



Desarrollo de un software estadístico de variables meteorológicas, para la determinación de las necesidades y programación de riego de los cultivos a campo abierto y bajo invernadero, Hcda. El Prado.

Andrango Peralbo, Ismael Sebastián y Leiva Sangolquí, Steven Omar

Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Software

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniera en Software

Ing. Campaña Ortega, Mauricio Eduardo

16 de agosto del 2023



Plagiarism report

20230818Andrango Ismael _ Leiva Ste...

Scan details

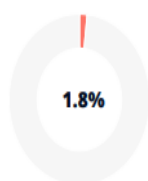
Scan time:
August 18th, 2023 at 14:31 UTC

Total Pages:
56

Total Words:
13848



Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	1.7%	242
Minor Changes	0%	0
Paraphrased	0%	0
Omitted Words	2.3%	321

AI Content Detection



Text coverage

- AI text
- Human text



Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Software

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Desarrollo de un software estadístico de variables meteorológicas, para la determinación de las necesidades y programación de riego de los cultivos a campo abierto y bajo invernadero, Hcda. El Prado”** fue realizado por el señor **Andrango Peralbo Ismael Sebastián** y el señor **Leiva Sangolquí Steven Omar**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 16 de Agosto de 2023



Ing. Campaña Ortega, Eduardo Mauricio

C. C.: 1708856701



Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Software

Responsabilidad de autoría

Nosotros, **Andrango Peralbo, Ismael Sebastián** con cédula de ciudadanía N° **1727791731** y **Leiva Sangolqui, Steven Omar** con cédula de ciudadanía N° **1720726643**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Desarrollo de un software estadístico de variables meteorológicas, para la determinación de las necesidades y programación de riego de los cultivos a campo abierto y bajo invernadero, Hcda. El Prado**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 16 de agosto de 2023

Andrango Peralbo Ismael Sebastián

C.C.: 1727791731

Leiva Sangolqui Steven Omar

C.C.: 1720726643



Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Software

Autorización de publicación

Nosotros, **Andrango Peralbo, Ismael Sebastián** con cédula de ciudadanía N° **1727791731** y **Leiva Sangolqui, Steven Omar** con cédula de ciudadanía N° **1720726643**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Desarrollo de un software estadístico de variables meteorológicas, para la determinación de las necesidades y programación de riego de los cultivos a campo abierto y bajo invernadero, Hcda. El Prado**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 16 de agosto de 2023

Andrango Peralbo Ismael Sebastián

C.C.: 1727791731

Leiva Sangolqui Steven Omar

C.C.: 1720726643

Dedicatoria

Quiero dedicar este logro a toda mi familia, especialmente a mis padres que sin su apoyo incondicional todos los días no hubiera sido posible este logro, también a mi hermano y mi sobrina que han sido mi motor para no darme por vencido y a Fran que desde el cielo supo guiarme y llenarme de valor para cumplir con este objetivo en mi vida.

Ismael Sebastián Andrango Peralbo

Quiero dedicar este logro a aquellas personas que estuvieron a lo largo de esta etapa tan enriquecedora en la que he podido desarrollarme tanto personal como profesionalmente, dando una especial dedicatoria a mis hermanos, a mi mamá y a mi mejor amiga que han sido un pilar fundamental que siempre me apoyaron desde el inicio hasta poder cumplir este objetivo y seguirán apoyándome en mis siguientes metas.

Steven Omar Leiva Sangolqui

Agradecimiento

A toda mi familia que me ha acompañado en todos estos años de mi etapa universitaria y con sus consejos han sabido guiarme para culminar este objetivo.

A todos mis compañeros en especial a mi compañero de tesis por su amistad y por ser un apoyo durante este trayecto.

Al Ing. Mauricio Campaña por ser nuestro guía en todo este proyecto y a los Ing. María Soledad Aguirre e Ing. Marcelo Arce por sus conocimientos y facilitarnos los datos climáticos que fueron de ayuda para la elaboración de este trabajo.

A mi JC que, con su apoyo incondicional, amor y paciencia me ha ayudado para no darme por vencido y cumplir con esta meta.

Ismael Sebastián Andrango Peralbo

El principal agradecimiento a mi madre quien me ha guiado durante toda mi etapa de estudios y me ha dado la fortaleza para seguir adelante. Al resto de mi familia por su comprensión y apoyo constante e incondicional a lo largo de esta maravillosa etapa.

A los profesores que me brindaron su conocimiento a lo largo de la carrera principalmente al Ing. Mauricio Campaña por ser nuestro guía durante este trabajo y a los Ing. María Soledad Aguirre e Ing. Marcelo Arce por ayudarnos con sus conocimientos sobre el tema tratado y la facilitación de los datos climáticos para la elaboración del sistema.

A mis compañeros que gane a lo largo de esta etapa y a mi compañero de tesis por su gran apoyo y su gran amistad.

Steven Omar Leiva Sangolqui

Tabla de contenido

Certificación.....	3
Resumen	14
Abstract.....	15
Capítulo I	16
Introducción.....	16
Antecedentes	16
Problemática	19
Justificación.....	19
Objetivos.....	20
Objetivo general	20
Objetivo Especifico.....	20
Alcance	20
Hipótesis	21
Capítulo II	21
Marco teórico	21
Cálculo de la evapotranspiración.....	22
Método Penman – Monteith.....	22
Precipitación efectiva.....	23
Cálculo de la necesidad del riego.....	24
La programación del riego	24

Variables climáticas	25
Diseño de software	25
Arquitectura de software	25
Front-End.....	26
Back End	26
Sistemas de información.....	26
Desarrollo de sistemas de información.....	26
Metodologías ágiles	27
Control de versiones de código.....	28
Revisión sistemática de literatura	29
Planteamiento del objetivo de búsqueda.....	29
Criterios de inclusión y exclusión.....	30
Conformación del grupo de control	31
Construcción de la cadena de búsqueda	33
Selección de estudios primarios	34
Resumen de los estudios primarios	36
Caracterización de los estudios primarios.....	40
Capítulo III	41
Arquitectura de la solución	41
Capa de presentación	42

	10
Capa de negocio	42
Capa de persistencia	42
Base de datos	43
Selección de herramientas	43
Análisis y diseño	47
Requisitos	47
Requisitos funcionales	47
Requisitos no funcionales	52
Patrones de diseño	54
Diseño de Interfaces	57
Componentes	58
Pantallas	61
Implementación	68
Módulo de procesamiento de datos	68
Módulo de clima	68
Módulo de necesidad de riego	72
Módulo de programación de riego	73
Pruebas del sistema	76
Capítulo IV	78
Conclusiones	78

Recomendaciones	79
Trabajos Futuros	79
Bibliografía	81
Apéndices.....	85

Índice de tablas

Tabla 1 Conformación del grupo de control.....	32
Tabla 2 Cadenas de búsqueda	34
Tabla 3 Estudios obtenidos en base a los criterios de inclusión y exclusión.....	35

Índice de Figuras

Figura 1 Ecuación Penman-Monteith	17
Figura 2 Ecuación de Penman – Monteith.....	23
Figura 3 Diagrama de arquitectura.....	41
Figura 4 Tecnologías para el desarrollo	43
Figura 5 Diagrama MVC	55
Figura 6 Diagrama MVC Perspectiva FastAPI.....	57
Figura 7 Botón	58
Figura 8 Campo de entrada	58
Figura 9 Cuadro de título	58
Figura 10 Barra de navegación	59
Figura 11 Menú.....	59
Figura 12 Etiqueta.....	60
Figura 13 Tabla.....	60
Figura 14 Pantalla Inicio de Sesión	61
Figura 15 Pantalla Crear Cuenta.....	61
Figura 16 Pantalla Inicio.....	62
Figura 17 Pantalla Nuevo Proyecto.....	63
Figura 18 Pantalla Modificar Proyecto.....	63
Figura 19 Pantalla Resumen.....	64
Figura 20 Pantalla Evapotranspiración.....	64
Figura 21 Pantalla Precipitación Efectiva	65
Figura 22 Pantalla Cultivo	66
Figura 23 Pantalla Suelo.....	66
Figura 24 Pantalla Necesidad Riego	67
Figura 25 Pantalla Programación Riego.....	67

Resumen

Investigaciones que se han realizado acerca del cálculo de las necesidades y programación del riego muestran que por lo general es un proceso que se realiza manualmente lo que puede provocar algunos errores en el cálculo y como consecuencia conlleva a una gestión ineficiente del riego, estos errores ocurren debido a que se utiliza una gran cantidad de variables climáticas procesadas, es decir, valores mínimos, máximos, medios y promedios. Este trabajo tiene como objetivo cuantificar, promediar y graficar variables meteorológicas de manera diaria, decenal, mensual, anual y multianual, mediante el desarrollo de una aplicación computacional, para determinar las necesidades y programación del riego de los cultivos a campo abierto y bajo invernadero. Para el desarrollo de este sistema se utilizaron metodologías ágiles, un patrón de diseño modelo vista controlador y una arquitectura por capas que mejoran la eficiencia, flexibilidad y calidad en la creación del producto software. Como resultado se obtuvieron grandes beneficios con el desarrollo de este software, uno de los más importantes es que se automatizó el procesamiento de las variables climáticas, se implementó la graficación de las mismas y el proceso para el cálculo de las necesidades y programación del riego tanto para cultivos a campo abierto como bajo invernadero.

Palabras clave: evapotranspiración, necesidad de riego, programación de riego, variables climáticas, software

Abstract

Research that has been carried out on the calculation of irrigation needs and programming shows that it is generally a process that is carried out manually, which can cause some errors in the calculation and as a consequence leads to inefficient irrigation management, these errors occur due to the fact that a large number of processed climatic variables are used, that is, minimum, maximum, mean and average values. The objective of this work is to quantify, average and graph meteorological variables on a daily, decennial, monthly, annual and multi-annual basis, through the development of a computer application, to determine the irrigation needs and programming of open field and greenhouse crops. For the development of this system, agile methodologies were used, a model view controller design pattern and a layered architecture that improve efficiency, flexibility and quality in the creation of the software product. As a result, great benefits were obtained with the development of this software, one of the most important is that the processing of climatic variables was automated, their graphing and the process for calculating irrigation needs and programming were implemented, both for crops in the open field and under greenhouse.

