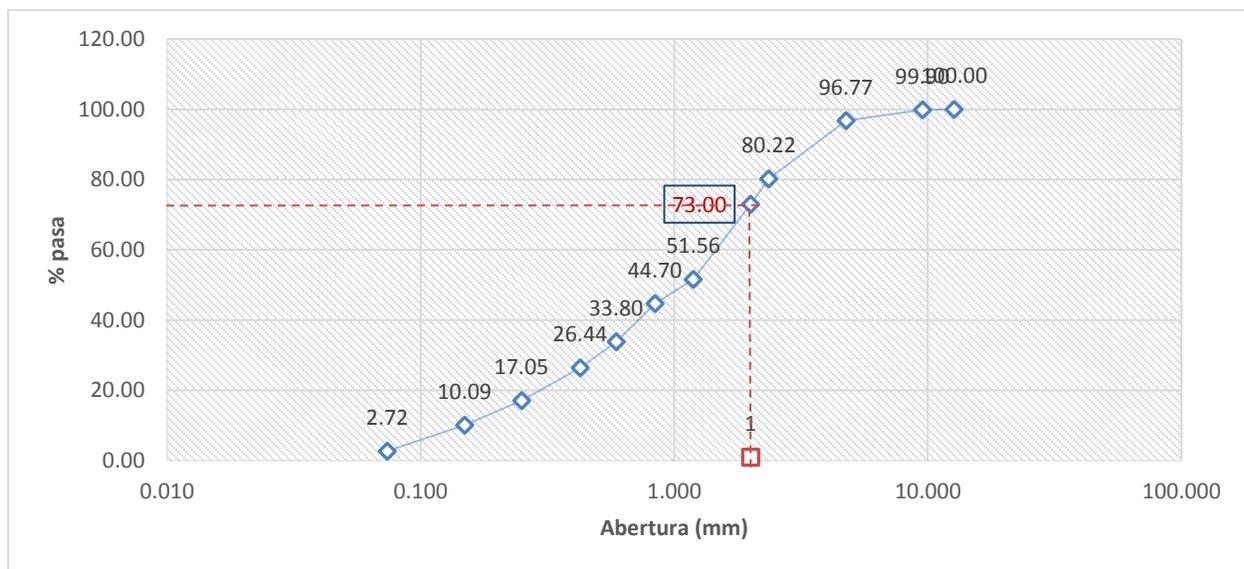
➤ Módulo de Suelo

En la figura 19 se muestra la distribución granulométrica de las muestras de suelo tomadas en la zona de estudio. Se menciona que no se contó con el tamiz número 10 de la serie, por lo tanto, este valor se obtuvo interpolando en la curva granulométrica, donde se observa un 73% del

total de la muestra de suelo que pasa por dicho tamiz y se tuvo en cuenta para el cálculo de la fracción de arena, equivalente al rango de partículas entre 2 mm -0.075 mm.

Figura 19.

Distribución granulométrica de acuerdo al ensayo de la fracción gruesa del suelo.



Fuente: Robayo S. (2021)

En la tabla 20 se presenta el porcentaje de cada fracción de suelo, ahora bien, partiendo del análisis para estimar la capacidad de campo CC y punto de marchitez permanente PMP, se tiene en cuenta las fracciones de arena, limos y arcillas, en este contexto se descartó la fracción de 19.75 % de grava de la masa de suelo inicial (1 Kg), es decir que el porcentaje que pasa la malla # 10 se consideró como el 100% para el análisis textural. (ver Anexo C)

Tabla 20.

Granulometría del ensayo de agregado grueso por tamizado.

tamiz	apertura (mm)	W tamiz (Kg)	Wtamiz + Suelo (Kg)	W Suelo retenido (Kg)	% Retenido	% Fracción	Tipo de suelo
1/2"	12,700	0,672	0,672	0	0,00	19,75	Grava
3/8"	9,525	0,656	0,657	0,001	0,10		
N°4	4,760	0,647	0,678	0,031	3,10		
N°8	2,360	0,545	0,709	0,164	16,55		
N°10	2,000			0,07	8,20	96,82	Arena
N°16	1,190	0,542	0,83	0,29	32,54		
N°20	0,840	0,527	0,595	0,068	7,72		
N°30	0,590	0,523	0,631	0,108	12,26		
N°40	0,426	0,481	0,554	0,073	8,29		
N°60	0,250	0,492	0,595	0,103	11,69		
N°100	0,149	0,442	0,511	0,069	7,83		
N°200	0,074	0,45	0,523	0,073	8,29		
fondo	fondo	0,566	0,594	0,028	3,18	3,18	Finos
Peso inicial de suelo							1 Kg
peso de suelo > 2 mm							0,88 Kg

Fuente: Robayo S. (2021)

En general se aprecia que en la zona de estudio se tiene un suelo conformado en gran parte por arenas, lo que favorece los cultivos tanto de fresa como de maíz, un mejor desarrollo radicular y un drenaje apropiado, ya que el exceso de agua genera efectos adversos en los cultivos, como agotamiento, aumento de enfermedades, y pudrición las raíces (Deaquiz et al 2015 & Trujillo et al 2017), teniendo claro esto, en la zona se evidencio abundantes precipitaciones en el segundo cuartil del año observado.

Previo a los cálculos hidrométricos, es importante estimar la humedad y densidad aparente del suelo, cuyos resultados están consignados en las tablas (21) y (22).

Tabla 21.

Humedad del suelo de la zona de estudio

MUESTRA	W HU- MEDO	W SECO	Ww	HUMEDAD
1	0,120	0,112	0,008	7,14
2	0,105	0,103	0,002	1,94
3	0,110	0,105	0,005	4,76
HUMEDAD DEL SUELO				4,62

Fuente: Robayo S. (2021)

Si bien es cierto que se obtuvo una humedad de suelo relativamente baja debido a una estructura arenosa del suelo, es importante tener en cuenta que de acuerdo al tratamiento de secado al aire libre de las muestras para este ensayo, la humedad representa al agua retenida por efectos de la tensión entre el suelo y agua en contra de los efectos gravitatorios, es decir es equivalente al agua suspendida en época de sequía disponible para la planta.

Tabla 22.

Densidad aparente por el método de la parafina.

MUESTRA	PESO (W) Kg	VOLUMEN (m3)	Humedad %	DENSIDAD Kg/m ³
1	0,275	0,000161683	4,62	1622,36
2	0,285	0,00016982	4,62	1600,79
3	0,21	0,000127311	4,62	1573,37
DENSIDAD APARENTE PROMEDIO				1598,84

Fuente: Robayo S. (2021)

De acuerdo con Jiménez & Khalajabadi, (2009)., la densidad de un suelo arenoso varía entre 1.2 y 1.6 g/cm³, acorde con el resultado obtenido, esto debido a su relación de poros y mayor peso en relación al volumen de suelo seco propio del mismo.

En la tabla 23 se presentan los resultados obtenidos del ensayo hidrometrico 152-H siguiendo lineamientos de la norma ASTM D422 e INV.124-13, y su respectiva curva granulometrica (Figura 20).

Tabla 23.

Granulométrica de partículas finas de suelo por ensayo hidrométrico 152-H.

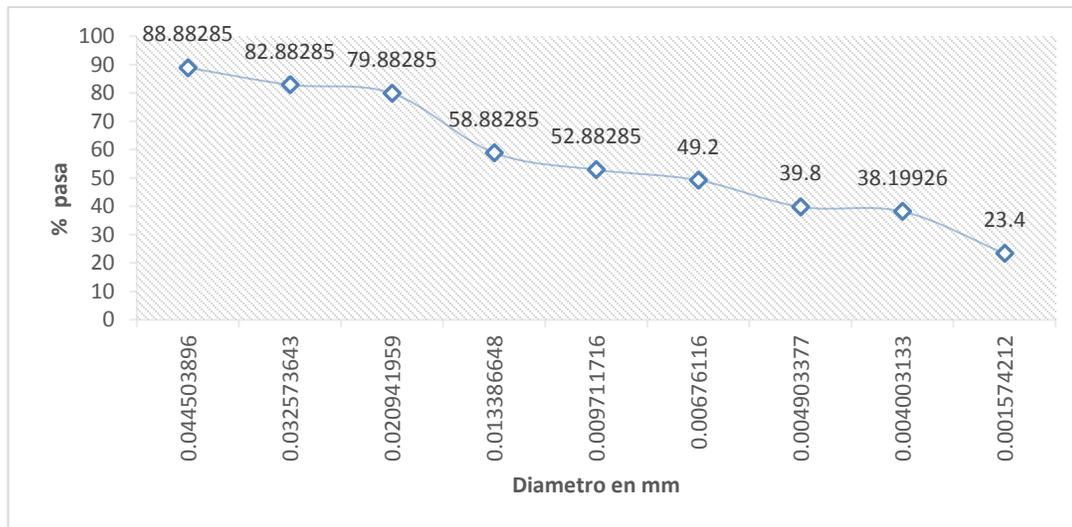
Tiempo (min)	Lectura aparente (La)	Temperatura °C	correcciones			Rc	L1	L1 (cm)	L (cm)	k	Diámetro (D)	% mas fino PMF	% retenido
			Ct	Cm	Cd								
1	50,0	21,5	0,44	1	7	44,44	15,56	3,89	10,23	0,01374	0,04394	88,88	11,12
2	47,0	21,5	0,44	1	7	41,44	18,56	4,64	10,98	0,01374	0,03219	82,88	6,00
5	45,5	21,5	0,44	1	7	39,94	20,06	5,01	11,36	0,01374	0,02070	79,88	3,00
15	35,0	21,5	0,44	1	7	29,44	30,56	7,64	13,98	0,01374	0,01326	58,88	21,00
30	32,0	21,5	0,44	1	7	26,44	33,56	8,39	14,73	0,01374	0,00963	52,88	6,00
60	30,0	22,0	0,60	1	7	24,60	35,40	8,85	15,19	0,01332	0,00670	49,20	3,68
120	25,0	23,0	0,90	1	7	19,90	40,10	10,03	16,37	0,01317	0,00486	39,80	9,40
180	24,0	23,5	1,10	1	7	19,10	40,90	10,23	16,57	0,01309	0,00397	38,20	1,60
1440	18,0	19,0	-0,30	1	7	11,70	48,30	12,08	18,42	0,01382	0,00156	23,40	14,80

Fuente: Robayo S. (2021)

De acuerdo a la velocidad de suspensión y la clasificación textural por tamaños de partículas, de 2-63 micrómetros para limos y menor a 2 micrómetros correspondiente a arcillas, se determinó el porcentaje más fino (PMP) que equivale al porcentaje que pasa y el porcentaje retenido de porción de finos en la muestra analizada, como se observa en la tabla anterior.

Figura 20.

Curva de distribución granulométrica de la fracción fina del suelo.



Fuente: Robayo S. (2021)

De acuerdo a la densidad obtenida de los sólidos en suspensión del análisis hidrométrico se establece que, las proporciones porcentuales de suelo y mediante el triangulo de clasificacion textural, se obtubo un suelo arenoso con un 96.82 % y solo un 3,18% de proporcion fina, de lo cual corresponde a 0,64% de limo y 2,54% arcilla.

Con las ecuaciones 20, 21 y 22 citadas en el apartado de metodologia se obtuvo la capacidad de campo (CC), la cual fue de 3,9362 % , indicando que el suelo tiene un bajo indice de retencion de agua y el punto de marchitez (PMP) fue de 1,6214 % , de lo cual se establece que bajo estas condicienes el suelo ya no aporta el minimo vital para las plantas. Por ultimo, la Lámina de agua disponible ADT (CC - PMP) es de 37,12 mm/m, lo cual indica que, en tiempo

prolongado de estiaje, los cultivos de fresa y maiz podrian enfrentar estrés hidrico, es alli donde radica la importancia de contar la fuente alterna pluvial recolectada en periodos de lluvia.

$$CC \% = 0.023(96.82) + 0.25(0.64) + 0.61(2.54) = 3.9362\%$$

$$PMP = 0.001(96.82) + 0.12(0.64) + 0.57(2.54) = 1.6214\%$$

$$ADT = \frac{(3.94 - 1.62) \times 1.6 \times 100}{100 \times 1} = 37.12 \text{ mm/m}$$

La tabla 24 muestra los datos de infiltracion en un periodo de 2 horas y el ajuste para obtener el modelo matematico, con el cual podemos calcular la tasa de infiltracion con respecto el tiempo.

Tabla 24.

registros de infiltración para obtener el modelo matemático de Horton.