Keywords: evapotranspiration, need for irrigation, irrigation scheduling, climatic variables, software

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

La cantidad de agua que una planta o cultivo necesita para crecer y desarrollarse adecuadamente se conoce como "necesidad de riego". El riego es crucial para mantener el equilibrio hídrico y garantizar la supervivencia de las plantas, especialmente en lugares donde la lluvia es inconsistente o escasa. El agua es uno de los nutrientes más importantes para las plantas porque es esencial para la fotosíntesis y la absorción de nutrientes del suelo. El riego también puede controlar las enfermedades de las plantas, aumentar la producción y mejorar la calidad de los cultivos. El tipo de planta o cultivo, el clima y las condiciones del suelo determinan la cantidad y la frecuencia de riego necesarias. (Nikolaou et al., 2019)

Según (Calera et al., 2016) para garantizar una gestión eficiente del riego, es fundamental estimar con precisión las necesidades de agua de los cultivos y ajustar los volúmenes de riego en consecuencia. Esto permitirá utilizar el agua de manera óptima tanto en términos de producción como de impacto medioambiental. Los requerimientos hídricos de los cultivos son cambiantes y dependen de la evapotranspiración (ET) que experimentan en su entorno y de la tecnología aplicada en cada contexto productivo (Luis & Petillo Mario, 2011).

Gracias a esto se entiende que las necesidades de riego pueden volverse complicada debido a la gran variedad de especies de plantas cultivadas en invernaderos, diferentes tipos de sustrato y tamaños de contenedores, variaciones en las condiciones del suelo y sistemas de riego. Es por esto por lo que se requiere una estimación precisa de las necesidades hídricas de los cultivos protegidos a corto plazo para poder programar el riego de manera óptima. (Luis & Petillo Mario, 2011)

Varias investigaciones evidencian que la medición precisa de la evapotranspiración de los cultivos (ETc) es fundamental para determinar correctamente las necesidades de riego de

estos. Además, la evapotranspiración también cumple una función crucial en el enfriamiento de las cubiertas vegetales de los invernaderos. Según (Nikolaou et al., 2019) la evaluación de la evapotranspiración de los cultivos (ETc) requiere tener en cuenta las características físicas, morfológicas y fisiológicas de los sistemas suelo-planta, así como las condiciones ambientales.

Para tener la capacidad de determinar la ETc se requiere de dos componentes esenciales los cuales son:

- ETo (evotranspiración del cultivo de referencia)
- Kc (coeficiente de cultivo)

Como se menciona en (Tabango, 2023) la ETo es una variable crucial para llevar a cabo investigaciones y planificaciones relacionadas con la gestión del riego. Se define como la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia en un cultivo de pasto que crece en condiciones óptimas sin limitaciones de agua. Al multiplicar la ETo por el coeficiente de cultivo (Kc), se puede determinar la cantidad de agua que las plantas transpiran por unidad de tiempo. Esta información es esencial para el diseño y la implementación de programas de riego para los cultivos. Cabe mencionar que la ETo se calcula en base a varios factores los cuales son localidades, épocas del año y los parámetros climatológicos siguiendo la formula:

Figura 1

Ecuación Penman-Monteith

Penman-Monteith FAO56

$$ET_o P - M = \frac{0,408\Delta (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34U_2)}$$

Donde:

Rn : radiación neta de la superficie del cultivo ($MJ. m^2. día^{-1}$);

G : flujo del calor en el suelo ($MJ. m^2. día^{-1}$);

T : temperatura media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}C$);

U_2 : velocidad del viento 2 m de altura ($m. s^{-1}$);

$(e_s - e_a)$: déficit de presión de vapor de aire (kPa);

Δ : pendiente de la curva de presión de vapor de saturación ($kPa. ^{\circ}C^{-1}$);

γ : Constante psicrométrica ($kPa. ^{\circ}C^{-1}$).

Nota. Ecuación Penman-Monteith. Obtenido de: (Tabango, 2023)

Una opción emergente en la gestión de los recursos hídricos como menciona (Arteaga Ramírez et al., 2011) es el empleo de computadoras personales y programas de simulación (software) para elaborar el calendario de los planes de riego.

Los softwares especializados en agricultura pueden ayudar a determinar la evapotranspiración de los cultivos de varias maneras. Estos programas utilizan datos de estaciones meteorológicas cercanas y modelos matemáticos para calcular la evapotranspiración del cultivo en cuestión. También pueden medir la cantidad de agua que se evapora y transpira en las áreas de cultivo utilizando imágenes de satélite.

Además, los programas de software pueden ayudar a manejar y analizar los datos de riego y las necesidades hídricas de los cultivos en tiempo real. Estos programas pueden ayudar a programar el riego de manera efectiva y reducir el desperdicio de agua, lo que puede mejorar la producción y la calidad de los cultivos mientras se reducen los costos y el impacto ambiental.

Para determinar la programación del riego en los cultivos por lo general se ejecuta sin ayuda de softwares especializados por lo cual se requiere un mayor esfuerzo a la hora de sistematizar y la difusión de las técnicas disponibles para realizarla de una manera adecuada. Para agilizar los cálculos de ET_c , (Palestina et al., 2017) utiliza el desarrollo de software para

ser más eficientes a la hora de determinar las necesidades de riego, por tanto, este tipo de softwares permitirá calcular las demandas de agua y calendarizar el riego de los y programar el riego en tiempo real.

Problemática

La gestión ineficiente del riego es el problema que se aborda en esta investigación porque generalmente se realiza manualmente, lo cual es un proceso cansado y susceptible a errores. La temperatura, la humedad, la velocidad del viento y la radiación solar se toman en cuenta en una fórmula para calcular cuánto riego necesitan los cultivos. En muchos casos, los agricultores no tienen acceso a información precisa sobre la cantidad de agua necesaria para sus cultivos, lo que puede resultar en un uso ineficiente del agua y una disminución del rendimiento de los cultivos como resultado de un riego insuficiente o excesivo. Por lo tanto, si se hace manualmente, corre el riesgo de cometer errores al medir estos factores y, por lo tanto, al calcular la necesidad de riego.

Justificación

Un software que estime las necesidades de agua de los cultivos en función de los datos climáticos y de suelo disponibles es muy beneficioso ya que permite a los agricultores o profesionales en agricultura introducir datos climáticos locales, como temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar, así como información del suelo, para obtener estimaciones actualizadas de las necesidades de riego de los cultivos en su área específica. De igual manera, al proporcionar una programación de riego recomendada que se basa en las necesidades hídricas de los cultivos, teniendo en cuenta la etapa de crecimiento del cultivo, las características del suelo y la disponibilidad de agua, los agricultores pueden planificar y gestionar el riego de manera eficiente, aplicando la cantidad adecuada de agua en el momento adecuado, lo que puede ayudar a prevenir problemas de estrés hídrico o exceso de riego en los cultivos. El software de riego de cultivos recopila, almacena y analiza grandes cantidades de

datos para ayudar a los usuarios a tomar decisiones informadas sobre el riego y la gestión de cultivos. Además, pueden presentar datos en formatos fáciles de entender, como gráficos y tablas, para que los usuarios puedan comprender mejor los patrones y las tendencias.

Objetivos

Objetivo general

Cuantificar, promediar y graficar variables meteorológicas de manera diaria, decenal, mensual, anual y multianual, mediante el desarrollo de una aplicación computacional, para determinar las necesidades y programación del riego de los cultivos a campo abierto y bajo invernadero.

Objetivo Especifico

- Realizar una revisión preliminar de literatura acerca del funcionamiento del sistema de riego y su relación con las variables meteorológicas incluyendo trabajos previos para establecer las bases del estudio realizado.
- Diseñar un software para promediar, cuantificar y graficar variables meteorológicas.
- Desarrollar el aplicativo que conforman el sistema del software "YAKUTARPUY" (Agua cultivo por su significado) usando el entorno de desarrollo Visual Studio Code.

Alcance

El propósito del producto de software en desarrollo es crear un sistema que determine las necesidades de riego de los invernaderos y cultivos extensivos utilizando las fórmulas mencionadas con anterioridad, específicamente dentro del sistema se tendrá en cuenta el procesamiento de las variables obtenidas de las estaciones meteorológicas, el cálculo de la ET_o , el cálculo de la precipitación, el cálculo de la ET_c , el cálculo de la N_r el cual es el cálculo de la necesidad de riego de los cultivos y finalmente el cálculo de la P_r conocida como la programación de riego, a través de metodologías ágiles y diseño de arquitectura por capas, se

buscara facilitar, agilizar y mejorar el proceso que se desarrolla manualmente y semi – automatizado (Cropwat) utilizando un ambiente de computación enfocados en la web para facilidad de uso y accesibilidad.

El sistema como se menciona tendrá cinco principales funcionalidades que van a estar relacionadas entre sí, es decir, que uno depende de otro para poder hacer los cálculos necesarios de la necesidad del riego. El diseño del sistema debe ser intuitivo para que los usuarios finales no tengan la necesidad de recurrir a tutoriales.

Para el procesamiento de las variables de las estaciones meteorológicas, que son la base de todos los cálculos, se tendrá que recibir un modelo de datos de tipo fichero que almacena toda la información recolectada por dichas estaciones ya sea bajo invernadero o a campo abierto.

Debido a que la navegación web se puede hacer desde cualquier tipo de dispositivo se tendrá en cuenta el modelo responsive para que se adapte a cualquier tipo de dispositivo y pueda ser utilizado de manera normal sin afectar la experiencia de los usuarios.

Hipótesis

Un software de cálculo de las necesidades y programación de riego de cultivos basado en datos meteorológicos, información del suelo y modelos matemáticos avanzados puede mejorar la eficiencia y la precisión en la gestión del riego de cultivos en comparación con los métodos manuales tradicionales.

Capítulo II

Marco teórico

En esta sección del capítulo II se presenta el marco teórico donde se van a definir los principales conceptos, tanto en el enfoque agropecuario como en el desarrollo de software que sustentan este trabajo. Dentro de los conceptos fundamentales se presentan los siguientes:

Cálculo de la evapotranspiración

Para el propósito de calcular la evapotranspiración, Ecuador carece de una expresión matemática específica que incorpore variables climáticas; como resultado, los estudios de los recursos hidrológicos dentro del país suelen utilizar ecuaciones generadas de la investigación externa. En los primeros estudios del país sobre la evapotranspiración, las fórmulas más populares fueron Holdridge, Budyko, Blaney-Criddle, Ivanov, Lowry-Jhonson, Papadakis, Linacre, Makkink, Turc, Hargreaves, Christiansen y Penman, entre otros. (Sangucho, 2018)

La cantidad de agua que se evapora y transpira desde la superficie de la tierra se conoce como evapotranspiración, y es importante para el manejo del agua y la agricultura. Para calcular la evapotranspiración, el método de Penman-Monteith, recomendado por la FAO, es el más utilizado. (Tabango, 2023) sugiere El método de Penman-Monteith estima la evapotranspiración utilizando datos de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar. La instalación de sensores específicos en el campo o las estaciones meteorológicas pueden proporcionar estos datos.

Método Penman – Monteith

El método de Penman-Monteith es un método utilizado ampliamente en la agricultura y la gestión del agua para calcular la evapotranspiración de referencia (ET_o). La FAO recomendó este método porque es preciso y confiable. Según (Santana, 2008)

El método de Penman-Monteith utiliza una fórmula que tiene en cuenta la radiación solar, la velocidad del viento, la temperatura y la humedad. La figura 2 muestra la fórmula.

Figura 2

Ecuación de Penman – Monteith

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (6)$$

donde:

ET_o	evapotranspiración de referencia (mm día ⁻¹)
R_n	radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m ⁻² día ⁻¹)
R_s	radiación extraterrestre (mm día ⁻¹)
G	flujo del calor de suelo (MJ m ⁻² día ⁻¹)
T	temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
u_2	velocidad del viento a 2 m de altura (m s ⁻¹)
e_s	presión de vapor de saturación (kPa)
e_a	presión real de vapor (kPa)
$e_s - e_a$	déficit de presión de vapor (kPa)
Δ	pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C ⁻¹)
γ	constante psicrométrica (kPa °C ⁻¹)

Nota. Ecuación de Penman – Monteith. Obtenido de: (Santana, 2008)

Precipitación efectiva

Después de que parte del agua de la lluvia se haya perdido como resultado de la evaporación superficial, la evacuación y la infiltración profunda del suelo, la precipitación efectiva es la cantidad de agua de lluvia que está disponible para el uso de las plantas. Para la agricultura y la gestión del agua, la precipitación efectiva indica la cantidad de agua disponible para el crecimiento de las plantas y la reposición del acuífero. El cálculo de la precipitación efectiva requiere excluir la escorrentía superficial, la infiltración profunda y la evaporación de las precipitaciones totales. Las características del suelo, la topografía, la cobertura de vegetación y la intensidad de las lluvias determinan la cantidad real de precipitación. En general, los suelos más permeables experimentan una precipitación más efectiva y retienen menos agua, mientras que los suelos menos permeables retienen más agua y experimentan menos precipitación efectiva. (Morábito et al., 2015)

Para medir la precipitación de manera efectiva, se pueden utilizar varios métodos, como la instalación de pluviómetros y lisímetros para medir la precipitación total y la evapotranspiración, así como piezómetros para medir la cantidad de agua disponible en el

suelo. Se puede calcular la cantidad de agua necesaria para el crecimiento de las plantas y la reposición del acuífero utilizando esta información.

Cálculo de la necesidad del riego

El cálculo de la necesidad de riego es un método utilizado en la agricultura y la jardinería para determinar cuánto agua se debe aplicar a un cultivo o área verde para satisfacer las necesidades hídricas de las plantas. El objetivo es evitar tanto la falta como el exceso de riego para mantener el crecimiento y desarrollo saludables de las plantas y proporcionar la cantidad adecuada de agua. Al calcular la cantidad de riego necesaria para un cultivo, es importante tener en cuenta las necesidades mínimas de agua que no afectan la producción, que están estrechamente relacionadas con la evapotranspiración del cultivo. Es necesario encontrar un equilibrio para garantizar que se suministre la cantidad adecuada de agua sin afectar la producción. (Pereira et al., 2010)

La programación del riego

La programación de riego es el proceso de establecer un plan o calendario para aplicar riego de manera adecuada y eficiente en un área específica, como un cultivo, un jardín o un paisaje, con el fin de satisfacer las necesidades hídricas de las plantas y optimizar el uso del agua. La programación del riego implica determinar cuánta agua se debe aplicar, cuándo y cómo, teniendo en cuenta el clima, el suelo, las necesidades hídricas de las plantas y la disponibilidad de agua. La programación del riego depende de la comprensión de los diferentes requerimientos hídricos de las plantas, que varían según la especie, la etapa de crecimiento, las condiciones climáticas y las características del suelo. También debe tener en cuenta factores climáticos como la evapotranspiración, que es la cantidad de agua que se pierde por la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas, y la precipitación. (Pereira et al., 2010)

Variables climáticas

Las variables climáticas son diferentes características o elementos del clima que se miden y registran para describir y comprender el estado de la atmósfera en una determinada región o lugar en un momento dado. Estas variables se utilizan en el estudio y análisis del clima, el estado medio de la atmósfera en una determinada región durante un largo periodo de tiempo. (Brown et al., 2015)

Las principales variables climáticas incluyen:

- Temperatura
- Precipitación
- Humedad relativa
- Velocidad del viento
- Radiación solar
- Presión atmosférica:

Diseño de software

El diseño de software implica la toma de decisiones sobre cómo se organizarán, estructurarán y relacionarán los diferentes componentes del software para cumplir con los requisitos funcionales y no funcionales del sistema. Esto implica definir la arquitectura del software, seleccionar los patrones de diseño apropiados, establecer interfaces de programación de aplicaciones (APIs), definir algoritmos y estructuras de datos, y realizar la planificación y diseño de pruebas, entre otros aspectos. (Arias & Durango, 2016)

Arquitectura de software

La arquitectura de software es el diseño y la organización de alto nivel de un sistema de software que define cómo se interconectan y organizan los componentes de software para

cumplir con los objetivos y requisitos del sistema, y proporciona una base sólida para el desarrollo de software. (Arias & Durango, 2016)

Front-End

El Front-end es la interfaz con la que un usuario interactúa directamente en un programa o dispositivo. Se refiere a todas las tecnologías de diseño y desarrollo web que se ejecutan en el navegador y son responsables de la interacción y la experiencia del usuario. (Chavapal, 2018)

Back End

El backend es la capa del software o dispositivo que maneja el acceso a datos, pero no es accesible directamente por los usuarios. También contiene la lógica de la aplicación que maneja esos datos. El backend también interactúa con los servidores, que son aplicaciones especializadas que controlan cómo los navegadores manejan las solicitudes. (Chavapal, 2018)

Sistemas de información

Un sistema de información es un conjunto de datos y elementos que interactúan entre sí con un propósito específico, que generalmente busca satisfacer una necesidad determinada. Los sistemas de información deben ser eficientes y de fácil utilización, ya que manejan y almacenan grandes cantidades de datos. Estos datos son ingresados, ya sea de forma automática o manual, en un medio físico o digital, y se utilizan para generar información que es útil para llevar a cabo una actividad o alcanzar un objetivo específico. (Equipo editorial Etecé, 2018)

Desarrollo de sistemas de información

La creación e iniciación de un sistema de información incluye varias actividades que componen el desarrollo de un sistema de información. El propósito de la metodología de desarrollo de sistemas de información es definir las actividades necesarias para la

implementación del proyecto de sistema de información, unificar los estándares organizacionales para el desarrollo de sistemas de información, así como proporcionar puntos de control y revisión en el proceso de desarrollo. (Castellanos, 2011)

Existen una variedad de metodologías con las cuales se pueden desarrollar sistemas de información las cuales son:

- ARDI.
- Kendall y Kendall
- IL. Long
- J. Llorens I
- J. Llorens II
- E. Yordon, etc.

El proceso de desarrollo de sistemas de información puede seguir diferentes metodologías, como las antes mencionadas entre otros. Cada una de estas metodologías tiene sus propias características y se adapta a diferentes situaciones y necesidades de la organización. El desarrollo de sistemas de información puede ser realizado por equipos de programadores, analistas y otros profesionales de TI. También pueden ser contratados proveedores externos o consultores especializados para llevar a cabo el proceso de desarrollo. (Navarro et al., 2017)

Metodologías ágiles

El desarrollo de software es un proceso complejo y desafiante, lo que se evidencia por la gran cantidad de metodologías propuestas que abordan diferentes aspectos del proceso de desarrollo. Por un lado, existen metodologías tradicionales que se enfocan en el control del proceso, definiendo rigurosamente las actividades implicadas, los artefactos necesarios y las herramientas y notaciones a utilizar. Por otro lado, se tiene los métodos ágiles son adaptativos

en lugar de predictivos, y están orientados a las personas en lugar de a los procesos, y buscan reducir el potencial de error al subestimar el costo, el tiempo y la funcionalidad de los proyectos de desarrollo de software. Los métodos ágiles son flexibles y pueden modificarse para adaptarse a las realidades de cada equipo y proyecto. La comunicación con el cliente es constante, tanto que su representación es necesaria en el proceso de desarrollo. (Navarro Cadavid et al., 2013)

Los proyectos son altamente colaborativos y capaces de adaptarse mejor al cambio.