Altura de Enrase	Lectura desde N.R	Tiempo (min)	Tiempo (horas)	LN (Tiempo)	Lamina de infiltracion	Lamina de infiltracion acumulada	LN (Lamina de infiltracion)	LN (Lamina de infiltracion)
30	23.50	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	-
30	24.30	5.00	0.08	1.61	0.80	0.80	9.60	2.26
30	25.00	10.00	0.17	2.30	0.70	1.50	4.20	1.42
30	25.50	15.00	0.25	2.71	0.50	2.00	2.00	0.66
30	25.80	20.00	0.33	3.00	0.30	2.30	0.90	-0.17
30	26.20	25.00	0.42	3.22	0.40	2.70	0.96	-0.10
30	27.10	30.00	0.50	3.40	0.90	3.60	1.80	0.56
30	27.40	35.00	0.58	3.56	0.30	3.90	0.51	-0.78
30	27.90	40.00	0.67	3.69	0.50	4.40	0.75	-0.37
30	28.40	45.00	0.75	3.81	0.50	4.90	0.67	-0.50
30	28.80	50.00	0.83	3.91	0.40	5.30	0.48	-0.86
30	29.00	55.00	0.92	4.01	0.20	5.50	0.22	-1.83
30	29.50	60.00	1.00	4.09	0.50	6.00	0.50	-0.81
30	29.80	65.00	1.08	4.17	0.30	6.30	0.28	-1.52
30	30.20	70.00	1.17	4.25	0.40	6.70	0.34	-1.25
30	30.40	75.00	1.25	4.32	0.20	6.90	0.16	-2.27
30	30.90	80.00	1.33	4.38	0.50	7.40	0.38	-1.15
30	31.00	85.00	1.42	4.44	0.10	7.50	0.07	-4.31
30	31.30	90.00	1.50	4.50	0.30	7.80	0.20	-1.95
30	31.80	95.00	1.58	4.55	0.50	8.30	0.32	-1.35
30	32.20	100.00	1.67	4.61	0.40	8.70	0.24	-1.70
30	32.30	105.00	1.75	4.65	0.10	8.80	0.06	
30	32.50	110.00	1.83	4.70	0.20	9.00	0.11	-2.96
30	33.10	115.00	1.92	4.74	0.60	9.60	0.31	-1.36
30	33.30	120.00	2.00	4.79	0.20	9.80	0.10	-3.15
fc	f0	k	ln(f0-fc)	fo-fc	Dato a ingresar Tiempo en horas		f (cm/h)	
0.06	2.26	2.0865	0.9580	2.6065	4		0.0576646935421384000	

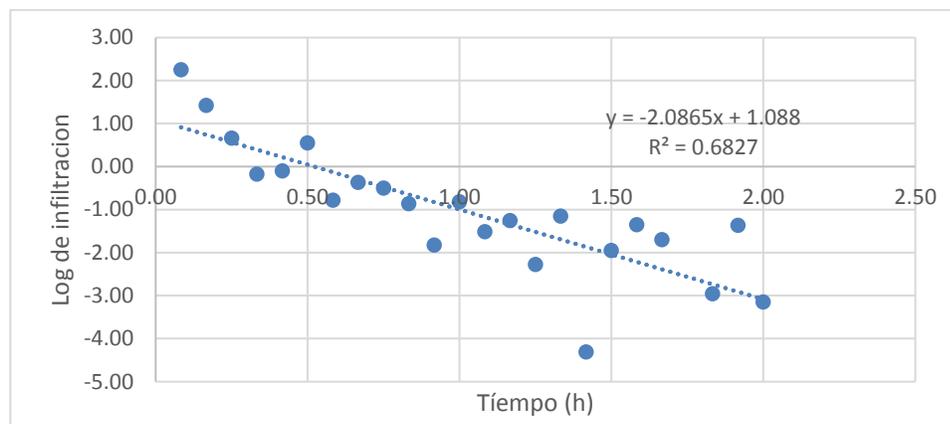
Fuente: Robayo S. (2021).

Para estimar la ecuacion que describe el modelo de infiltracion de Horton cuyos parametros se consignan al final de la tabla anterior, se realizo una regresion lineal, en base a los logaritmos, como describe la figura 21. Con este modelo matematico encontramos la

conductividad hidraulica con valor constante a partir de las 4 horas con un valor de 0.0576 mm/h.

Figura 21.

modelo de regresión lineal en base a logaritmos de infiltración

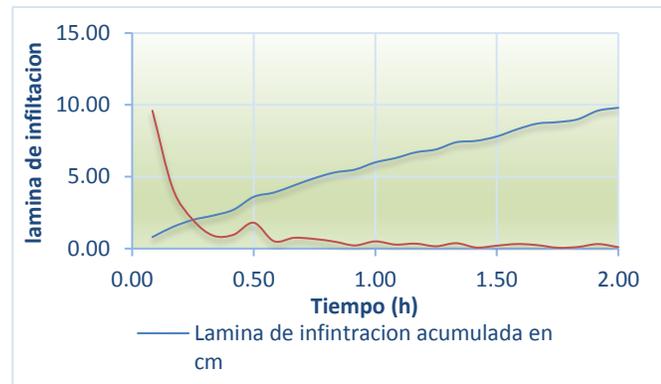


Fuente: Robayo S. (2021)

En la figura 22 podemos apreciar mejor el comportamiento de la infiltracion acumulada ascendente, y la tasa de infiltracion se va haciendo reduciendo, hasta hacerse constante a medida que se satura el suelo.

Figura 22.

lamina y curva de infiltración, modelo de Horton.



Fuente: Robayo S. (2021)

8.3 Estimación de la capacidad de recolección de aguas lluvias sobre la cubierta de una vivienda para el aprovechamiento agrícola.

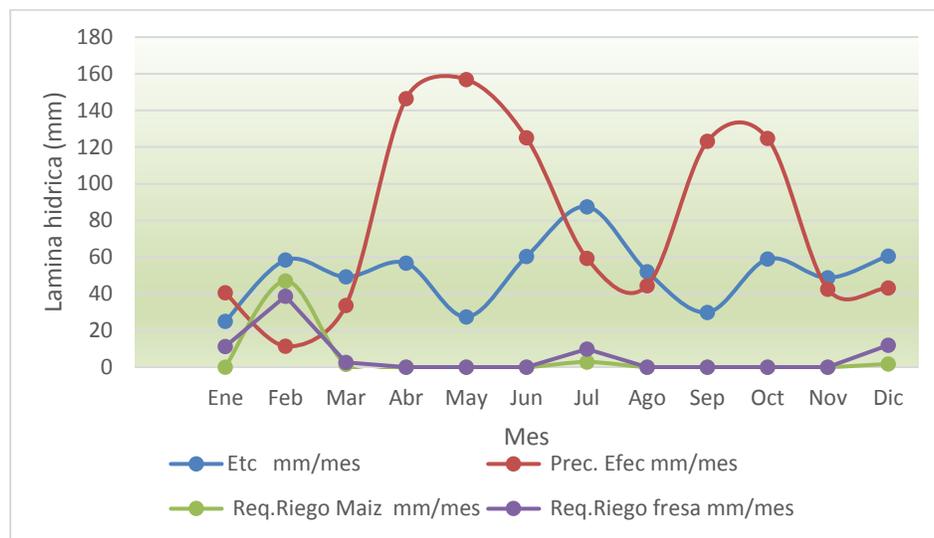
En la determinación de la capacidad de recolección de agua lluvia se obtuvo el volumen del interceptor de primeras aguas mediante la ecuación 25 citada en el apartado de la metodología, el cual fue de 104.35 m³.

Con respecto a la Oferta de agua pluvial para los cultivos se tuvo en cuenta los datos obtenidos en el Software Cropwat de la FAO (figura 23), del cual se establece que el mes de febrero registra un índice más elevado de consumo a consecuencia de que hay etapas fenológicas de los cultivos donde requieren mayor aporte de agua por lo general en la etapa de desarrollo y media, así mismo se aprecia la relación entre las entradas y salidas de agua en el suelo para los cultivos de fresa y maíz, es decir la interacción entre los fenómenos hidrológicos, el suelo y los

cultivos, en consecuencia dar equilibrio entre las láminas de riego requeridas y los aportes del suelo, de este modo evitar estrés hídrico o accesos de agua, afectando el desarrollo de las plantas.

Figura 23.

Lamina de riego mensual para cultivos de fresa y maíz.



Fuente: Robayo S. (2021)

Por otra parte, la recarga hídrica pluvial en el suelo suple las necesidades hídricas en algunos periodos del año (mar - jun, ago-nov), dicho de otra manera, el requerimiento hídrico de los cultivos en esas etapas es cero.

El requerimiento de los cultivos de maíz y fresa tienden a tener un mismo comportamiento, esto se debe que los aportes por precipitación efectiva se distribuyen homogéneamente para los

dos cultivos, cabe anotar que la superficie proyectada para los cultivos no presenta variación textural significativa, es decir, se considera que el agua disponible total ADT, se distribuye homogéneamente para los dos cultivos.

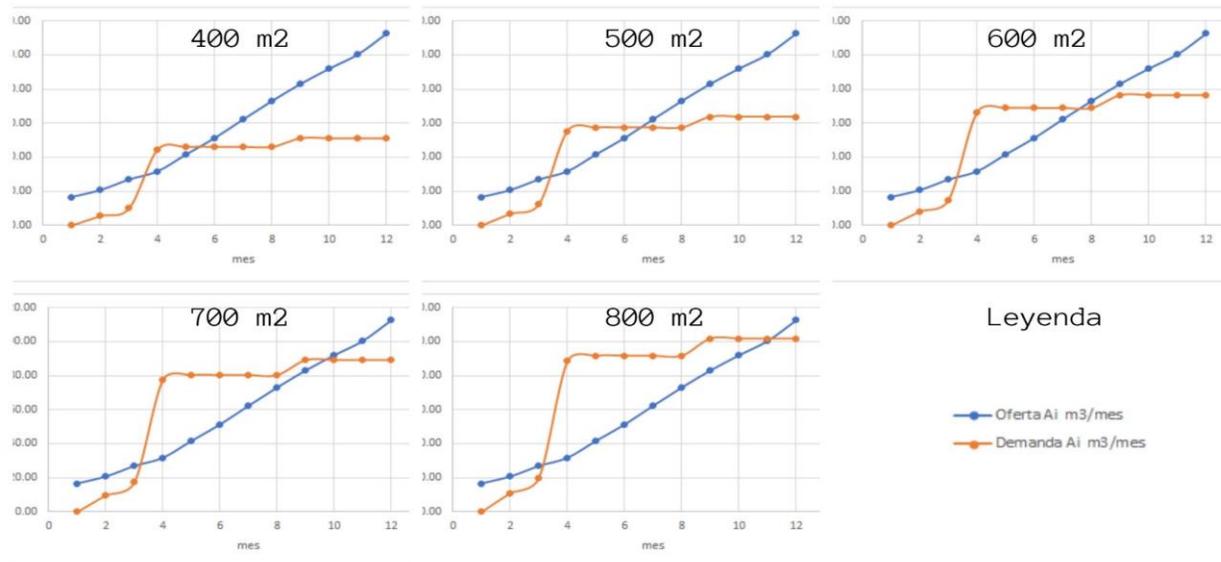
De acuerdo a la metodología planteada en de la *guía de captación de aguas lluvias, de Perú (2004)*, el volumen del tanque de almacenamiento se calcula como la diferencia entre la oferta y la demanda acumulada al final del ciclo, sin embargo, el índice de precipitaciones de la zona, tiene un gran potencial de recolección pluvial y satisface alrededor de 85% la demanda mensual del área proyectada (400 m²).

En este contexto se estableció como volumen final del tanque de reserva tipo embalse para el cultivo de 35 m³ como el volumen de mayor demanda anual para la superficie del cultivo planteado, correspondiente al mes de febrero. Además, se tuvo en cuenta como volumen de reserva, el requerimiento del mes subsiguiente, equivalente a 1.6 m³ (ver tabla 25), no obstante, se adoptó un volumen correspondiente a 2 m³ debido a que es el volumen de tanques plásticos comercial más cercano al límite superior de dicha demanda.

Del mismo modo se analizaron diferentes áreas del cultivo (figura 24), donde podemos observar que la oferta supera los requerimientos hídricos del cultivo.

Figura 24.

Oferta- demanda, del cultivo para diferentes áreas de cultivo.



Fuente: Robayo S. (2021)

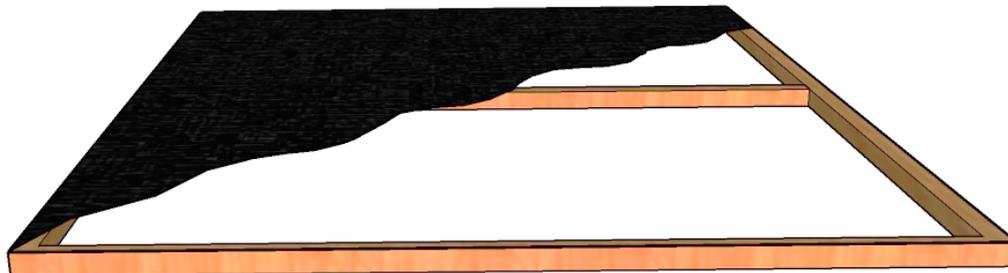
Es importante considerar un régimen de pérdidas hídricas debido a la evaporación en superficie receptora, pérdidas en canales y en el tanque de almacenamiento tipo embalse, teniendo en cuenta a Abdulla (2009), muchos diseñadores usan un factor de pérdidas de un 20 %, sin embargo esto varía según las condiciones climáticas de la zona y la eficiencia del sistema de captación, por lo que se ajustó este valor mensual de pérdidas, así mismo se tuvo en cuenta el volumen del interceptor de primeras aguas, partiendo de la suposición de que la frecuencia de limpieza de

material sedimentable sobre la cubierta, sea mensual, sin embargo es conveniente realizar chequeo periódico para establecer periodos acordes a las necesidades del proyecto, frecuencia y duración de las precipitaciones.

De acuerdo con Nicolson (2020), las perdidas por evaporación representan un volumen considerable, sin embargo la tasa de perdidas varían según la exposición a las variables climatológicas como el viento, la temperatura y la radiación solar, entre otras, así mismo el área expuesto a la atmosfera, no obstante existen muchas técnicas de sombreo, la táctica más eficiente es la instalación de Shade balls (bolas de sombra) o secciones modulares dispuestas en el espejo de agua del embalse para amortiguar la tasa de evaporación de la superficie del mismo hasta en un 90 % , en este contexto, se plantea la instalación de módulos artesanales de bajo costo, conformados con el mismo material del recubrimiento del embalse y listones de madera como se ilustra en la figura (25).

Figura 25.

Vista en corte de un módulo tipo, de madera con recubrimiento de plástico de polietileno



Fuente: Robayo S. (2021)

Como se indica en la tabla (22), para el cálculo del volumen del tanque es importante distribuir los meses, iniciando con el mes con mayor dato de precipitación media, los demás meses siguen la secuencia del mismo.

Tabla 25.

Cálculo del volumen del tanque de almacenamiento.