Entre los más conocidos son:

- Scrum
- Kanban
- XP

Control de versiones de código

El control de versiones se refiere a los métodos y herramientas que se pueden usar para controlar cualquier cosa relacionada con los cambios en los archivos a lo largo del tiempo. Algunos archivos de código o documentos de texto están completos la primera vez que se escriben.

Hay dos opciones para los cambios de documentos: guardar el historial de cambios o dejarlo evolucionar sin memoria. El control de versiones es el método predeterminado para mantener esta memoria y, al mismo tiempo, hacerla útil para el desarrollo futuro (Borrell, 2006). Dentro del desarrollo de software existen varias herramientas para poder llevar las versiones de código una de estas es Git.

Git es una avanzada herramienta de control de versiones distribuido que posibilita rastrear el avance de un proyecto a lo largo del tiempo. Conforme el proyecto evoluciona y se transforma, Git lo va registrando para que puedas observar qué cambios se han hecho, quién

los ha realizado y por qué razón, e incluso volver a versiones anteriores. Además, Git puede rastrear todos los archivos en el repositorio. Para entender cómo Git registra los cambios y cómo se comparten con otros colaboradores, es crucial comprender la estructura de Git.

(Astigarraga & Cruz-Alonso, 2022)

Revisión sistemática de literatura

Dentro de esta sección se presentan varios trabajos de investigación y tesis relacionados con el desarrollo de un software que calcule variables meteorológicas para determinar las necesidades y programación de riego de cultivos. Una revisión sistemática de la literatura es un método de investigación riguroso y sistemático que se utiliza para identificar, evaluar y sintetizar toda la evidencia disponible sobre una pregunta de investigación específica. (Beltrán, 2005)

Por lo que la pregunta de investigación que se planteó fue la siguiente:

¿Existen casos de éxito en donde gracias a un sistema de cálculo de variables meteorológicas se puede mejorar la eficiencia y la precisión en la gestión del riego de cultivos?

Para dar respuesta a la pregunta de investigación mencionada anteriormente, se realizó una revisión sistemática de la literatura que está basada en el trabajo propuesto por (Kitchenham et al., 2010) en donde propone que la revisión de la literatura va a contener las siguientes secciones:

Planteamiento del objetivo de búsqueda

Calcular a necesidad de riego dentro de una hacienda mediante el uso de la tecnología en este caso el desarrollo de un software estadístico de variables meteorológicas con el uso de diferentes métodos que permitan determinar las necesidades y programación de riego de los cultivos a campo abierto y bajo invernadero con el fin de identificar factores, herramientas, métodos que sean claves para tener éxito en la implementación de esta solución.

Este objetivo de búsqueda permite centrarse en calcular la necesidad de riego de un cultivo mediante un aplicativo software, así como en la identificación de los factores claves que influyen para realizar la tarea. La utilización de tecnología específica para poder realizar estos cálculos también se contempla en este objetivo para limitar la búsqueda de los estudios de control y primarios que sean más apropiados para responder la pregunta de investigación planteada. Para mejorar la búsqueda de los estudios y poder estructura que sea alcanzable se definieron los siguientes criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión son una herramienta fundamental en la investigación, ya que permiten establecer una serie de requisitos que deben cumplir las muestras o casos que se van a estudiar. Estos criterios son definidos por el equipo de investigación y suelen ser utilizados para seleccionar a los participantes que formarán parte del estudio, se listan los siguientes criterios de inclusión (CI):

- **CI1:** Estudios que mencionen softwares especializados en el cálculo de la necesidad de riego.
- **CI2:** Estudios que se encuentren dentro de los últimos 6 años.
- **CI3:** Estudios que indiquen métodos de programación utilizando arquitecturas de software implementadas en **lenguaje de programación**.
- **CI4:** Estudios que describan el diseño y desarrollo de plataformas web para el cálculo de la necesidad de riego.
- **CI5:** Estudios que evidencien los beneficios de automatizar el cálculo de la necesidad de riego.
- **CI6:** Artículos, publicados, tesis de grado o postgrados.
- **CI7:** Estudios en español o inglés.

Los criterios de exclusión son utilizados para identificar características que no tienen relevancia para el tema de investigación y que no son elegibles para el objeto de estudio. Su función es limitar la participación de aquellos individuos o casos que no cumplen con ciertas características o condiciones que se consideran necesarias para el estudio. Para el presente estudio se listan los siguientes criterios de exclusión (CE).

- **CE1:** Estudios publicados previos a seis años de antigüedad.
- **CE2:** Estudios que no se enfoquen en software y solo hablen de la necesidad de riego.

Es crucial utilizar las herramientas como las palabras clave y los repositorios de búsqueda, para realizar una selección adecuada. Al utilizar palabras clave, se pueden crear cadenas de búsqueda, que son combinaciones de palabras que se unen mediante operadores específicos siendo los principales AND y OR para incluir o excluir términos. Estas cadenas se utilizan en los repositorios de búsqueda para obtener resultados, que luego se evalúan mediante criterios específicos, como títulos relacionados con el tema, cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión, y relevancia de la información en relación con el objeto de estudio. Es importante tener en cuenta estos criterios al analizar los resultados para asegurar que se seleccionen los estudios más apropiados para el propósito de la investigación.

Conformación del grupo de control

Estudios que permitan determinar las cadenas de búsqueda relacionadas al objetivo planteado. El uso del grupo de control es esencial para identificar las palabras clave comunes entre los estudios seleccionados, lo cual sirve como base para la creación de la cadena de búsqueda. Al aplicar criterios de inclusión y exclusión en la búsqueda, se logra obtener estudios más enfocados en el tema que se está investigando. De esta forma, se asegura que la selección de los estudios sea más precisa y relevante para el objetivo de la investigación.

Tabla 1*Conformación del grupo de control*

Código	Título	Términos relevantes
CS1	Software Evaporium para el cálculo de la evapotranspiración potencial	Evapotranspiración, software, Python, Penman-Monteith, Evapotranspiración de referencia, Variables, Procesamiento de datos Eficiencia de Riego, Agua, Variabilidad Climática,
CS2	Use of the Irrimodel Software for drip irrigation programming In Maize Cultivation (Zea mays L.):	Cultivo, Modelos de Programación Integral, Software, Internet, Tecnología, Plataforma Computacional,
CS3	Software educativo para la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET _o) basado en el método de Penman-Monteith	Evapotranspiración, Software, Agroclimatología, Ecuación de Penman-Monteith, Fórmulas, Datos de entrada, Climatología Agroambiental
CS4	Software para la emisión de recomendaciones de riego y drenaje en caña de azúcar y otros cultivos	Requerimientos de Riego, Cultivos, Necesidades de Agua del Cultivo, Factores

Código	Titulo	Términos relevantes
CS5	CROPWAT Estimación de la reducción porcentual en rendimientos de cultivos de maíz y frijol	climáticos Software, Tecnologías de la información y comunicación, Sistema Software, Arquitectura cliente servidor, Importación de datos Evapotranspiración, Datos Climatológicos, Cultivos, Requerimientos de riego, Programación de riego, Software, Computadoras, Programas de simulación

Construcción de la cadena de búsqueda

La secuencia de búsqueda utiliza términos relevantes del grupo de control y se realiza en las bases de datos digitales IEEE Xplore y ACM para encontrar artículos relacionados con la problemática del proyecto.

Para que la construcción de la cadena de búsqueda sea adecuada, es importante que cumpla con ciertas características, como recuperar una cantidad manejable y apropiada de estudios para su análisis, y que estos documentos estén relacionados con el tema y cumplan con los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos. Para lograr esto, se llevó a cabo la secuencia de búsqueda que implicó un ciclo de prueba - corrección. Este proceso, se identificaron los términos importantes y se probaron diferentes combinaciones de términos en cada uno de los contextos establecidos, hasta que se alcanzó la definición de la secuencia de

búsqueda ideal que permitió identificar los documentos científicos más relevantes para el estudio.

La Tabla 2 muestra las diversas secuencias de búsqueda que fueron aplicadas en las bases de datos digitales como parte del proceso hasta llegar a la cadena de búsqueda ideal aplicando ya los filtros de los criterios de inclusión y exclusión.

Tabla 2

Cadenas de búsqueda

Cadena de búsqueda	Resultados IEEE	Resultados
	Xplore	ACM
("software") AND ("evapotranspiration"))	60	1167
("software" OR "web platform") AND ("evapotranspiration"))	25	566
("software" OR "web platform") AND ("evapotranspiration") AND ("irrigation requirement") AND ("penman-monteith"))	12	123
Aplicando los criterios de inclusión y exclusión ya mencionados se da como resultado lo siguiente:		
("software" OR "web platform") AND ("evapotranspiration") AND ("irrigation requirement") AND ("penman-monteith"))	3	3

Selección de estudios primarios

Al final, se seleccionó la mejor cadena de búsqueda que resultó en 7 estudios que cumplieron con los objetivos de la investigación. Estos estudios fueron sometidos a un proceso

de selección y validación de los cuales se escogieron como estudios primarios (EP) para responder las preguntas planteadas en la investigación.

Dentro de este grupo se agrupan todos los resultados obtenidos en base a los criterios de inclusión y exclusión, de forma que, se listan aquellos estudios que se relacionan completamente con la investigación.

Tabla 3

Estudios obtenidos en base a los criterios de inclusión y exclusión

Código	Título	Palabras clave
EP1	HidroMORE 2: An optimized and parallel version of HidroMORE	Agriculture, Soil, Multicore processing, Programming, Instruction sets
EP2	Research and design of precision irrigation system based on artificial neural network	precision irrigation, artificial neural network, reference evapotranspiration, WSN
EP3	ETWatch cloud: APIs for regional actual evapotranspiration data generation	Actual evapotranspiration, Remote sensing, Web API, Cloud computing
EP4	Evaluation of artificial intelligence models for actual crop evapotranspiration modeling	Maize, Evapotranspiration, Eddy covariance, Support vector machine, Artificial neural network

Código	Título	Palabras clave
EP5	in mulched and non-mulched maize croplands Multisite evaluation of an improved SWAT irrigation scheduling algorithm for corn (<i>Zea mays</i> L.) production in the U.S. Southern Great Plains	FAO-56, Irrigation algorithm, Management allowed depletion, Corn, Semi-arid region, Groundwater
EP6	Information and communication technologies for the improvement of the irrigation scheduling	ICT, Information and communication technologies, Wireless sensors network, DSS, Decision support system, Optimization, Remote control

Resumen de los estudios primarios

EP1: HidroMORE 2: An optimized and parallel version of HidroMORE

Este estudio se centra en el desarrollo de un sistema para extender la evaluación de la evotranspiración a escalas regionales haciendo el uso de la ecuación FAO-56 y la asimilación del coeficiente de los cultivos. El trabajo aquí presentado tiene en cuenta dos aspectos principales para mejorar el rendimiento: mejoras en las operaciones de entrada/salida, es decir, una mejor gestión de las operaciones del disco duro; y por otro lado el uso de Parallel

Computing mediante la explotación de las arquitecturas informáticas actuales, en particular, las arquitecturas multinúcleo.

HidroMORE se caracteriza por mejorar la gestión del agua en grandes zonas de riego, aplicando con éxito a escala de acuífero y así proporcionando resultados útiles para los agricultores y los gestores del agua. Moreno et al., (2017)

EP2: Research and design of precision irrigation system based on artificial neural network

Este artículo menciona como la utilización de software algoritmos para la determinación de la evapotranspiración (ET) del cultivo y predecir la programación y la necesidad de riego utilizando modelos BP con dos capas ocultas, utilizando aprendizaje adaptativo y las diferentes variables meteorológicas el cual da como resultado datos de salida con precisión aceptable, mejorando esto con la ayuda de sensores inalámbricos WSN para la recopilación de datos meteorológicos más precisos y mejorar la precisión de los datos de salida.

Para el cálculo de la ET de los cultivos se hizo el uso de las ecuaciones que ofrece la FAO – 56 como la de Penmn-Monteith considerado como un estándar mundial, el sistema desarrollado se basa en varios módulos los cuales son visualización de datos, análisis de datos y el cálculo de la necesidad de riego de los cultivos.

Los resultados mostrados en este artículo da a entender que la ayuda del software para la determinación del riego mejora la eficiencia de utilización de los recursos hídricos. (Peng et al., 2018)

EP3: ETWatch cloud: APIs for regional actual evapotranspiration data generation

Este estudio habla sobre un Sistema web que ayuda a los usuarios configurar rápida y fácilmente un proyecto para la determinación de ET para cualquier tipo de cultivo permitiendo a

los usuarios concentrarse en la elección de combinaciones de los modelos de datos y analizar los resultados para la gestión de los recursos hídricos, la generación de datos ET para HID se utilizó como caso de estudio del uso de ETWatch Cloud. Se demostraron las estimaciones de ET para HID y sugieren que el servicio también podría usarse en otras regiones o para otros flujos de trabajo de datos a modelos.

Las entradas de ETWatch Cloud incluyen datos de satélites polares (como los datos del espectro radiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) TERRA/AQUA), datos de satélites meteorológicos geoestacionarios (como productos de datos de nubes satelitales FY2), satélites de recursos (como Landsat 8, Sentinel 2 y GF1/2), datos de la sonda infrarroja atmosférica (AIRS), datos RS de microondas de RadarSat, Sentinel 1 y GF3, y datos meteorológicos. (Wu et al., 2021)

EP4: Evaluation of artificial intelligence models for actual crop evapotranspiration modeling in mulched and non-mulched maize croplands

Este estudio se centra en evaluar el rendimiento de varios modelos de inteligencia artificial (IA) en la modelización de la evapotranspiración real (ETR) de los cultivos de maíz en campos con y sin mantillo. Los investigadores utilizaron datos de ETR medidos en el campo y datos meteorológicos para entrenar y validar los modelos de IA. Los modelos de IA evaluados incluyen redes neuronales artificiales (RNA), máquinas de vectores de soporte (SVM), modelos de regresión y árboles de decisión.

Los resultados mostraron que los modelos de RNA y SVM tenían un mejor rendimiento en la modelización de la ETR en campos de maíz con y sin mantillo. Además, los modelos de RNA y SVM entrenados en datos de campos con mantillo también se desempeñaron bien en la modelización de la ETR en campos sin mantillo. (Tang et al., 2018)

EP5: Multisite evaluation of an improved SWAT irrigation scheduling algorithm for corn (*Zea mays* L.) production in the U.S. Southern Great Plains

Esta investigación se centra en evaluar el rendimiento de un algoritmo mejorado de programación de riego de SWAT (Soil and Water Assessment Tool) para la producción de maíz en las Grandes Llanuras del Sur de los Estados Unidos. Los investigadores utilizaron datos de campo de varios sitios para calibrar y validar el algoritmo de programación de riego mejorado de SWAT. El algoritmo mejorado incluye la capacidad de ajustar la frecuencia y la cantidad de riego en función de las condiciones climáticas y del suelo.

Se obtuvieron los registros diarios de las condiciones climáticas necesarias para el cálculo del método Penman-Monteith en SWAT, a partir de estaciones meteorológicas de investigación. Los datos diarios recolectados comprendieron información meteorológica como la cantidad de lluvia, la temperatura máxima y mínima del aire, la cantidad de radiación solar, la velocidad del viento y la humedad relativa. (Chen et al., 2019)

EP6: Information and communication technologies for the improvement of the irrigation scheduling

La investigación aborda el tema de la mejora de la programación de riego mediante el uso de tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Se enfoca en el desarrollo de un sistema de programación de riego automatizado basado en TIC que permite una programación más eficiente y precisa, lo que a su vez puede mejorar la productividad y reducir el consumo de agua en los cultivos. El sistema utiliza datos meteorológicos y de humedad del suelo, y combina modelos matemáticos para calcular las necesidades de agua de los cultivos y determinar el momento óptimo para el riego.

La propuesta del sistema implica el uso de una red de sensores inalámbricos distribuidos (WSAN) que interactúan con un sistema de soporte de decisiones (DSS) por medio

de redes amplias externas. La información ambiental, incluyendo la del clima, cultivos y suelo, se recolecta y almacena en una base de datos central, la cual se puede acceder de forma remota por medio de terminales tales como aplicaciones web, móviles y de software conectadas a Internet. (Fourati et al., 2019)

Caracterización de los estudios primarios

Los seis estudios primarios presentados abordan el uso de programas software para el cálculo de la evapotranspiración y las necesidades de riego de diferentes cultivos. Todos ellos proponen soluciones para recopilar y procesar variables meteorológicas obtenidas por estaciones meteorológicas o sensores especializados en la obtención de datos climáticos, con el objetivo de mejorar la producción de los cultivos.

En cuanto a la metodología, todos los estudios se enfocan en la implementación de sistemas y dispositivos que permiten la captura y transmisión de datos climáticos mediante el uso de las estaciones meteorológicas y los sensores. Además, todos los sistemas utilizan plataformas en la nube o plataformas locales para el almacenamiento y análisis de los datos recopilados, lo que permite acceder a ellos de manera más rápida y precisa.

En cuanto a los sistemas especializados, dos de los estudios se centran en el monitoreo ambiental de invernaderos agrícolas a gran escala. Cada uno de ellos utiliza diferentes tipos de sensores para capturar los datos relevantes para su aplicación específica teniendo ellos acceso a equipos más globales como lo son los satélites.

En términos de resultados, todos los estudios reportan una mejora en la eficiencia del riego, la reducción del desperdicio de agua y con esto el aumento en la producción de los diferentes cultivos.

Capítulo III

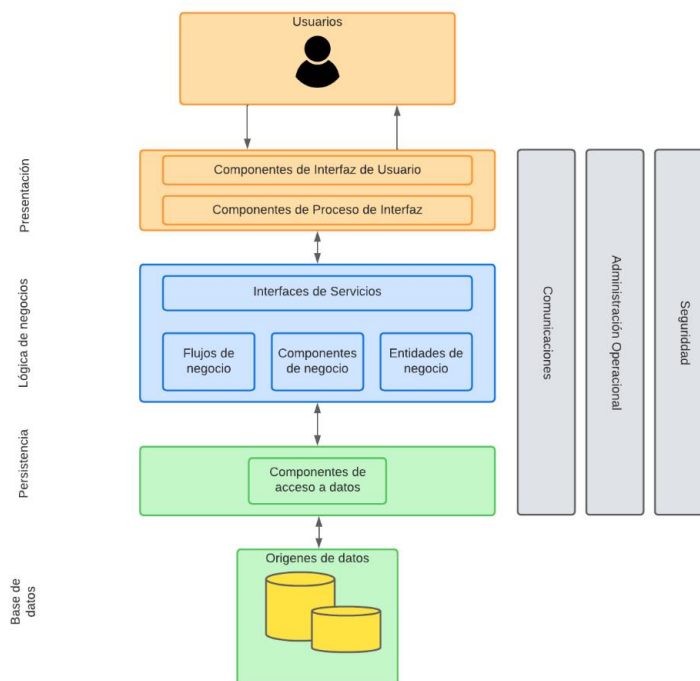
Arquitectura de la solución

La arquitectura empleada en el desarrollo de este proyecto es la arquitectura n capas. Un software para procesar datos y gestionar proyectos, a diferencia de otros productos software, requiere velocidad en cuanto al almacenamiento y manipulación de los datos, por esto, una arquitectura n capas resulta una opción más viable.

En primer lugar, se realizó una investigación referente a softwares que calculen las necesidades de riego de cultivos, para comprender su funcionamiento y como pueden ser desarrollados. Además, se investigó acerca del software CROPWAT 8.0, donde el proceso para calcular las necesidades de riego de los cultivos es similar al que se va a implementar, pero en este caso se realizará como una aplicación web con un diseño responsive que se adapte a cualquier dispositivo y que pueda ser utilizado de manera libre por la comunidad del IASA.