		Área cubierta 104.34 m ²		C. de escorrentía 0.9			
		Area del cultivo 400 m ²		V. interceptor 100 l			
Mes	precipitación prom mensual	Oferta Ai m ³ /mes parcial	Acumulada	Demanda Ai m ³ /mes parcial	Acumulada	Vol. Potencial pluvial m ³	
Nov	258.07	19.39	19.39	0.00	0.00	19.29	
Dic	68.88	5.17	24.56	5.50	5.50	18.96	
Ene	82.48	6.20	30.76	4.48	9.98	20.68	
Feb	64.86	4.87	35.63	34.28	44.26	-8.73	
Mar	132.7	9.97	45.60	1.62	45.88	-0.38	
Abr	128.36	9.64	55.24	0.00	45.88	9.26	
May	147.58	11.09	66.33	0.00	45.88	20.35	
Jun	143.09	10.75	77.08	0.00	45.88	31.10	
Jul	133.89	10.06	87.14	5.04	50.93	36.11	
Ago	119.33	8.96	96.10	0.00	50.93	45.07	
Sep	112.26	8.43	104.54	0.00	50.93	53.51	
Oct	162.15	12.18	116.72	0.00	50.93	65.69	

Nota: Los valores negativos en el volumen se obtuvieron debido a que la demanda es superior a la oferta.

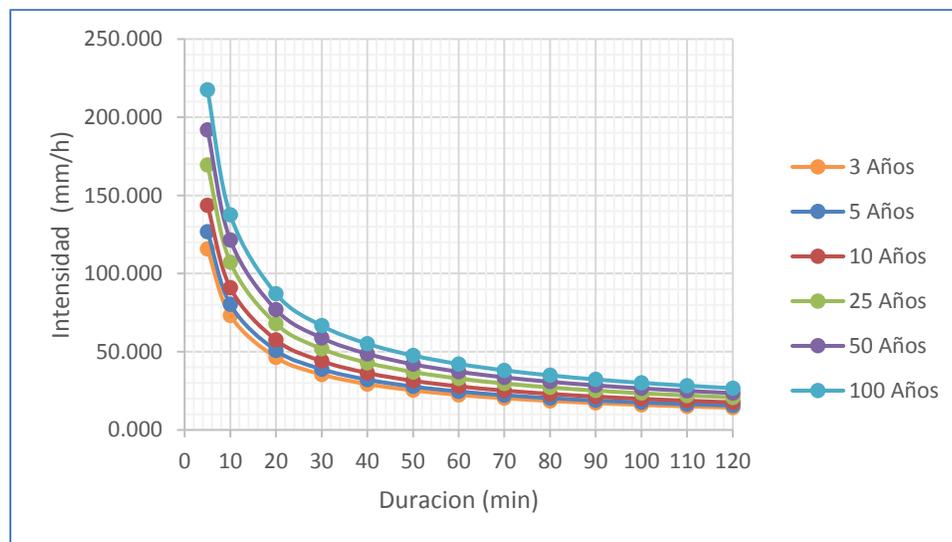
Fuente: Robayo S. (2021)

Nota: cuando se obtienen valores negativos en el volumen potencial pluvial a ser captado como indica los valores resaltados en rojo de la tabla anterior, expresa que la demanda acumulada supera la oferta acumulada.

Para el Caudal de diseño se obtuvieron las curvas IDF (figura 26), en la cual se observa que a menor duración mayor intensidad en los diferentes tiempos de retorno. Por ejemplo, para una duración de 10 min y un tiempo de retorno de 10 años se presenta una intensidad máxima de 90.916 mm/h

Figura 26.

Curvas intensidad Duración y frecuencia IDF.



Fuente: Robayo S. (2021) a partir de la precipitación máxima de la estación Parque Tama, Herrán registradas en las estaciones del IDEAM

Finalmente, conforme a la resolución 0330 de 2017, se calculo el tiempo de concentración de 5 minutos teniendo en cuenta que el área de recolección 0.010435 Km², y en la resolución propone un rango mínimo entre 3-10 min, lo cual se cumple con la norma.

Tabla 26.

Caudal de diseño.

	Caudal de diseño	Unidades
F. conversión	2.780	adimensional
Coefficiente Ce	0.900	adimensional
Intensidad	115.66	mm/h
Área Cubierta	0.010435	Km ²
Q	3.02	l/s

Fuente: Robayo S. (2021)

Nótese que se tomó toda el área de la cubierta para el cálculo del caudal de diseño a pesar de que la vivienda tiene una cubierta a dos aguas, sin embargo, se calculó el diámetro de la unión de las tuberías que reciben la canal lateral derecha e izquierda. Dicho esto, de la ecuación de Manning se despeja el diámetro y se obtuvo:

- a. Para $r = (1/3)$; $D = 2.44$ Pulg.
- b. Para $r = (7/24)$; $D = 2.64$ Pulg.
- c. Para $r = (1/4)$; $D = 2.91$ Pulg.

De acuerdo con lo anterior se establece un diámetro de 3 pulg. lo cual satisface el caudal pico de salida de la cubierta de la vivienda, siendo el diámetro comercial más cercano al valor máximo evaluado.

Para el verificar la altura máxima (d) dentro de la sección de la canaleta, se determinó el caudal (Tabla 27)., con base en la parte de mayor área tributaria de la cubierta, teniendo en cuenta que la vivienda es a dos aguas, no obstante, están asimétricamente distribuidas.

Tabla 27.

caudal de diseño para la proyección de mayor área tributaria.

Caudal de diseño	
F. conversión	2.780
Coficiente Ce	0.900
Intensidad	115.66
Área Cubierta	0.0064126
Q	1.86 l/s

En base al caudal de la tabla anterior, se obtuvo un tirante hidráulico de 90 mm, lo cual está dentro del rango de la sección de la canaleta, teniendo en cuenta que se analizó con un caudal máximo.

8.4 Análisis de la viabilidad del uso del agua lluvia como una alternativa en los cultivos durante la época de estiaje.

Para la zona de estudio en particular, el potencial meteorológico abarca una proporción mayor a los requerimientos del área proyectada para los cultivos, de acuerdo al análisis de la relación entre la oferta y demanda acumulada anual, el potencial de ahorro de agua se describe de la siguiente manera.

$$\%P_{ah} \frac{117.85}{50.93} \times 100 = 231.39$$

A pesar del gran potencial hidrico, se logro evidenciar periodos como el mes de febrero, donde el riego requerido supera la demanda acumulada debido a que existen periodos donde las plantas exigen un aporte hidrico mayor y otros donde el riego no es necesario. Este incremento en el consumo agricola, corresponde a la etapa media y desarrollo de los de las plantas en las condiciones de humedad del suelo y las precipitaciones que se presentan la zona.

En el desarrollo de este proyecto se lo logro comprobar un evidente ahorro, en el reciclaje de aguas pluviales desde la superficie de la vivienda para los dos cultivos, generando un gran potencial de ahorro, resultado de la gestion de los requerimientos propias del cultivo en especifico, siendo un sistema autososteniblemente viable como se aprecia en la tabla (28) solo en los meses de febrero y marzo presenta un deficit de 8,73 m³ y 0,38 m³, respectivamente.

Tabla 28.

Déficit de agua mensual en función de la oferta y demanda de agua.

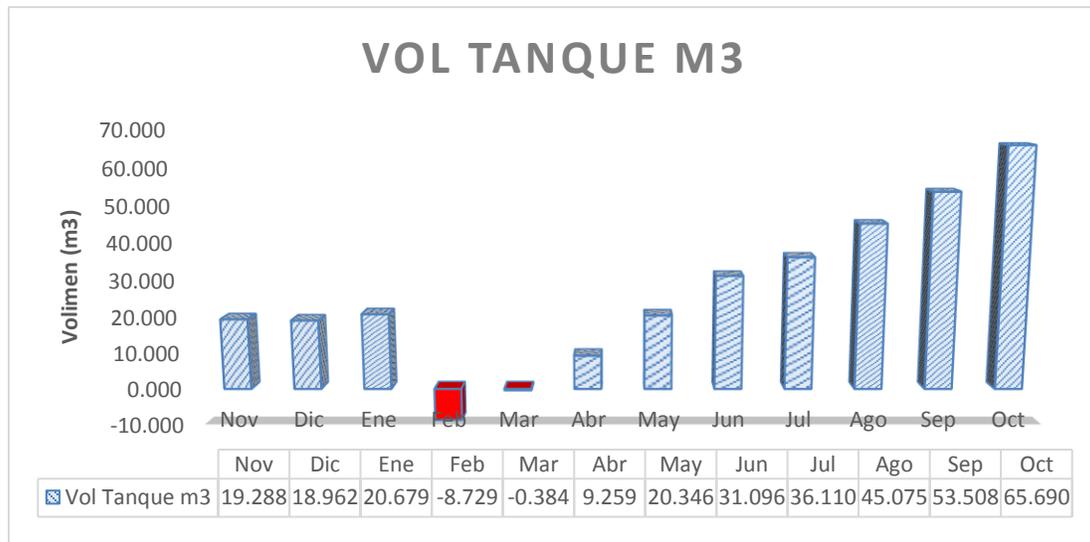
Mes	Ofer. Acum.	Dem. Acum.	Vol potencial pluvial m3	Déficit
Nov	19.388	0.000	19.288	No
Dic	24.562	5.500	18.962	No
Ene	30.759	9.980	20.679	No
Feb	35.631	44.260	-8.729	Si
Mar	45.600	45.884	-0.384	Si
Abr	55.243	45.884	9.259	No
May	66.330	45.884	20.346	No
Jun	77.080	45.884	31.096	No
Jul	87.138	50.928	36.110	No
Ago	96.103	50.928	45.075	No
Sep	104.536	50.928	53.508	No
Oct	116.718	50.928	65.690	No

Fuente: Robayo S. (2021)

En la figura 27 las barras color rojo indican déficit hídrico, para los cultivos de maíz y fresa, en relación a la tabla anterior para el periodo anual analizado.

Figura 27.

Volumen del potencial hídrico mensual.



Fuente: Robayo S. (2021)

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis físico – químico, microbiológico y las normas locales e internacionales de referencia se determinó la viabilidad del uso de agua potable, donde se encontró valores no aceptables (señalados en rojo), los cuales se aprecian en la tabla 29

Dos muestreos se captaron directamente de la lluvia captada en un recipiente el día 12 y 29 de abril de 2021 y un tercer muestreo se tomó desde la cubierta de la vivienda del proyecto, el mismo 29 de abril, en conformidad al decreto 1575 de 2007.

Los parámetros microbiológicos se superan de los valores aceptables para consumo humano, para los tres muestreos, así mismo de los parámetros físicos como la turbiedad y color aparente se encuentran fuera del rango para la muestra del 12 de abril y el color aparente para las dos muestras del 6 de mayo.

Tabla 29.

Análisis de los Resultados de los componentes del agua.

Muestra	PARAMETRO	VALOR DE ANALISIS	VALORES ESTABLECIDOS POR NORMATIVAS PARA USO POTABLE						
			EU (mg/L)	EPA (mg/L)	WHO (mg/L)	UK (mg/L)	CA (mg/L)	COL (mg/L)	MEX (mg/L)
1 (12 abril)	Color (UPC)	9	10	0,5-1,0	5	20	1	15	-
	Alcalinidad	4	20	15	15	30	15	200	-
	Conductividad (µS/cm)	3.5	-	-	-	2500	400	1000	-
	Turbiedad (UNT)	3.36	60	-	-	4	-	2	-
	Dureza total	<0,1	-	-	-	60	-	300	500
	Nitratos	0,002	50	10	-	50	-	10	10
	Coliformes totales	20 NMP/100ml	0/250ml	0/100ml	-	0/100ml	-	0/100ml	-
2(6 Mayo) Sin cubierta	Color (UPC)	0	10	0,5-1,0	5	20	1	15	-
	Alcalinidad	24	20	15	15	30	15	200	-
	Conductividad (µS/cm)	6.7	-	-	-	2500	400	1000	-
	Turbiedad (UNT)	1.18	60	-	-	4	-	2	-
	Dureza total	<0.1	-	-	-	60	-	300	500
	Nitratos	0,003	50	10	-	50	-	10	10
	Coliformes totales	20 NMP/100ml	0/250ml	0/100ml	-	0/100ml	-	0/100ml	-
2(6 Mayo) Con cubierta	Color (UPC)	3	10	0,5-1,0	5	20	1	15	-
	Alcalinidad	10	20	15	15	30	15	200	-
	Conductividad (µS/cm)	8.5	-	-	-	2500	400	1000	-
	Turbiedad (UNT)	1.97	60	-	-	4	-	2	-
	Dureza total	<0.1	-	-	-	60	-	300	500
	Nitratos	0,004	50	10	-	50	-	10	10
	Coliformes totales	45 NMP/100ml	0/250ml	0/100ml	-	0/100ml	-	0/100ml	-

Fuente: Robayo S. (2021)

Con respecto al análisis de metales pesados se muestran en la Tabla 30, de los cuales se puede establecer valores dentro del rango aceptable para consumo.

Tabla 30.

Comparativos componentes químicos de las muestras tomadas.

Parámetro	Muestra 1 12-abril sin cu- bierta	Muestra 2 06-mayo sin cu- bierta	Muestra 1 06-mayo con cu- bierta	Valor Max. Aceptable
pH	6.420	7.010	6.730	6.5-9.0
Ca (mg/L)	0.760	0.860	<0.1	60
Cd (mg/L)	ND	ND	ND	0.003
Cr (mg/L)	ND	ND	ND	0.05
Fe (mg/L)	0.150	0.023	<0.1	0.3
K (mg/L)	0.440	0.119	0.890	-
Mg (mg/L)	0.040	ND	0.030	36
Mn (mg/L)	0.025	ND	ND	0.1
Cu (mg/L)	-	0.154	0.148	1.0

Fuente: Robayo S. (2021)

Los parámetros químicos del agua lluvia correspondientes a las tres muestras analizadas en los laboratorios de Control de Calidad y de Diagnóstico de la universidad de Pamplona, se encuentran dentro del rango aceptable en conformidad con la resolución 2115 de 2017.