Figura 3

Diagrama de arquitectura



Capa de presentación

Esta capa es responsable de proporcionar la interfaz de usuario para que los usuarios interactúen con el software. Puede incluir elementos como pantallas, formularios, gráficos y controles de usuario. Esta capa se comunica con la capa de lógica de negocios para recibir datos y enviar comandos.

Capa de negocio

Esta capa contiene la lógica del negocio y las reglas específicas del software. Aquí se realizan cálculos, procesamiento de datos y se implementan las funcionalidades principales del software. La capa de lógica de negocios se comunica con la capa de acceso a datos para obtener o almacenar información necesaria.

Capa de persistencia

Esta capa se encarga de interactuar con la base de datos u otras fuentes de datos donde se almacenan los datos relevantes para CROPWAT 8.0. Se utiliza para realizar

consultas, actualizaciones y operaciones de persistencia. La capa persistencia se comunica con la capa de lógica de negocios para proporcionar los datos necesarios y almacenar los resultados de los cálculos.

Base de datos

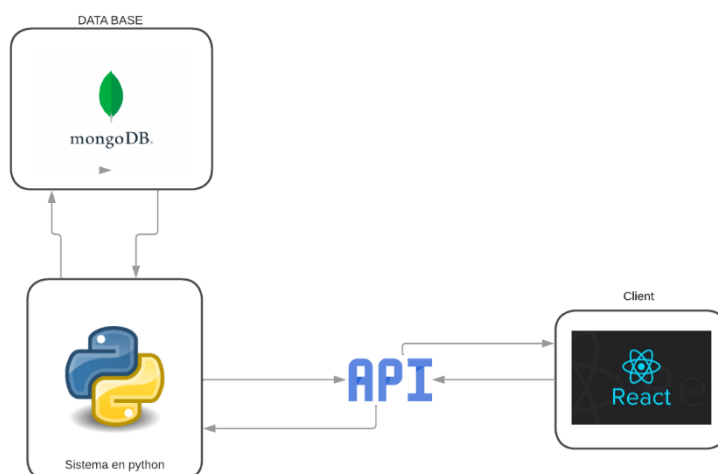
Esta capa se encarga de gestionar y almacenar los datos del software. Su objetivo principal es proporcionar un mecanismo para almacenar, recuperar y manipular los datos de manera eficiente y segura.

Selección de herramientas

Las herramientas que se empleen dependen completamente de los participantes en el desarrollo lo cual se mostrara a continuación.

Figura 4

Tecnologías para el desarrollo



Como se puede observar en el diagrama tenemos los tres elementos principales un cliente desarrollado en react que se conecta con el servidor que en este caso está realizado en Python con el framework fast api, el cual a su vez tendrá la comunicación a la base de datos no relacional en este caso mongoDB.

Mongo DB – Atlas

MongoDB Atlas es una plataforma de almacenamiento de datos en línea proporcionada por MongoDB, una base de datos NoSQL muy conocida. Proporciona una forma sencilla de crear y gestionar clústeres de MongoDB en la nube, sin tener que preocuparse por la configuración de servidores, la escalabilidad o el mantenimiento de la infraestructura subyacente.

Algunas características y beneficios de MongoDB Atlas son:

- **Escalabilidad:** Atlas permite escalar vertical y horizontalmente tus clústeres de MongoDB según las necesidades de tu aplicación. Puedes aumentar o disminuir la capacidad de almacenamiento y el rendimiento de forma flexible.
- **Alta disponibilidad:** Los clústeres en MongoDB Atlas se distribuyen en múltiples regiones y réplicas para garantizar la alta disponibilidad de tus datos. Si ocurre alguna falla en un nodo, Atlas automáticamente enruta el tráfico a nodos sanos para minimizar el tiempo de inactividad.
- **Seguridad:** MongoDB Atlas proporciona opciones de seguridad avanzadas para proteger tus datos. Esto incluye cifrado en reposo y en tránsito, así como autenticación y autorización basadas en roles.

MongoDB Atlas es una solución en la nube que simplifica la administración y el escalado de bases de datos MongoDB. Ofrece características avanzadas de seguridad, alta disponibilidad y herramientas de monitorización para garantizar el rendimiento y la confiabilidad de tus aplicaciones. (IBM, 2020)

Python – Fast API

FastAPI es un moderno framework web de Python para el desarrollo rápido de APIs (Application Programming Interfaces) de alto rendimiento, es rápido, seguro y fácil de usar. A continuación, te presento algunas características y beneficios clave de FastAPI:

- Alta velocidad: FastAPI está construido sobre el poderoso y rápido servidor web Starlette y utiliza el sistema de tipos de Python para lograr un rendimiento excepcionalmente rápido. Además, emplea técnicas de generación de código automático para minimizar la sobrecarga en tiempo de ejecución.
- API interactivo y documentación automática: FastAPI genera automáticamente una documentación interactiva y basada en OpenAPI (anteriormente conocido como Swagger). Esto facilita el proceso de prueba y desarrollo de API, ya que proporciona una interfaz interactiva para probar cada endpoint y muestra detalles sobre los parámetros, tipos de datos, códigos de respuesta, etc.
- API interactivo y documentación automática: FastAPI genera automáticamente una documentación interactiva y basada en OpenAPI (anteriormente conocido como Swagger). Esto facilita el proceso de prueba y desarrollo de API, ya que proporciona una interfaz interactiva para probar cada endpoint y muestra detalles sobre los parámetros, tipos de datos, códigos de respuesta, etc.

FastAPI es una opción sólida para el desarrollo de APIs en Python, ya que combina un alto rendimiento, una sintaxis clara y concisa, tipado estático y una generación de documentación automática. Es adecuado tanto para pequeñas aplicaciones como para proyectos a gran escala y es ampliamente utilizado en la comunidad de desarrollo web de Python. (Tutorialspoint, 2022)

React.

React es una librería de JavaScript creada por Facebook, empleada para elaborar interfaces de usuario interactivas y reutilizables. Su enfoque radica en la generación de componentes reutilizables que representan diversas secciones de la interfaz, actualizándose de manera eficiente ante cambios en el estado de la aplicación. (Gackenheimer, 2015)

A continuación, se presentan algunas características y conceptos clave de React:

- Componentes: La base de React gira en torno a la noción de componentes. Estos componentes son unidades autónomas y reutilizables que envuelven tanto la lógica como la interfaz de usuario de segmentos particulares de la aplicación. Estos pueden variar desde elementos simples, como botones o entradas de lista, hasta unidades más elaboradas, como formularios o elementos de navegación. (Gackenheimer, 2015)
- Virtual DOM: React utiliza un Virtual DOM (Document Object Model) para mejorar el rendimiento y eficiencia. Un DOM virtual es una representación en memoria de la estructura de la interfaz de usuario de una aplicación. Cuando cambia el estado de la aplicación, React compara el DOM virtual anterior con el nuevo DOM virtual y luego actualiza solo los elementos modificados. Este enfoque evita actualizaciones innecesarias y mejora el rendimiento general del sistema. (Gackenheimer, 2015)
- JSX: JSX es una extensión de sintaxis que le permite escribir código JavaScript que parece HTML. React usa JSX para definir la estructura de los componentes y cómo se representan en el navegador. Esta combinación de JavaScript y HTML facilita la creación de componentes y mejora la legibilidad del código. (Gackenheimer, 2015)
- La unidireccionalidad de los datos: en React implica que la comunicación entre componentes sigue un flujo específico y unidireccional. Esto significa que los datos fluyen desde el componente padre hacia los componentes hijos, pero no al revés. En otras palabras, un componente padre puede pasar datos o propiedades a sus componentes hijos, pero los hijos no pueden modificar directamente los datos del padre. Esto mejora la predictibilidad y facilita el mantenimiento del estado de la aplicación. (Gackenheimer, 2015)

- Reconciliación: React se encarga de la reconciliación, es decir, la actualización eficiente del DOM, para asegurarse de que la interfaz de usuario se mantenga sincronizada con el estado de la aplicación. React actualiza solo los componentes que han cambiado y realiza cambios mínimos en el DOM real para mejorar el rendimiento.
- La comunidad y el ecosistema: React son robustos, con una amplia base de desarrolladores y una extensa variedad de bibliotecas y herramientas disponibles para brindar apoyo. También se integra bien con otras bibliotecas y frameworks, como Redux para la gestión del estado de la aplicación. (Gackenheimer, 2015)

React se utiliza ampliamente para construir aplicaciones web de una sola página (Single-Page Applications), aplicaciones móviles y aplicaciones de escritorio. Su enfoque modular, rendimiento optimizado y capacidad de reutilización de componentes lo convierten en una opción popular para el desarrollo de interfaces de usuario modernas y dinámicas. (Gackenheimer, 2015)

Análisis y diseño

Requisitos

Para la definición de los requisitos, se utilizó la norma IEEE – 830 Con su respectivo documento de requerimientos SRS el cual se mostrará en manera de resumen.

Requisitos funcionales

RQF-001	Inicio de sesión
Descripción	El sistema deberá permitir ingresar al sistema mediante las credenciales correspondientes.
Objetivo	-
Importancia	Alta

RQF-001	Inicio de sesión
Estado	Aprobado
Estabilidad	Alta
Comentarios	
RQF-002	Crear proyecto
Descripción	El sistema deberá permitir crear un nuevo proyecto con un nombre identificador
Objetivo	Módulo Nr
Importancia	Alta
Estado	Aprobado
Estabilidad	Alta
Comentarios	
RQF-003	Importar datos climáticos
Descripción	El sistema deberá permitir importar los datos climáticos de las diferentes estaciones meteorológicas o datos manuales
Objetivo	Módulo importación de datos
Importancia	Alta
Estado	Aprobado
Estabilidad	Alta
Comentarios	

RQF-004	Procesar datos climáticos
Descripción	El sistema deberá procesar los datos climáticos de las diferentes estaciones meteorológicas mediante las ecuaciones establecidas
Objetivo	Módulo importación de datos
Importancia	Alta
Estado	Aprobado
Estabilidad	Alta
Comentarios	
RQF-005	Visualizar datos climáticos
Descripción	El sistema deberá permitir visualizar los datos para su posterior utilización en el cálculo de la necesidad de riego.
Objetivo	Módulo importación de datos
Importancia	Alta
Estado	Aprobado
Estabilidad	Alta
Comentarios	
RQF-006	Modificar datos climáticos
Descripción	El sistema deberá permitir la modificación de los datos procesados.
Objetivo	Módulo de clima y precipitación.
Importancia	Alta
Estado	Aprobado
Estabilidad	Alta

RQF-006	Modificar datos climáticos
Comentarios	
RQF-007	Calcular la evapotranspiración de referencia (ET_o)
Descripción	El sistema deberá ser capaz de calcular la evapotranspiración de referencia (ET _o) y presentar los datos procesados correspondientes
Objetivo	Módulo de clima y precipitación.
Importancia	Alta
Estado	Aprobado
Estabilidad	Alta
Comentarios	
RQF-008	Calcular la precipitación
Descripción	El sistema deberá ser capaz de calcular la precipitación y mostrar los datos procesados correspondientes
Objetivo	Módulo de clima y precipitación.
Importancia	Alta
Estado	Aprobado
Estabilidad	Alta
Comentarios	
RQF-009	Calcular la evapotranspiración del cultivo (ET_c)
Descripción	El sistema deberá calcular la evapotranspiración del cultivo (ET _c) y presentar los datos procesados correspondientes

RQF-009	Calcular la evapotranspiración del cultivo (ETc)
Objetivo	Módulo ETc
Importancia	Alta
Estado	Aprobado
Estabilidad	Alta
Comentarios	
RQF-010	Cálculo del Nr
Descripción	El sistema deberá realizar el cálculo del Nr y mostrar los datos procesados correspondientes
Objetivo	Módulo Nr
Importancia	Alta
Estado	Aprobado
Estabilidad	Alta
Comentarios	
RQF-011	Guardar proyecto
Descripción	El sistema deberá permitir guardar el proyecto
Objetivo	Módulo Nr
Importancia	Alta
Estado	Aprobado
Estabilidad	Alta
Comentarios	

RQF-012	Crear cuenta
Descripción	El sistema deberá permitir crear un nuevo usuario
Objetivo	Módulo Nr
Importancia	Alta
Estado	Aprobado
Estabilidad	Alta
Comentarios	

RQF-013	Cálculo del Pr
Descripción	El sistema deberá realizar el cálculo del Pr y mostrar los datos procesados correspondientes
Objetivo	Módulo Pr
Importancia	Alta
Estado	Aprobado
Estabilidad	Alta
Comentarios	

Requisitos no funcionales

RNF-001	Tiempo de Respuesta
Descripción	El sistema debe presentar un tiempo de respuesta menor a 3 segundos, debiendo siempre mostrar mensajes de procesamiento que permitan al usuario mantener control del estado del sistema.
Importancia	Alta
Estado	Aprobado

RNF-002	Utilización de Colores
Descripción	El sistema debe presentar una interfaz con patrones de colores de 3 combinaciones.
Importancia	Alta
Estado	Aprobado
RNF-004	Métodos de Acceso
Descripción	El sistema permitirá la verificación de acceso mediante un usuario y una contraseña.
Importancia	Alta
Estado	Aprobado
RNF-005	Plataforma Open Source
Descripción	El sistema debe estar desarrollado en una plataforma Open Source en lo referente a la interfaz y a la base de datos.
Importancia	Alta
Estado	Aprobado
RNF-006	Accesibilidad
Descripción	La interfaz deberá presentar en una sola pantalla toda la funcionalidad necesaria para dar mantenimiento a los datos.
Importancia	Alta
Estado	Aprobado

RNF-007	Mantenimiento
Descripción	El sistema deberá tener un manual de usuario para facilitar el mantenimiento que se realizará en oportunidades futuras.
Importancia	Alta
Estado	Aprobado

El software deberá tener una documentación de fácil entendimiento, que permita extender el software y solucionar posibles problemas o fallas que aparezcan a lo largo del tiempo de vida de este.

Patrones de diseño

Con el fin de proporcionar un sistema adaptable a nuevas mecánicas, de rendimiento moderado, y que sea fácil de controlar, se optaron por los siguientes patrones.

MVC

El patrón de diseño MVC (Modelo-Vista-Controlador) es un enfoque arquitectónico común al desarrollar aplicaciones de software. Su objetivo principal es separar la lógica comercial, la presentación de la interfaz de usuario y la interacción del usuario en componentes separados y bien definidos. A continuación, se muestra una breve introducción a los tres componentes principales del patrón MVC:

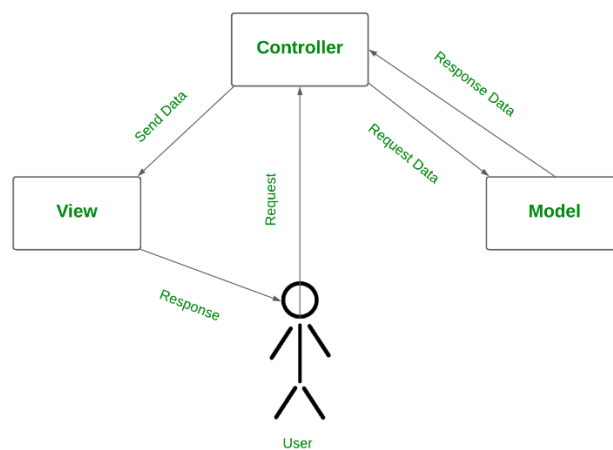
- **Modelo:** Encarna tanto los datos como la lógica operativa de la aplicación. El modelo es responsable de acceder, actualizar y manipular datos y contiene la lógica necesaria para aplicar reglas comerciales. También notifica a las vistas de cualquier cambio en los datos para que puedan actualizarse en consecuencia.

- Vista: responsable de mostrar la interfaz de usuario y los datos del modelo. Las vistas presentan información de una manera que es fácil de entender para el usuario y proporcionan interacciones básicas como la entrada de datos. Sin embargo, no contiene una lógica empresarial compleja y se mantiene separado del modelo.
- El controlador: desempeña el papel de mediador entre el modelo y la vista. Recibe las interacciones del usuario desde la vista y las procesa actualizando el modelo y pidiéndole a la vista que actualice según sea necesario. Los controladores también pueden realizar otras tareas, como la validación de datos y las operaciones de coordinación entre el modelo y la vista.

La interacción entre estos componentes sigue un flujo unidireccional (Figura 5) en el que el controlador recibe las acciones del usuario, actualiza el modelo en consecuencia y luego notifica a la vista para que lo haga. Las vistas muestran los datos actualizados al usuario y el ciclo se repite a medida que ocurren nuevas interacciones.

Figura 5

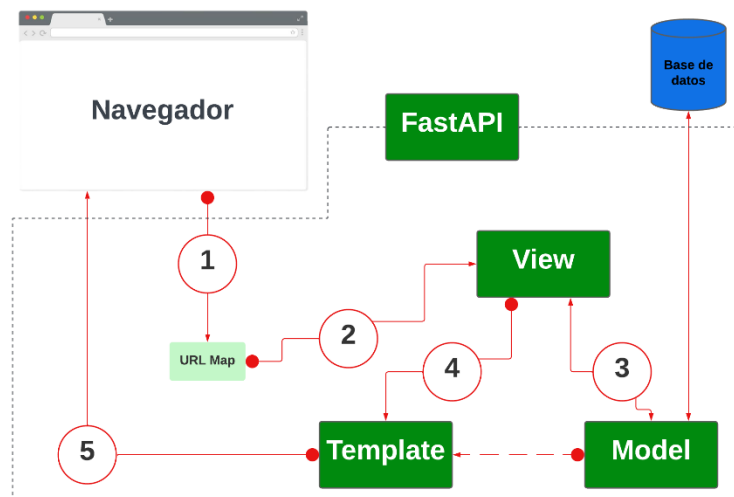
Diagrama MVC



El patrón MVC promueve el modularidad de la aplicación, la reutilización del código y la capacidad de mantenimiento al permitir que la interfaz de usuario y la lógica empresarial se modifiquen de forma independiente. También promueve la segregación de funciones, lo que facilita la colaboración de los desarrolladores que trabajan en diferentes partes del sistema.

En Python, FastAPI es un popular framework web que se puede utilizar para implementar el patrón de diseño MVC. Aunque FastAPI no impone un patrón específico, proporciona una estructura flexible que se presta bien para seguir los principios de MVC. A continuación, se muestra cómo se puede aplicar el patrón MVC en una aplicación FastAPI:

- **Modelo (Model):** En FastAPI, el modelo puede ser representado por clases de datos o modelos de base de datos. Puedes definir tus modelos utilizando la biblioteca Pydantic, que permite la validación y serialización de datos de manera sencilla. Estas clases pueden representar entidades de tu dominio o estructuras de datos utilizadas en la aplicación.
- **Vista (View):** En FastAPI, la vista se puede implementar mediante las rutas y controladores. Las rutas son los endpoints que definen las URLs y los métodos HTTP a los que se responde. Los controladores son las funciones que manejan estas rutas y contienen la lógica para procesar las solicitudes y generar las respuestas.
- **Controlador (Controller):** En FastAPI, el controlador puede ser implementado como una capa adicional entre la vista y el modelo. Puedes definir funciones o clases que encapsulen la lógica de negocio y se encarguen de interactuar con el modelo.