Con respecto al índice IRCA, se estableció un puntaje de riesgo promedio que corresponde a RIESGO ALTO para consumo humano (Tabla 31), con base en los parámetros obtenido de los análisis fisicoquímicos y de microbiología del agua.

Tabla 31.

Puntaje de riesgo de las muestras de agua.

parámetro	Puntaje		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Color aparente	6	6	6
Turbiedad	15	0	0
Coliformes Totales	15	15	15
Escherichia Coli	25	25	25
Total, Puntaje	61	46	46
puntaje promedio	51		

Fuente: Robayo S (2021)

Conforme al artículo 1594 de 1984 y los resultados obtenidos de las tres muestras de agua, cumplen con los valores aceptables para riego de cultivos (tabla 32).

Tabla 32.

Parámetros analizados, para uso agrícola.

Referencia	Símbolo	Valor aceptable (mg/l)	Cumple
Cadmio	Cd	0.01	si
Cobre	Cu	0.2	si
Cromo	Cr	0.1	si
Hierro	Fe	5	si
Manganeso	Mn	0.2	si
pH	Unidades	4.5 - 9.0	si
Coliformes T.	NMP	5000	si
Coliformes F.	NMP	1000	si

Fuente: Robayo S (2021)

8.5 Creación de una maqueta virtual de recolección de aguas lluvias en SketchUp

Una vez definidos cada uno de los componentes y su respectivo dimensionamiento de la red de distribución, comprendidos como muestran la figura (28-29) por: superficie de recolección, canaletas y tuberías de conducción, tanque receptor de primeras aguas, tanque de reserva 2 m³ y reservorio tipo embalse. Este último como ya se había mencionado con una capacidad de 35 m³, recibidos al rebosar la capacidad del tanque de reserva y transportado por una tubería de 3” con una pendiente mínima de 2% de acuerdo al RAS 2016, título D, para garantizar una velocidad capaz de arrastrar los sedimentos propios de la cubierta, cabe mencionar que de acuerdo a la topografía del terreno puede funcionar a gravedad. El modelo animado se adjuntará el los anexos correspondientes.

Figura 28.

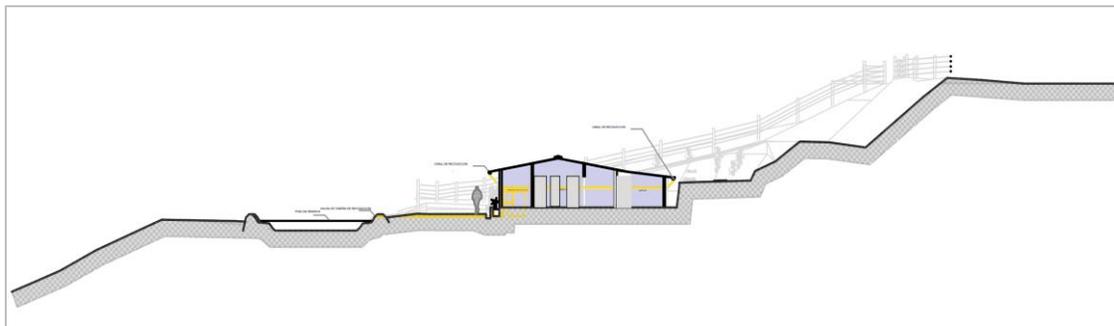
Render del modelo de recolección pluvial.



Fuente: Robayo S (2021)

Figura 29.

Corte longitudinal, desde la proyección frontal de la vivienda del proyecto.



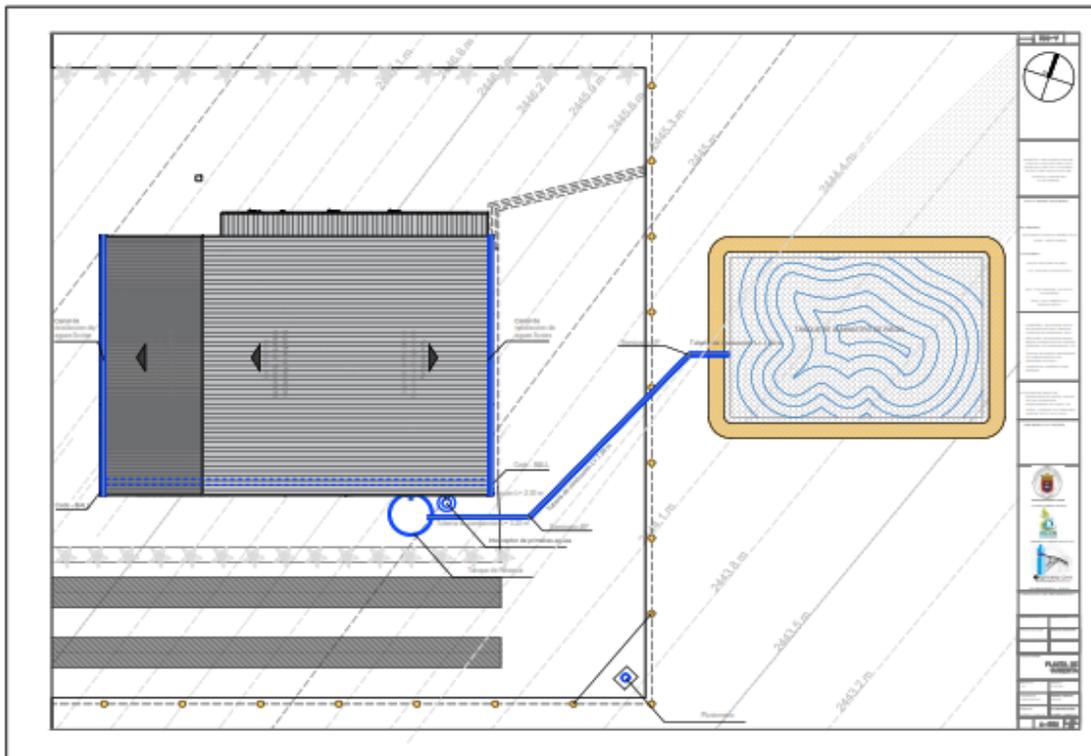
Fuente: Robayo S (2021)

En la figura (30) se observa la planimetría del sistema para abastecer los cultivos, este se conforma por: las canaletas de recolección, la tubería de conducción que a su vez intercepta la escorrentía dividida por el parteaguas de la superficie vivienda para posteriormente conducir a un

tanque receptor de primeras compuesto por un sello hidraulico tipo flotador, orientado a lo largo de largo del mismo, dando lugar al paso del agua a un segundo tanque de 2 m³, correspondiente a la reserva, que se conecta a un tercer tanque de suministro de riego, excavado y revestido en geomenbrana plastica especial para embalses.

Figura 30.

Planos de la vivienda del esquema de recolección de aguas lluvias.



Fuente: Robayo S (2021)

De acuerdo al esquema del sistema de recolección pluvial planteado, se elaboró el presupuesto, donde se establece el costo de la mano de obra estimado en \$ 1'753.350 y los componentes que conforman el sistema hidráulico en \$ 2'441.000 para un total de \$ 4'194.350. (ver tabla 33)

Tabla 33. presupuesto del sistema de recolección pluvial

No. Partida	Partida	No. Concepto	Concepto	Unidad de Medida	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
1	Mano de obra	1.1	replanteo manual, rendimiento 0,034 hH por m2	m2	40	\$ 128.72	\$ 5,148.80
		1.2	Excavacion manual H< 2m material blando	m3	36.83	\$ 45,000.00	\$ 1,657,350.00
		1.3	instalacion der prefabricados (incluye canaletas, tuberias, tanques y recubrimiento del embalse)	Dia	3	\$ 30,284.20	\$ 90,852.60
TOTAL DE MANO DE OBRA							\$ 1,753,351.40
2	Canaletas y accesorios	2.1	Canaleta Amazon. Longitud 3 metros	Und	6	\$ 75,000.00	\$ 450,000.00
		2.2	Union de canal	Und	4	\$ 20,000.00	\$ 80,000.00
		2.3	Trancicion canal a bajante redonda 3"	Und	2	\$ 34,000.00	\$ 68,000.00
		2.4	Tapas canal	Und	4	\$ 10,000.00	\$ 40,000.00
		2.5	Soportes canal cada 0.75 m	Und	20	\$ 5,000.00	\$ 100,000.00
TOTAL CANALETAS Y ACCESORIOS							\$ 738,000.00
3	Tuberias de conduccion	3.1	Tubo PVC sanitario liviano 3" x 6 m	Und	4	\$ 36,000.00	\$ 144,000.00
		3.2	Tubo PVC sanitario liviano 3" x m	m	1.1	\$ 13,000.00	\$ 14,300.00
		3.3	Union sanitaria 3"	Und	4	\$ 3,000.00	\$ 12,000.00
		3.4	codo sanitario 45º 3"	Und	6	\$ 50,000.00	\$ 300,000.00
		3.5	codo sanitario 90º 3"	Und	4	\$ 5,000.00	\$ 20,000.00
		3.6	Yee Sanitaria 3"	Und	3	\$ 6,400.00	\$ 19,200.00
		3.7	Pegante PVC 1/16 Galon	Und	1	\$ 39,000.00	\$ 39,000.00
TOTAL TUNERIAS DE CONDUCCION							\$ 548,500.00
4	interceptor y accesorios	4.1	Tanque interceptor tipo caneca	Und	1	\$ 130,000.00	\$ 130,000.00
		4.2	Tubo sanitario 4" x m	m	0.6	\$ 17,483.00	\$ 10,489.80
		4.3	Bola para el sello hidraulico del interceptor (icopor)	Und	1	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00
		4.4	Buje sanitario soldado 4" a 3"	Und	2	\$ 7,300.00	\$ 14,600.00
TOTAL INTERCEPTOR Y ACCESORIOS							\$ 157,089.80
5	Tanques reserva y suministro	5.1	Tanque plastico 2000 Litros	Und	1	\$ 530,000.00	\$ 530,000.00
		5.2	Plastico para Embalse rollo calibre 7 10m x10 m	Und	1	\$ 359,000.00	\$ 359,000.00
		5.3	Plastico para sombreo calibre 3,5 x m2	m2	25	\$ 1,266.00	\$ 31,650.00
		5.4	Listones madera 1"x1" longitud 6 m	Und	34	\$ 2,000.00	\$ 68,000.00
		5.5	Puntillas 2" x libra	libra	2	\$ 3,900.00	\$ 7,800.00
TOTAL TANQUE RESERVA Y SUMINISTRO							\$ 996,450.00

Costo total mano de obra	\$ 1,753,351.40
Costo total materiales	\$ 2,440,039.80
Valor total	\$ 4,193,391.20

Fuente: Robayo S (2021)

Conclusiones

Se logro diseñar un sistema de aprovechamiento pluvial, capaz de albergar agua lluvia para temporada de estiaje, donde se pudo demostrar, el gran potencial hídrico pluvial que tiene la zona, considerando una cubierta relativamente pequeña.

El cultivo de maíz y fresa, demanda grandes volúmenes de agua en su etapa media y desarrollo aunado a las condiciones climáticas, así mismo a la capacidad de retención de agua del suelo, pese a que en el periodo de febrero y marzo resulto un déficit en el volumen de agua disponible para riego albergado, las condiciones climáticas otorgan un equilibrio en los periodos siguientes donde no se requiere riego, es decir se recarga en volumen del tanque de almacenamiento esta para abastecer este pico de consumo, una vez se afore a su capacidad máxima.

De acuerdo a los análisis de la composición del agua se pudo establecer, que no es apta para el consumo humano, por lo que presenta un riesgo potencial al ser consumido, sin embargo, cumple los requerimientos mínimos establecidos por el decreto 1594 de 1984, para ser usada en el riego de los cultivos.

La implementación de este proyecto, además de dotar de reservas para épocas de estiaje, se genera un potencial extra en el ahorro hídrico al implementar buenas prácticas de riego que en cierto grado beneficia la productividad, análogicamente, las comunidades agrícolas por lo general

tienden a dotar los cultivos de agua casi diariamente, lo que sugiere una gran demanda y un desperdicio considerable.

A pesar de que en los meses de febrero y marzo presento déficit debido a los picos de consumo de los cultivos, la oferta y demanda hídrica anual de la zona es 51 m^3 , 117 m^3 respectivamente lo cual una vez se cuanta, con el volumen de los tanques diseñados, el sistema será capaz de proveer agua a lo largo del periodo agrícola.

La evapotranspiración anual del cultivo de maíz y fresa es 572.3 mm/m , 614.6 mm/m respectivamente lo cual indica una pérdida de agua para los cultivos hacia la atmosfera, diferente para cada cultivo a pesar de que las condiciones meteorológicas n las mismas, debido principalmente a la diferencia en el tamaño foliar de los cultivos y la variabilidad en las etapas de los mismos.

Lo suelos de la zona de estudio son arenosos de acuerdo a la distribución granulométrica de las muestras analizadas en el laboratorio, lo cual indican mejor drenaje en periodos de lluvias intensas, tal como se presentó en los meses de noviembre, marzo, abril, mayo y junio

Recomendaciones

Se recomienda aforar como mínimo el tanque de reserva una vez se dé inicio al proyecto, una vez el fenómeno meteorológico llene su capacidad de los dos tanques, de acuerdo a los análisis realizados a lo largo de esta investigación, con el monitoreo de las variables que influyen en la oferta hídrica, el sistema será autosostenible, es decir que la demanda hídrica será inferior al volumen dispuesto en el embalse, además contara con el de reserva que en cierta manera garantiza la lámina de agua necesaria para riego de los cultivos de fresa y maíz a lo largo de sus etapas hasta cumplir el ciclo de cosecha.

Si bien es cierto que no se conoce a ciencia cierta las características mecánicas o propiedades del suelo geotécnicamente, donde se construirá el tanque de suministro de riego tipo embalse, por ende se recomienda una adecuada permeabilización, a la hora de instalar la geomembrana plástica, y a su vez la instalación de drenaje adecuado para cuando este se encuentra a su capacidad volumétrica, para evitar una posible remoción de masa por exceso de humedad lo cual caracteriza las zonas con topografías accidentadas aunado a las lluvias excesivas que en algunos periodos del año se presentan allí.

Se recomienda la implementación en la zona de estudio, de este tipo de estrategias, de recolección, gestión y aprovisionamiento de fuentes alternas, en el marco de la crisis hídrica que

se enfrenta a nivel mundial, el cual refleja sus consecuencias, principal mente a los sectores de mayor demanda como es el caso de la agricultura, que a su vez repercute en los demás sectores de la economía.

Para proyectos futuros en la zona, que contemplen el uso del agua para consumo doméstico se recomienda monitoreos de la calidad del agua, de acuerdo con lineamientos mínimos de control de calidad en base a normas que rigen estos parámetros, para que no represente ningún riesgo y tomar las medidas que correspondan para su potabilización.

Se recomienda hacer chequeo y limpieza periódico a todos los componentes que conforman el sistema de recolección pluvial para garantizar el buen funcionamiento del mismo, y evitar la obstrucción de partículas sedimentadas en las canaletas e interceptor de primeras aguas, el cual debe ser drenado periódicamente.

Referencias bibliográficas

- Ruiz C., J.A., G. Medina G., I. J. González A., H.E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K.F. Byerly M. y R.A. Martínez P. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p.
- Allen, R. G., Pereira, L. S.; Raes, D. y Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 56:1-79.
- Pérez Carmona, R. (2019). INSTALACIONES HIDROSANITARIAS, DE GAS Y DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS EN EDIFICACIONES (Octava ed.). Bogotá D.C., Colombia: ECOE EDICIONES
- Macias, J., Vargas, A., & Arellano, F. (2018). CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN DOS SITIOS DEL VALLE CENTRAL DE COSTA RICA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE TRES HYDRAULIC CONDUCTIVITY IN TWO SITES OF THE CENTRAL VALLEY OF COSTA RICA: COMPARATIVE ANALYSIS OF THREE METHODOLOGIES. 75–100. <https://doi.org/10.15517/rgac.v59i0.34160>.

Vargas, M., & Diaz, G., *Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia*, Universidad de los Andes. Santafé de Bogotá, 1998.

Bowles, J. (1981), *Manual De Laboratorio De Suelos En Ingeniería Civil* (Pág. 84). (México): McGRAW-HILL.

Manejo, E. L., & Suelo, D. E. L. (2013.). *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas*.

Cámara de Comercio de Bogotá y Vicepresidencia de Fortalecimiento Empresarial y Programa de Apoyo Agrícola y Agroindustrial. (2015), *Manual fresa*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11520/14312>.

Abdulla, F. A.-S. (2009). *Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan*. *Desalination* 243, 195-207.

Guía de diseño para la captación del agua lluvia, Lima 2004

Alfredo Tolón Becerra, A. T. (2013). *HUELLA HÍDRICA Y SOSTENIBILIDAD DEL USO DE LOS RECURSOS*. *Revista Electrónica de Medio Ambiente*. UCM, 31.

Castañeda, N. P. (2010). *Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia*. Antioquia, *Gestión y ambiente*.

Villon, M. (2002). Hidrología. Cartago, Costa Rica: Escuela de Ingeniería Agrícola. Villegas, J.A y Torres, B.E (1977). Evapotranspiración. Serie Didáctica, Facultad de Agronomía y Zootécnica, Universidad Nacional de Tucumán.

Estupiñán, J., & Zapata, H. (2010). Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá. Trabajo de Grado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. Obtenido de. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/1265/ing05.pdf?sequence=2>

CORPONOR-UFPS, Documentos de lineamientos técnicos para la gestión del cambio climático y un desarrollo bajo en carbono y resiliente al clima, Colombia, 2018.

Losada, J. (2015). Análisis De Posibles Cambios a Través Del Tiempo En La Ocurrencia, Intensidad Y Magnitud De La Precipitación Para Tormentas Extremas Sobre La Ciudad De Bogotá, 168. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/50590/1/1019031239.2015.pdf>

León, A. A. Córdoba R., J.C. & Carreño S., U.F. (2016). Revisión del estado de arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos. Revista Tecnura, 20(50).

- Estupiñán, J., & Zapata, H. (2010). Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá. Trabajo de Grado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. Obtenido de. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/1265/ing05.pdf?sequence=2>
- Cruz, O. (2013). El cultivo de maíz, manual para el cultivo de maíz en Honduras. In Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (*DICTA*).
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2017). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS 2000 - Título D, Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias. Bogotá.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2017). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Resolución 0330 de 2017. Bogotá.
- Silva, A. Ponce de león, J. García, F. & Durán, A. 1988. Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay. Boletín de Investigación N° 10. Facultad de Agronomía. Universidad de la República
- Ortiz, W., & Velandia, W. (2017). Propuesta para la captacion y uso de agua de lluvia en las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia a partir de un modelo físico de recolección de agua. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1(1), 1188–1197. Recuperado de https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15502/1/5_TRABAJO DE

GRADO.pdf%0Ahttps://osf.io/nf5me%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2015.01.012%0Ahttps://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1047840X.2017.1373546%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.li

Deaquiz, Y. A., Álvarez Herrera, J. G., & Pinzón Gómez, L. P. (2015). Efecto de diferentes láminas de riego sobre la producción y calidad de fresa (*Fragaria sp.*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 192. <https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3213>

Trujillo-Marín, E. E., Cun-González, R., & Herrera-Puebla, J. (2017). Estudio del efecto del exceso de humedad en el cultivo del maíz (*Zea mays L.*). *Study of the Excess of Humidity Effect on Corn Cultivation (Zea Mays L.)*, 7(1), 60–64.

<http://10.0.51.84/RG.2.2.28326.32325%5Cnhttp://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=121340480&lang=es&site=ehost-live>

Villanueva-Mejía, DF (2018). Estudios sobre la Bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia. *Estudios Sobre La Bioeconomía Como Fuente de Nuevas Industrias Basadas En El Capital Natural de Colombia*, 1-49.

FAO, Riego y drenaje (2013), Captación y almacenamiento de agua de lluvia, Santiago de Chile

Aquino. T. (2010). Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento: manual técnico. Instituto Politécnico Nacional. <https://elibro-net.unipamplona.basesdedatosetzproxy.com/es/lc/unipamplona/titulos/101812>

Norma técnica de recolección de aguas residuales y lluvias, NDI-SE-RA-007/V1.0, criterios de diseño en sistemas de alcantarillado, EMCALI. Cali. Colombia

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, (2018). Decreto 1090 de 2018 Bogotá, Colombia

CIDECALI-CP (2007. Manual sobre Sistemas de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia para Uso Doméstico y Consumo Humano. Colegio de Posgraduados. México.

Food and Agriculture Organization [FAO]. (2009). Guía para la descripción de suelos. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación*, 100.
[file:///C:/Users/Alina Belen Ortiz/Downloads/a0541s00 \(1\).pdf](file:///C:/Users/Alina%20Belen%20Ortiz/Downloads/a0541s00%20(1).pdf)

INVIAS. Análisis granulométrico por medio del hidrómetro. Bogotá. Norma Invias E124-13. Año 2013 19

ASTM. Standard test Method for Particle-size analysis of soils. Bogotá. Norma ASTM D 422 (Reaprobada 1988). Año 1998.

Jiménez, S., & Khalajabadi, S. (2009). LA DENSIDAD APARENTE Y SU RELACIÓN CON OTRAS PROPIEDADES EN SUELOS DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA.

Journal Of Agricultural Education and Human Resource Development, 41(1), 191–210.

<https://doi.org/10.23840/agehrd.2009.41.1.191>

Ordoñez, J.J (2011). Cartilla técnica: Ciclo hidrológico. Sociedad geográfica de Lima

IDEAM - UNAL, Variabilidad Climática y Cambio Climático en Colombia, Bogotá, D.C., 2018.

Water Texas Development Board. The Texas Manual on Rainwater Harvesting. Development, 2005.

Cruz, O. (2013). El cultivo de maíz, manual para el cultivo de maíz en Honduras. In *Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA)*.

Anexo A. Variables climatológicas.

ESTACION LA ESPERANZA												
VALORES MEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACION EN 24 HORAS (mm)												
MUNICIPIO	CATEGORIA											ELEVACION
RAGONVALIA. NDS	PLUVIOMETRICA											1828
SERIE	1991-2020											
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JULIO.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1991	15.70	25.50	193.30	97.50	64.20	75.80	84.20	85.00	179.20	119.20	166.00	63.50
1992	9.30	9.50	5.20	66.00	150.00	102.00	115.00	229.20	195.00	102.00	173.00	64.00
1993	62.00	37.00	28.00	75.60	264.30	123.00	98.00	109.00	235.20	105.00	223.00	20.00
1994	74.00	35.90	73.40	132.60	151.10	68.20	123.80	134.30	134.40	328.00	122.10	54.00
1995	9.00	10.00	75.00	143.00	58.00	234.00	147.00	280.80	158.00	354.00	121.00	136.00
1996	28.20	71.00	58.00	80.00	197.00	193.20	202.00	157.00	151.00	256.20	230.00	95.00
1997	116.00	49.00	98.00	69.00	104.00	149.00	85.00	50.00	123.00	130.00	78.20	5.10
1998	0.00	91.80	83.60	133.00	221.00	192.30	131.60	90.00	166.30	261.50	196.50	106.30
1999	174.50	79.70	26.00	236.00	57.00	194.00	113.10	159.70	268.80	317.00	173.50	175.90
2000	109.50	92.10	120.00	77.00	77.00	94.00	99.00	71.90	257.00	194.00	154.00	59.00
2001	0.00	18.20	21.00	37.60	109.50	78.80	109.40	64.40	199.00	217.00	106.90	50.40
2002	48.00	23.50	87.50	143.80	203.90	112.90	74.30	33.60	132.70	81.50	18.70	28.60
2003	2.00	5.40	37.30	235.20	65.00	163.60	119.20	119.00	109.00	248.60	176.40	176.20
2004	93.10	24.90	33.20	236.30	278.00	77.90	75.10	67.60	210.40	253.40	229.50	90.40
2005	92.10	152.30	4.70	132.30	255.70	120.60	53.90	77.90	110.50	333.70	362.70	49.60
2006	75.70	35.70	140.70	232.20	274.70	121.30	130.10	133.20	119.50	215.40	68.30	77.70
2007	12.00	28.80	79.40	150.80	115.30	91.90	122.20	243.90	116.60	318.60	94.70	56.20
2008	60.40	42.30	28.40	136.00	260.60	90.50	261.90	250.90	268.90	302.40	189.80	72.50
2009	61.30	52.00	163.60	41.00	143.70	86.50	119.70	151.70	95.00	138.40	213.70	10.00
2010	0.00	17.10	89.30	334.90	267.10	192.70	307.50	202.00	385.70	255.50	382.20	131.10
2011	66.00	61.80	174.20	507.80	358.80	213.70	107.20	162.90	138.70	182.90	452.90	152.20
2012	51.80	10.80	142.20	300.90	161.20	141.30	108.40	181.60	104.30	372.40	102.20	33.70
2013	4.20	36.60	31.80	138.70	206.30	120.90	78.40	183.40	168.80	81.70	237.70	137.20
2014	11.40	30.50	56.20	88.40	126.30	79.10	46.10	67.20	93.60	191.60	104.80	24.80
2015	20.40	56.80	42.00	61.10	71.80	71.20	113.20	117.50	68.80	62.50	149.00	15.30
2016	12.40	21.90	43.60	152.10	174.00	115.40	91.00	75.50	100.40	165.80	263.30	137.20
2017	59.00	35.20	215.80	106.00	189.40	185.00	138.00	149.30	92.30	141.90	206.20	55.70
2018	65.20	24.20	148.40	139.10	74.40	126.30	142.80	101.60	202.90	378.50	109.00	2.00
2019	44.10	6.10	60.00	216.10	171.00	92.50	125.30	76.10	133.80	152.10	93.20	105.10
2020	27.70	14.10	148.40	13.80	53.60	189.00	79.30	156.90	245.70	224.10	109.00	35.40



ESTACION MANZANARES												
VALORES MEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACION EN 24 HORAS (mm)												
MUNICIPIO	CATEGORIA						SERIE	ELEVACION				
CHINACOTA. NDS	PLUVIOMETRICA						1991-2020	1370				
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JULIO.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1991	21.90	16.80	151.50	64.70	85.90	68.60	59.20	63.10	132.10	82.10	103.80	103.90
1992	0.00	15.40	22.50	61.60	89.70	80.80	73.30	146.30	184.10	82.10	147.60	85.10
1993	44.10	30.50	16.40	93.90	304.20	105.10	51.50	36.50	76.70	47.70	103.00	39.20
1994	138.00	56.00	74.70	207.90	84.80	56.40	64.10	81.60	162.60	374.00	187.80	110.40
1995	7.40	10.30	116.60	150.90	91.90	106.20	107.80	180.00	74.90	251.80	112.90	151.40
1996	58.90	34.40	27.20	37.50	190.30	164.20	110.30	128.80	127.00	308.20	199.80	107.10
1997	83.40	60.70	76.50	61.00	68.20	97.00	85.00	37.00	89.00	72.00	82.80	11.30
1998	0.00	111.30	29.30	276.70	130.40	130.60	164.00	53.80	166.80	308.30	221.30	319.60
1999	205.60	134.00	70.30	239.90	62.70	127.10	127.20	82.90	247.30	208.80	159.20	234.50
2000	169.50	166.30	201.40	60.90	71.00	63.20	94.90	54.00	234.00	306.10	157.10	41.10
2001	9.00	30.60	6.80	22.30	61.90	52.80	67.50	78.00	134.40	216.30	150.40	88.40
2002	26.80	26.70	128.60	184.90	147.80	105.10	41.60	34.20	93.70	108.60	17.40	25.80
2003	4.60	41.80	72.90	251.50	52.90	172.60	107.00	102.70	72.20	255.90	216.70	85.40
2004	52.70	20.40	238.60	363.50	236.80	60.10	46.50	65.60	234.90	375.40	278.30	222.80
2005	168.80	142.10	1.50	128.00	171.20	92.60	82.70	59.40	96.30	218.40	369.00	45.20
2006	74.70	47.70	146.20	219.30	234.70	48.40	76.90	87.20	131.90	243.80	90.50	93.30
2007	12.60	16.10	102.20	166.90	89.80	105.10	41.60	34.20	93.70	108.60	17.40	25.80
2008	79.20	39.30	31.60	123.00	359.80	88.70	54.10	137.60	191.50	92.90	224.50	53.70
2009	88.10	123.70	230.10	58.60	246.50	60.90	81.60	116.10	90.60	128.80	105.20	7.40
2010	0.00	7.00	49.80	307.00	190.80	107.40	255.70	122.70	362.30	277.10	360.00	163.20
2011	56.60	130.00	190.70	656.50	234.00	306.30	115.50	196.50	294.30	225.50	388.90	181.30
2012	51.10	20.50	101.90	471.10	107.70	68.60	82.20	89.10	102.20	237.20	135.70	43.80
2013	9.30	73.90	39.40	140.70	251.90	62.80	54.10	137.60	191.50	59.40	344.10	95.50
2014	5.60	57.90	131.40	81.90	140.30	60.70	23.80	55.30	39.00	205.70	182.10	16.50
2015	4.00	88.30	72.50	92.80	44.80	71.40	111.70	22.00	53.90	120.40	126.50	7.30
2016	11.90	15.20	55.20	197.70	126.20	86.90	53.00	105.40	59.90	123.00	265.30	70.30
2017	53.90	63.40	176.20	159.30	106.10	127.40	115.40	89.10	123.60	86.20	157.50	64.10
2018	13.60	66.10	60.80	242.00	93.40	104.30	84.80	56.40	132.20	388.80	183.70	0.00
2019	16.10	0.00	57.50	261.50	75.70	50.10	60.80	57.50	166.80	186.00	245.10	31.40
2020	21.90	23.20	95.40	14.30	39.10	105.60	120.10	110.40	212.50	252.30	325.10	80.80

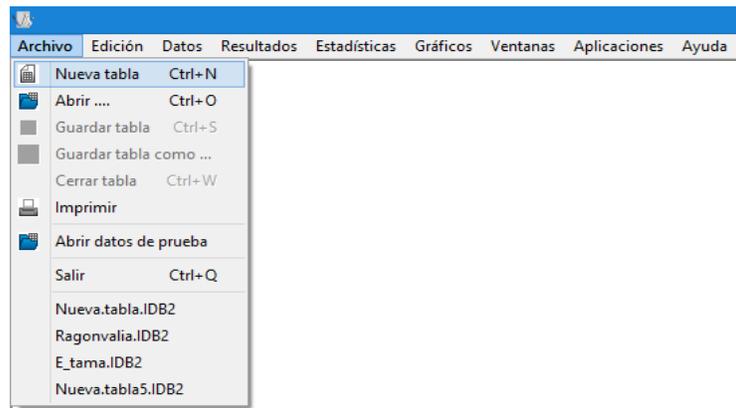


ESTACION RAGONVALA												
VALORES MEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACION EN 24 HORAS (mm)												
MUNICIPIO	CATEGORIA						SERIE	ELEVACION				
RAGONVALA. NDS	PLUVIOMETRICA						1991-2020	1663				
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JULIO.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1991	15.70	25.50	193.30	97.50	64.20	75.80	84.20	85.00	179.20	119.20	166.00	63.50
1992	9.30	9.50	5.20	66.00	150.00	102.00	115.00	229.20	195.00	102.00	173.00	64.00
1993	62.00	37.00	28.00	75.60	264.30	123.00	98.00	109.00	235.20	105.00	223.00	20.00
1994	74.00	35.90	73.40	132.60	151.10	68.20	123.80	134.30	134.40	328.00	122.10	54.00
1995	9.00	10.00	75.00	143.00	58.00	234.00	147.00	280.80	158.00	354.00	121.00	136.00
1996	28.20	71.00	58.00	80.00	197.00	193.20	202.00	157.00	151.00	256.20	230.00	95.00
1997	116.00	49.00	98.00	69.00	104.00	149.00	85.00	50.00	123.00	130.00	78.20	5.10
1998	0.00	91.80	83.60	133.00	221.00	192.30	131.60	90.00	166.30	261.50	196.50	106.30
1999	174.50	79.70	26.00	236.00	57.00	194.00	113.10	159.70	268.80	317.00	173.50	175.90
2000	109.50	92.10	120.00	77.00	77.00	94.00	99.00	71.90	257.00	194.00	154.00	59.00
2001	0.00	18.20	21.00	37.60	109.50	78.80	109.40	64.40	199.00	217.00	106.90	50.40
2002	48.00	23.50	87.50	143.80	203.90	112.90	74.30	33.60	132.70	81.50	18.70	28.60
2003	2.00	5.40	37.30	235.20	65.00	163.60	119.20	119.00	109.00	248.60	176.40	176.20
2004	93.10	24.90	33.20	236.30	278.00	77.90	75.10	67.60	210.40	253.40	229.50	90.40
2005	92.10	152.30	4.70	132.30	255.70	120.60	53.90	77.90	110.50	333.70	362.70	49.60
2006	75.70	35.70	140.70	232.20	274.70	121.30	130.10	133.20	119.50	215.40	68.30	77.70
2007	12.00	28.80	79.40	150.80	115.30	91.90	122.20	243.90	116.60	318.60	94.70	56.20
2008	60.40	42.30	28.40	136.00	260.60	90.50	261.90	250.90	268.90	302.40	189.80	72.50
2009	61.30	52.00	163.60	41.00	143.70	86.50	119.70	151.70	95.00	138.40	213.70	10.00
2010	0.00	17.10	89.30	334.90	267.10	192.70	307.50	202.00	385.70	255.50	382.20	131.10
2011	66.00	61.80	174.20	507.80	358.80	213.70	107.20	162.90	138.70	182.90	452.90	152.20
2012	51.80	10.80	142.20	300.90	161.20	141.30	108.40	181.60	104.30	372.40	102.20	33.70
2013	4.20	36.60	31.80	138.70	206.30	120.90	78.40	183.40	168.80	81.70	237.70	137.20
2014	11.40	30.50	56.20	88.40	126.30	79.10	46.10	67.20	93.60	191.60	104.80	24.80
2015	20.40	56.80	42.00	61.10	71.80	71.20	113.20	117.50	68.80	62.50	149.00	15.30
2016	12.40	21.90	43.60	152.10	174.00	115.40	91.00	75.50	100.40	165.80	263.30	137.20
2017	59.00	35.20	215.80	106.00	189.40	185.00	138.00	149.30	92.30	141.90	206.20	55.70
2018	65.20	24.20	148.40	139.10	74.40	126.30	142.80	101.60	202.90	378.50	109.00	2.00
2019	44.10	6.10	60.00	216.10	171.00	92.50	125.30	76.10	133.80	152.10	93.20	105.10
2020	27.70	14.10	148.40	13.80	53.60	189.00	79.30	156.90	245.70	224.10	109.00	35.40

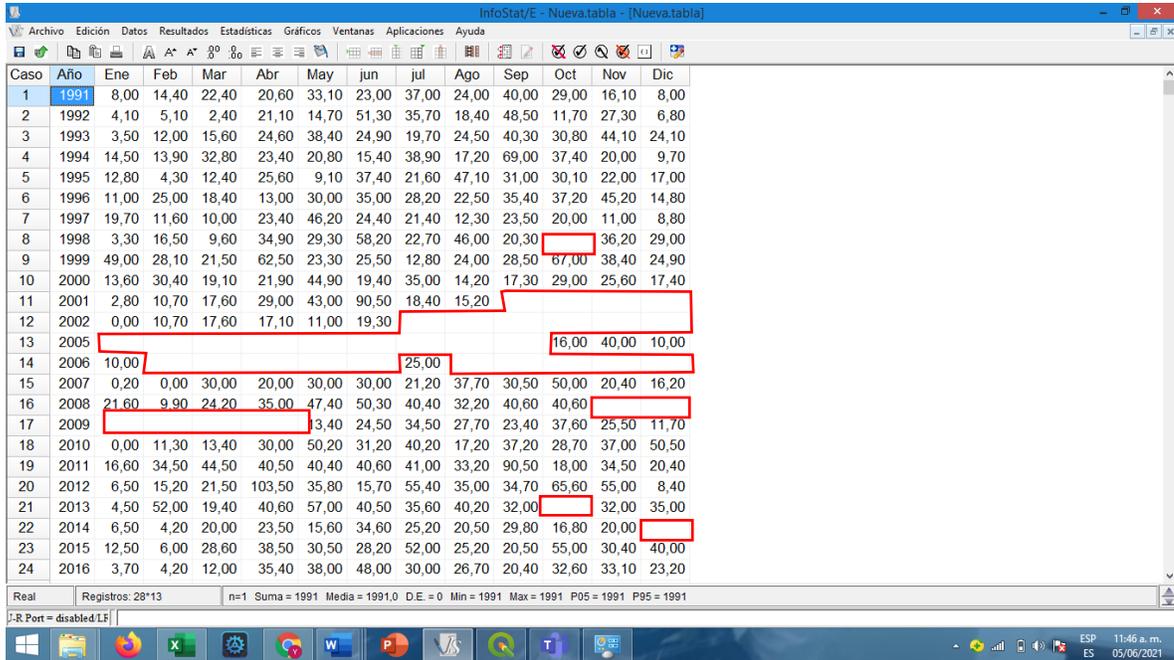
Anexo B. Datos faltantes

Como se puede notar en las series de datos multianuales, la mayoría de presente datos faltantes, a continuación, se muestra un ejemplo de cómo se obtuvo el dato faltante, mediante la metodología de la distancia Euclídea en el software InfoStat.

En la barra de herramientas de software, en la pestaña archivo, seleccionamos nueva tabla.



1.) Posteriormente podemos copiar los datos directamente de Excel y pegarlos en el software, o importarlos del mismo, organizando cada uno de ellos como muestra la figura.



Caso	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	jun	jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	1991	8,00	14,40	22,40	20,60	33,10	23,00	37,00	24,00	40,00	29,00	16,10	8,00
2	1992	4,10	5,10	2,40	21,10	14,70	51,30	35,70	18,40	48,50	11,70	27,30	6,80
3	1993	3,50	12,00	15,60	24,60	38,40	24,90	19,70	24,50	40,30	30,80	44,10	24,10
4	1994	14,50	13,90	32,80	23,40	20,80	15,40	38,90	17,20	69,00	37,40	20,00	9,70
5	1995	12,80	4,30	12,40	25,60	9,10	37,40	21,60	47,10	31,00	30,10	22,00	17,00
6	1996	11,00	25,00	18,40	13,00	30,00	35,00	28,20	22,50	35,40	37,20	45,20	14,80
7	1997	19,70	11,60	10,00	23,40	46,20	24,40	21,40	12,30	23,50	20,00	11,00	8,80
8	1998	3,30	16,50	9,60	34,90	29,30	58,20	22,70	46,00	20,30		36,20	29,00
9	1999	49,00	28,10	21,50	62,50	23,30	25,50	12,80	24,00	28,50	67,00	38,40	24,90
10	2000	13,60	30,40	19,10	21,90	44,90	19,40	35,00	14,20	17,30	29,00	25,60	17,40
11	2001	2,80	10,70	17,60	29,00	43,00	90,50	18,40	15,20				
12	2002	0,00	10,70	17,60	17,10	11,00	19,30						
13	2005										16,00	40,00	10,00
14	2006	10,00						25,00					
15	2007	0,20	0,00	30,00	20,00	30,00	30,00	21,20	37,70	30,50	50,00	20,40	16,20
16	2008	21,60	9,90	24,20	35,00	47,40	50,30	40,40	32,20	40,60	40,60		
17	2009					3,40	24,50	34,50	27,70	23,40	37,60	25,50	11,70
18	2010	0,00	11,30	13,40	30,00	50,20	31,20	40,20	17,20	37,20	28,70	37,00	50,50
19	2011	16,60	34,50	44,50	40,50	40,40	40,60	41,00	33,20	90,50	18,00	34,50	20,40
20	2012	6,50	15,20	21,50	103,50	35,80	15,70	55,40	35,00	34,70	65,60	55,00	8,40
21	2013	4,50	52,00	19,40	40,60	57,00	40,50	35,60	40,20	32,00		32,00	35,00
22	2014	6,50	4,20	20,00	23,50	15,60	34,60	25,20	20,50	29,80	16,80	20,00	
23	2015	12,50	6,00	28,60	38,50	30,50	28,20	52,00	25,20	20,50	55,00	30,40	40,00
24	2016	3,70	4,20	12,00	35,40	38,00	48,00	30,00	26,70	20,40	32,60	33,10	23,20

2.) Es importante que a los datos se les asigne un formato de número real. Esto se puede hacer seleccionando todas las celdas y dando clic derecho, posteriormente en tipo de dato seleccionamos real o en el apartado DATOS de la barra superior podemos realizar este mismo procedimiento.

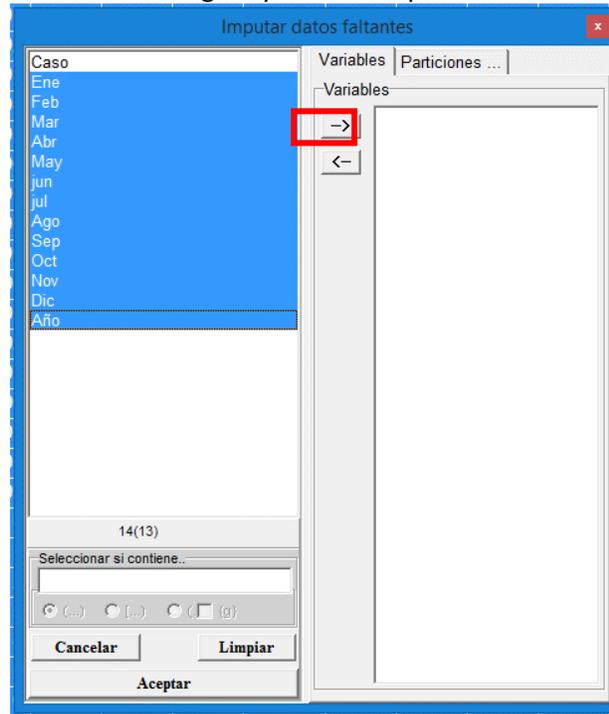
Caso	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	jun	jul	Ago	Sep
1	1991	8,00	14,40	22,40	20,60	33,10	23,00	37,00	24,00	40,00
2	1992	4,10	5,10	2,40	21,10	14,70	51,30	35,70	18,40	48,50
3	1993	3,50	12,00	15,60	24,60	38,40	24,90	19,70	24,50	40,30
4	1994	14,50	13,90	32,80	23,40	20,80	15,40	38,90	17,20	69,00
5	1995	12,80	4,30	12,40	25,60	9,10	37,40	21,60	47,10	31,00
6	1996	11,00	25,00	18,40	13,00	30,00	35,00	28,20	22,50	35,40
7	1997	19,70	11,60	10,00	23,40	46,20	24,40	21,40	12,30	23,50
8	1998	3,30	16,50	9,60	34,90	29,30	58,20	22,70	46,00	20,30
9	1999	49,00	28,10	21,50	62,50	23,30	25,50	12,80	24,00	28,50
10	2000	13,60	30,40	19,10	21,90	44,90	19,40	35,00	14,20	17,30
11	2001	2,80	10,70	17,60	29,00	43,00	90,50	18,40	15,20	
12	2002	0,00	10,70	17,60	17,10	11,00	19,30			
13	2005									
14	2006	10,00					25,00			
15	2007	0,20	0,00	30,00	20,00	30,00	30,00	21,20	37,70	30,50
16	2008	21,60	9,90	24,20	35,00	47,40	50,30	40,40	32,20	40,60
17	2009					13,40	24,50	34,50	27,70	23,40
18	2010	0,00	11,30	13,40	30,00	50,20	31,20	40,20	17,20	37,20
19	2011	16,60	34,50	44,50	40,50	40,40	40,60	41,00	33,20	90,50
20	2012	6,50	15,20	21,50	103,50	35,80	15,70	55,40	35,00	34,70
21	2013	4,50	52,00	19,40	40,60	57,00	40,50	35,60	40,20	32,00
22	2014	6,50	4,20	20,00	23,50	15,60	34,60	25,20	20,50	29,80
23	2015	12,50	6,00	28,60	38,50	30,50	28,20	52,00	25,20	20,50
24	2016	3,70	4,20	12,00	35,40	38,00	48,00	30,00	26,70	20,40

3.) Posteriormente en el apartado estadística, análisis multivariado, seleccionamos imputar datos faltantes.

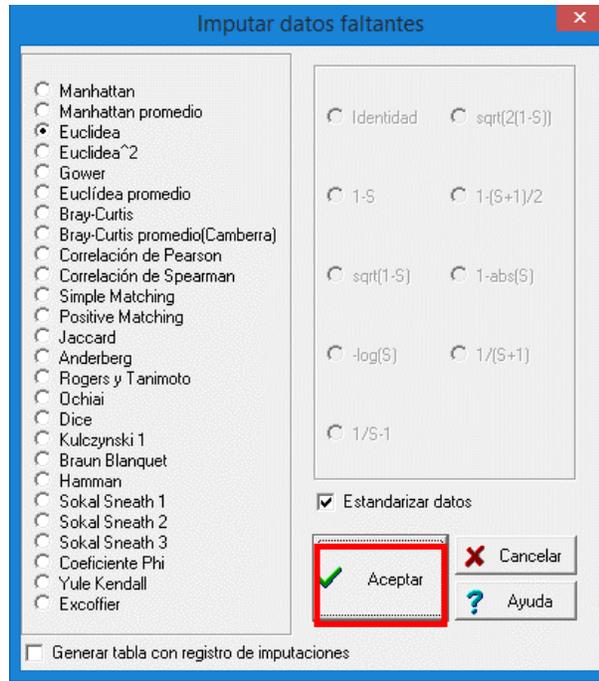
Measures summary
Frequency tables
Probabilities and quantiles
Estimation of population characteristics
Non-parametric variance analysis
Sample size calculation
Inference based on a sample
Inference based on two samples
Variance analysis
General linear models and mixed models
Generalized mixed linear models (MLGM)
Linear regression
Non-linear regression
Mixed non-linear models
Ridge regression
Correlation analysis
Structural Equations Models
Categorized data
Multivariate analysis
Time series
Smoothing and adjustments

Estadística descriptiva multivariada
Análisis de conglomerados
Componentes principales
Análisis discriminante
Correlaciones canónicas
PLS
Análisis de la varianza multivariado
Comparación de medias multivariadas (gDGC)
Matrices de distancias y similitudes
Análisis de correspondencias
Análisis de coordenadas principales (EMD)
Procrustes generalizado
Árboles de clasificación-regresión
Biplot y ARM
Biplot externo
Imputar datos faltantes
SVD missingvalue imputation
Filtros (selección de atributos)

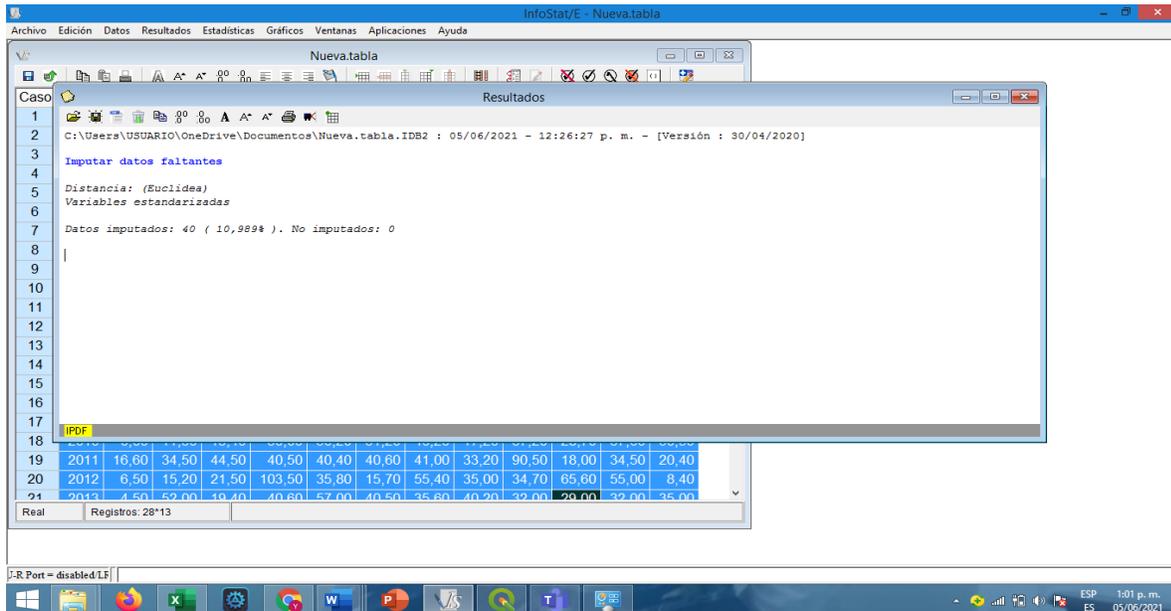
4.) Aparece una ventana, donde seleccionamos las etiquetas de los meses, clicamos la flecha como indica la figura y damos aceptar



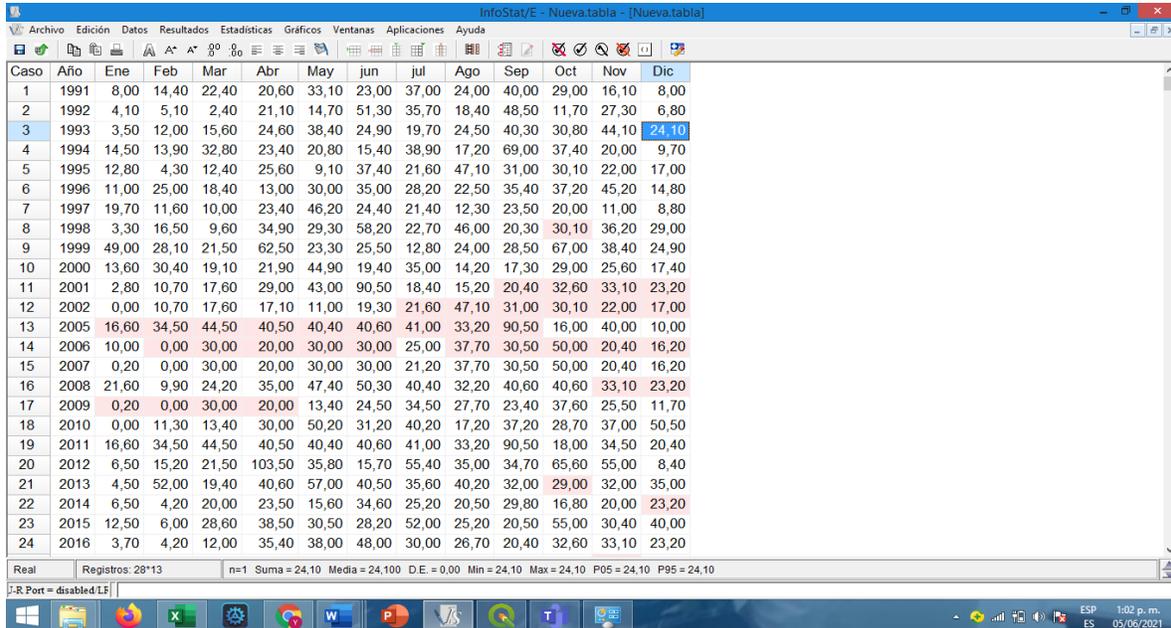
5.) Se genera una nueva ventana, seleccionamos el método de imputación y aceptamos



6.) Finalmente se generan los datos y la densidad imputada en porcentaje.



Los resultados que se generan se pueden exportar en formato de texto o en libro de Excel como muestra la figura.



Caso	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	jun	jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	1991	8,00	14,40	22,40	20,60	33,10	23,00	37,00	24,00	40,00	29,00	16,10	8,00
2	1992	4,10	5,10	2,40	21,10	14,70	51,30	35,70	18,40	48,50	11,70	27,30	6,80
3	1993	3,50	12,00	15,60	24,60	38,40	24,90	19,70	24,50	40,30	30,80	44,10	24,10
4	1994	14,50	13,90	32,80	23,40	20,80	15,40	38,90	17,20	69,00	37,40	20,00	9,70
5	1995	12,80	4,30	12,40	25,60	9,10	37,40	21,60	47,10	31,00	30,10	22,00	17,00
6	1996	11,00	25,00	18,40	13,00	30,00	35,00	28,20	22,50	35,40	37,20	45,20	14,80
7	1997	19,70	11,60	10,00	23,40	46,20	24,40	21,40	12,30	23,50	20,00	11,00	8,80
8	1998	3,30	16,50	9,60	34,90	29,30	58,20	22,70	46,00	20,30	30,10	36,20	29,00
9	1999	49,00	28,10	21,50	62,50	23,30	25,50	12,80	24,00	28,50	67,00	38,40	24,90
10	2000	13,60	30,40	19,10	21,90	44,90	19,40	35,00	14,20	17,30	29,00	25,60	17,40
11	2001	2,80	10,70	17,60	29,00	43,00	90,50	18,40	15,20	20,40	32,60	33,10	23,20
12	2002	0,00	10,70	17,60	17,10	11,00	19,30	21,60	47,10	31,00	30,10	22,00	17,00
13	2005	16,60	34,50	44,50	40,50	40,40	40,60	41,00	33,20	90,50	16,00	40,00	10,00
14	2006	10,00	0,00	30,00	20,00	30,00	30,00	25,00	37,70	30,50	50,00	20,40	16,20
15	2007	0,20	0,00	30,00	20,00	30,00	30,00	21,20	37,70	30,50	50,00	20,40	16,20
16	2008	21,60	9,90	24,20	35,00	47,40	50,30	40,40	32,20	40,60	40,60	33,10	23,20
17	2009	0,20	0,00	30,00	20,00	13,40	24,50	34,50	27,70	23,40	37,60	25,50	11,70
18	2010	0,00	11,30	13,40	30,00	50,20	31,20	40,20	17,20	37,20	28,70	37,00	50,50
19	2011	16,60	34,50	44,50	40,50	40,40	40,60	41,00	33,20	90,50	18,00	34,50	20,40
20	2012	6,50	15,20	21,50	103,50	35,80	15,70	55,40	35,00	34,70	65,60	55,00	8,40
21	2013	4,50	52,00	19,40	40,60	57,00	40,50	35,60	40,20	32,00	29,00	32,00	35,00
22	2014	6,50	4,20	20,00	23,50	15,60	34,60	25,20	20,50	29,80	16,80	20,00	23,20
23	2015	12,50	6,00	28,60	38,50	30,50	28,20	52,00	25,20	20,50	55,00	30,40	40,00
24	2016	3,70	4,20	12,00	35,40	38,00	48,00	30,00	26,70	20,40	32,60	33,10	23,20

Anexo C. registros fotográficos de los ensayos de suelo.

Métodos de muestreo de suelo para ensayos con fines agrícolas.



análisis granulométrico por el método de tamizado, correspondiente a la fracción gruesa del suelo



Ensayo de infiltración, método de Horton y Kostiacov



Ensayo densidad aparente, método de la parafina.

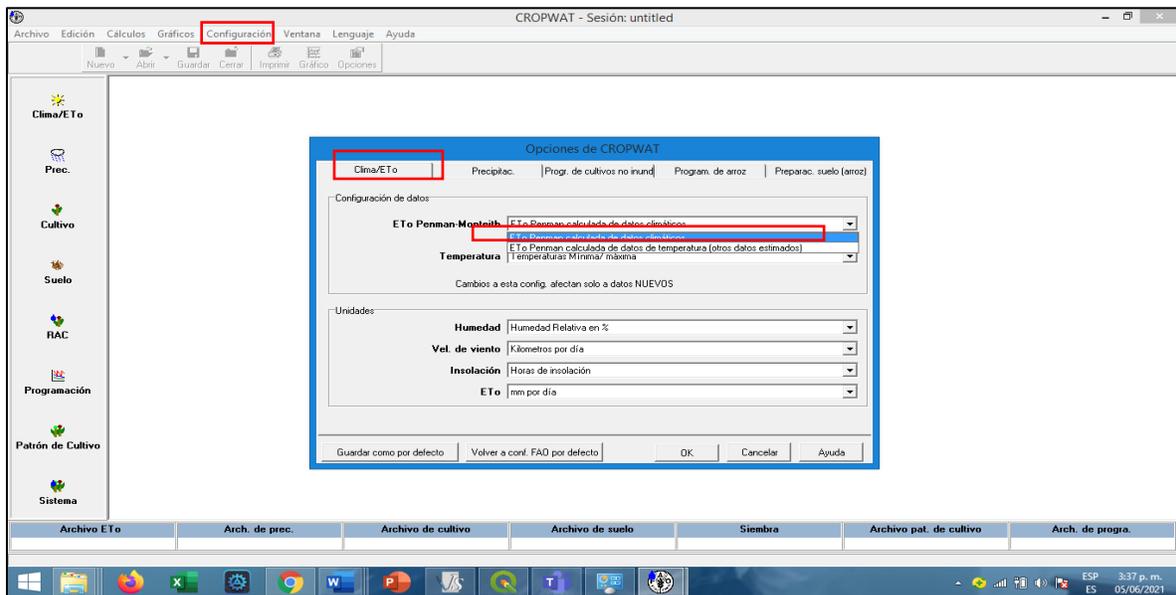


Ensayo de granulometría de partículas finas mediante el densímetro 152-H

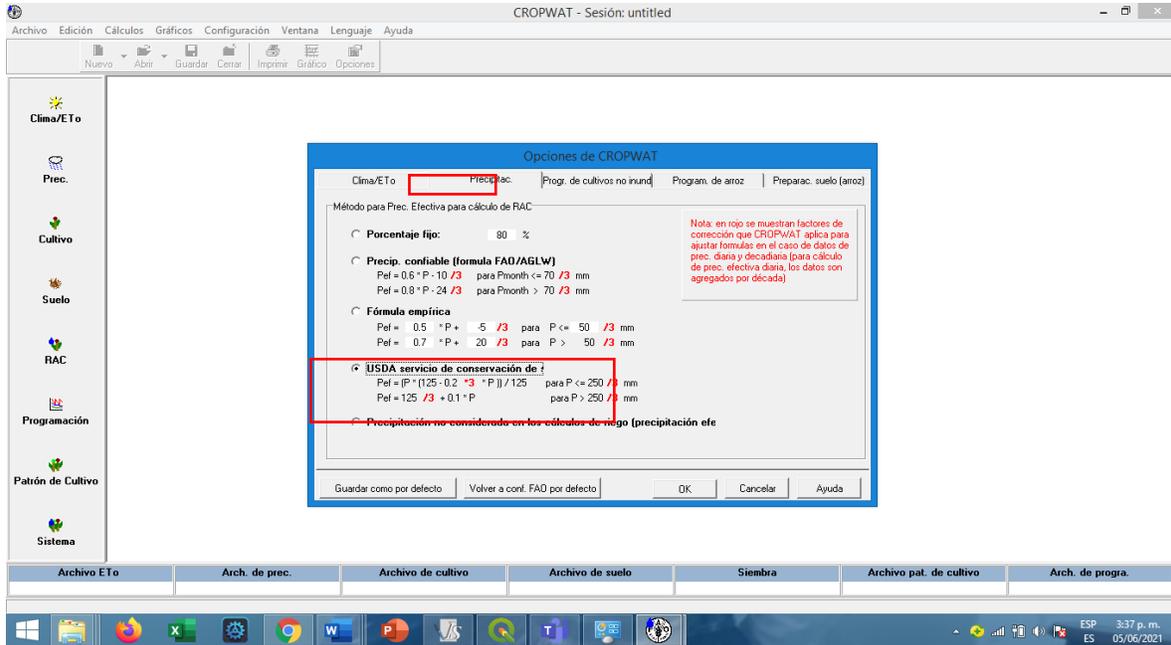


Anexo C. programa de riego Software Cropwat.

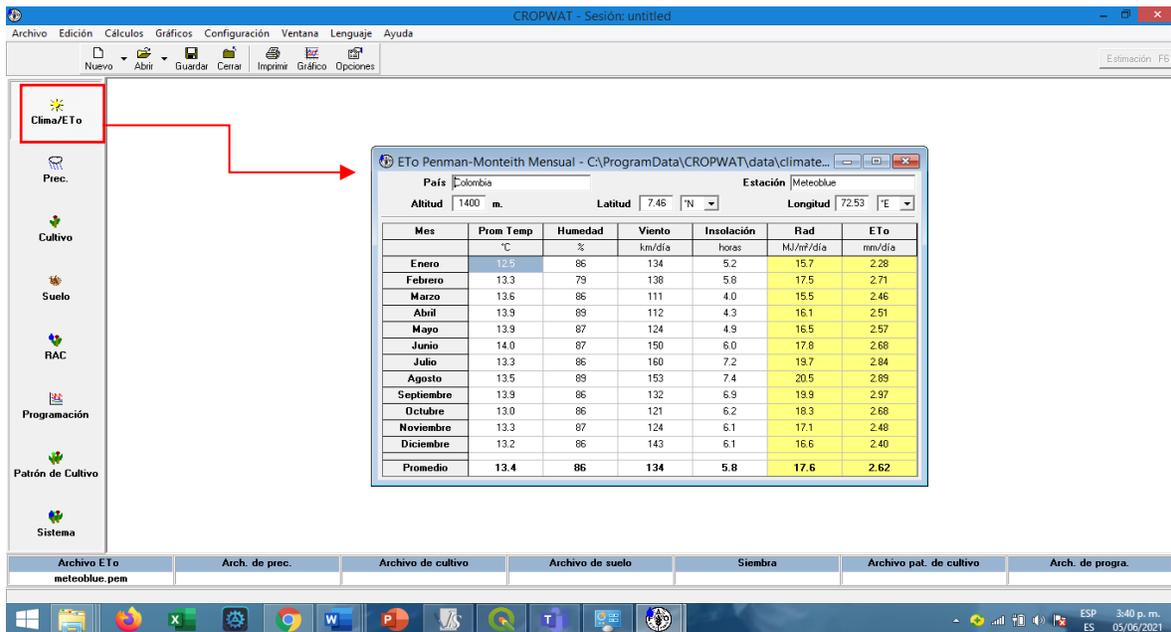
1.) Lo primero es configurar la metodología y las unidades, esto se hace en la pestaña configuraciones, opciones y en el primer apartado para el caso de este proyecto se eligió, ETo Penman Calculadora de datos climáticos.



2.) En la pestaña precipitación, se escogió la metodología USDA (servicio y conservación de suelos).



3.) Procedemos a ingresar los datos climáticos.



4.) Datos de precipitación.

Mes	Precipit.	Prec. efec.
	mm	mm
Enero	43.7	40.6
Febrero	11.5	11.3
Marzo	70.6	62.6
Abril	234.7	146.6
Mayo	268.4	151.9
Junio	172.8	125.0
Julio	66.3	59.3
Agosto	84.2	72.9
Septiembre	161.0	119.5
Octubre	172.3	124.8
Noviembre	82.2	71.4
Diciembre	46.5	43.0
Total	1415.2	1029.0

5.) Datos de cultivo

Etapa (días)	initial	desarrollo	med	fin de temporada	total
Kc Valores	0.40	0.85	0.75		
Prof. radicular (m)	0.25	0.30			
Agotam. crítico (fracción)	0.20	0.20	0.20		
F. respuesta rend.	0.45	0.40	0.45	0.40	0.43
Altura de cult. (m)		0.20 (opcional)			

6.) Datos de suelo

Nombre del suelo: Arenoso

Datos generales de suelo:

- Humedad de suelo disponible total (CC-PMFP): 37.0 mm/metro
- Tasa máxima de infiltración de la precipitación: 14 mm/día
- Profundidad radicular máxima: 100 centímetros
- Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT): 2 %
- Humedad de suelo inicialmente disponible: 36.3 mm/metro

F. respuesta rend.: 0.45, 0.40, 0.45, 0.40, 0.43

Altura de cult. [m]: 0.20 (opcional)

7.) Como resultado obtenemos el requerimiento de riego.

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ET0: Meteoblue | Cultivo: Fresa | Fecha de siembra: 05/06

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req. Riego mm/dec
Jun	1	Inic	0.73	1.92	11.5	27.5	0.0
Jun	2	Inic	0.71	1.92	19.2	43.5	0.0
Jun	3	Inic	0.70	1.93	19.3	36.6	0.0
Jul	1	Inic	0.69	1.93	19.3	24.5	0.0
Jul	2	Inic	0.68	1.94	19.4	16.0	3.4
Jul	3	Inic	0.67	1.92	21.1	18.8	2.3
Ago	1	Inic	0.66	1.90	19.0	21.7	0.0
Ago	2	Des	0.65	1.89	18.9	22.7	0.0
Ago	3	Des	0.44	1.27	14.0	28.4	0.0
Sep	1	Des	0.48	1.43	14.3	36.0	0.0
Sep	2	Des	0.53	1.58	15.8	41.8	0.0
Sep	3	Des	0.58	1.66	16.6	41.7	0.0
Oct	1	Des	0.62	1.73	17.3	42.8	0.0
Oct	2	Des	0.67	1.79	17.9	44.4	0.0
Oct	3	Des	0.72	1.87	20.6	37.5	0.0
Nov	1	Med	0.74	1.89	18.9	29.0	0.0
Nov	2	Med	0.74	1.84	18.4	22.6	0.0
Nov	3	Med	0.74	1.82	18.2	19.9	0.0
Dic	1	Med	0.74	1.80	18.0	16.7	1.3
Dic	2	Med	0.74	1.78	17.8	13.1	4.7
Dic	3	Med	0.74	1.75	19.3	13.3	6.0
Ene	1	Med	0.74	1.72	17.2	14.6	2.6
Ene	2	Med	0.74	1.70	17.0	14.8	2.2

8.) Finalmente, una programación del riego explícitamente los días que cada cultivo lo requiere.

Programación de riego de cultivo

ETo estación: Meteoblue Cultivo: Fresa Siembra: 05/06 Red. Rend.: 0.0 %
 Est. de lluvia: Meteoblue Suelo: Arenoso Cosecha: 18/08

Momento: Regar a agotamiento crítico
 Aplicación: Reponer a capacidad de campo
 Ef. campo: 70 %

Fecha	Día	Etapa	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám. Netá	Déficit	Pérdida	Lam. Br.	Caudal
			mm	fiacc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/ha
10 Jun	6	lri	0.0	1.00	100	21	1.9	0.0	0.0	2.7	0.32
11 Jun	7	lri	0.0	1.00	100	21	1.9	0.0	0.0	2.7	0.32
12 Jun	8	lri	0.0	1.00	100	21	1.9	0.0	0.0	2.7	0.32
13 Jun	9	lri	29.0	1.00	100	20	1.9	0.0	0.0	2.7	0.32
14 Jun	10	lri	0.0	1.00	100	20	1.9	0.0	0.0	2.7	0.32
15 Jun	11	lri	0.0	1.00	100	20	1.9	0.0	0.0	2.7	0.32
16 Jun	12	lri	0.0	1.00	100	20	1.9	0.0	0.0	2.7	0.32

Lámina bruta total: 1125.3 mm Precipitación total: 1663.6 mm
 Lámina meta total: 797.7 mm Precipitación Efectiva: 16.5 mm
 Pérdida total de riego: 0.0 mm Pérdida tot. prec.: 1653.1 mm
 Uso real de agua del cultivo: 805.9 mm Def. de hum. en cosecha: 1.9 mm
 Uso pot. de agua del cultivo: 805.9 mm Req. reales de riego: 789.4 mm
 Efic. de programación de riego: 100.0 % Efic. de precipitación: 1.0 %
 Deficiencia de programación de riego: 0.0 %

Reducción de rendimiento
 Stagelabel A B C D Estación
 Reducciones en ETc 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 %

Archivo de cultivo: fresa.cro Archivo de suelo: arenoso 96.soi Siembra: 05/06