Figura 6*Diagrama MVC Perspectiva FastAPI*

Diseño de Interfaces

Figma, una herramienta de creación de prototipos y diseño de interfaz de usuario (UI) basada en la nube, se utilizó para el diseño y el desarrollo de la interfaz. Tanto los diseños de interfaz de usuario estáticos como los interactivos se pueden crear con Figma, que proporciona una amplia gama de herramientas y funciones que le permiten crear y editar elementos de diseño como botones, iconos, imágenes y fuentes. (CEI., 2023)

Se utilizó la tecnología React para desarrollar la interfaz (parte visual del proyecto), que, como se mencionó anteriormente, es una biblioteca de JavaScript desarrollada por Facebook para crear interfaces de usuario interactivas y reutilizables. Esta tecnología se centra en la elaboración de componentes reutilizables que representan diferentes partes de la interfaz de usuario y que se actualizan de manera eficiente cuando cambia el estado de la aplicación. (Gackenheimer, 2015)

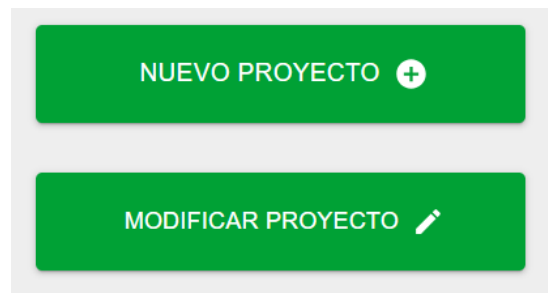
Componentes

Para la creación de las pantallas se realizó una división por componentes los cuales se van a describir a continuación:

- Botón: Este componente se encarga de activar las funciones o realizar acciones definidas dentro de la aplicación

Figura 7

Botón



- Campo de entrada: Este componente permite la entrada de diferentes tipos de datos como, texto, números o fechas.

Figura 8

Campo de entrada

The image shows two input fields stacked vertically. The top field is labeled 'Nombres *' and the bottom field is labeled 'Apellidos *'. Both fields have a small person icon on the left side, indicating they are for user identification. The fields are empty and have a light gray border.

- Cuadro de título: Este componente contiene el título de cada una de las pantallas que contiene la aplicación.

Figura 9

Cuadro de título

Datos iniciales

- Barra de navegación: Este componente contiene elementos de navegación que permiten realizar acciones definidas en la aplicación, en este caso permite acceder al menú y cierra la sesión del usuario.

Figura 10

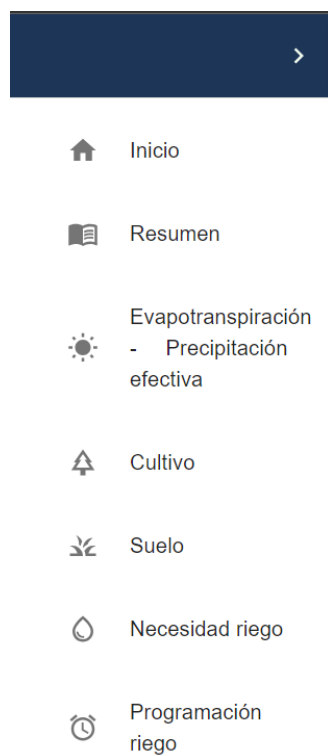
Barra de navegación



- Menú: Este componente contiene las opciones para acceder a todas las pantallas de la aplicación.

Figura 11

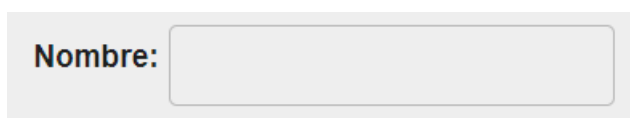
Menú



- Etiqueta: Este componente brinda un texto descriptivo sobre los campos de entrada.

Figura 12

Etiqueta



- Tabla: Este componente muestra la información en una estructura organizada de filas y columnas.

Figura 13

Tabla

Header	Header	Header
Data	Data	Data
Data	Data	Data

Pantallas

La aplicación contiene diferentes pantallas, cada una está constituida por la unión de todos los componentes mencionados, a continuación, se describe el contenido de cada una:

- Inicio de Sesión: En esta pantalla el usuario puede ingresar con un usuario o contraseña previamente creados, caso contrario puede elegir la opción “Crear Cuenta”.

Figura 14

Pantalla Inicio de Sesión



- Crear Cuenta: En esta pantalla el usuario puede crear una cuenta en el caso que no tenga una, llenando los datos del formulario que se visualiza en la figura 15.

Figura 15

Pantalla Crear Cuenta

Crear Cuenta

Nombres *

Apellidos *

Email *

Usuario *

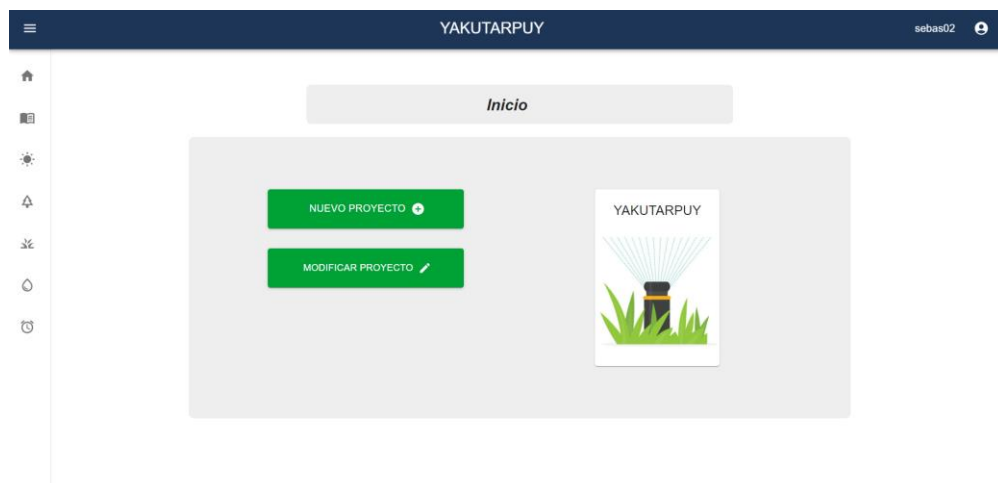
Contraseña *

REGISTRAR CANCELAR

- Inicio: Dentro de esta pantalla se va a observar el título de donde se encuentra el usuario y dos botones que redirigirán a las pantallas “Nuevo Proyecto” y “Modificar Proyecto”.

Figura 16

Pantalla Inicio



- Nuevo Proyecto: Esta pantalla permite al usuario crear un nuevo proyecto ingresando los campos del formulario que se requiere e importando el archivo de

datos. Previamente se renderiza un modal con instrucciones para la carga de datos y con un archivo para descargar con el modelo de datos que se debe importar y también posee un botón para poder abrir el modal con las instrucciones y el modelo de datos.

Figura 17

Pantalla Nuevo Proyecto

- **Modificar Proyecto:** Esta pantalla permite al usuario visualizar todos los proyectos creados y poder ingresar el nombre del proyecto que desea modificarlo.

Figura 18

Pantalla Modificar Proyecto

Nombre Proyecto	Tipo de Proyecto
test storage 2	Bajo Invernadero
Test2meses	Campo Abierto
Necesidades y programacion riego zanahoria	Campo Abierto

- **Resumen:** En esta pantalla es donde el usuario puede elegir el rango de tiempo en el cual desea sus datos procesados (diaria, decenal, mensual, anual). El usuario ingresa una fecha dependiendo el rango de tiempo seleccionado y da click en el botón “Generar” para que se muestren los resultados dentro de una tabla, de igual manera se muestra un cuadro de texto donde se muestra el nombre y el tipo del proyecto en el que se está trabajando. Finalmente, el usuario tiene la opción de graficar esas variables dando clic en el botón “Graficar” y seleccionando las variables que desea observar.

Figura 19

Pantalla Resumen

Variables	Valores
Promedio Temperatura Interior	15.941999999999997
Máxima Temperatura Interior	34.2
Mínima Temperatura Interior	10.4
Promedio Temperatura Exterior	14.572000000000001
Máxima Temperatura Exterior	26.3
Mínima Temperatura Exterior	10.5
Promedio Humedad Interior	80.38
Máxima Humedad Interior	97
Mínima Humedad Interior	35
Promedio Humedad Exterior	65.34

- **Evapotranspiración:** En esta pantalla el usuario debe ingresar los datos que solicita el formulario para realizar el cálculo de la ETo que se presentará en una tabla junto con todas las variables utilizadas para el cálculo de la misma. El usuario tiene la opción de cargar un proyecto en el caso de que ya exista uno creado previamente.

Figura 20

Pantalla Evapotranspiración

The screenshot shows the 'Evapotranspiración decenal (2021-11-01 - 2021-11-10)' screen. It features a header with the YAKUTARPUY logo and 'sebas02' on the right. A sidebar on the left contains navigation icons. The main content area includes a form with the following fields: 'Nombre: prueba decenal', 'Estación: prueba', 'Altitud: 110 m s.n.m', 'Latitud: 10 N', and 'Longitud: 10 E'. Below the form are 'GUARDAR' and 'CARGAR' buttons. A table displays the following data:

Variabes	Valores
Temperatura Máxima °C	27.7
Temperatura Mínima °C	6.3
Temperatura Media °C	17

On the right, a project information box shows 'Nombre del proyecto: Test2meses' and 'Tipo de proyecto: Campo Abierto'. Below it is a logo for YAKUTARPUY featuring a stylized sun and grass.

- Precipitación Efectiva: En esta pantalla el usuario debe ingresar los datos que solicita el formulario para realizar el cálculo de la precipitación efectiva que se presentará en una tabla. El usuario tiene la opción de cargar un proyecto en el caso de que ya exista uno creado previamente.

Figura 21

Pantalla Precipitación Efectiva

The screenshot shows the 'Precipitación efectiva decenal (2021-11-01 - 2021-11-10)' screen. It features the same header and sidebar as the previous screenshot. The main content area includes a form with the following fields: 'Nombre: prueba decenal', 'Estación: prueba', 'Método: Porcentaje', and 'Porcentaje fijo: 10'. Below the form are 'CALCULAR' and 'CARGAR' buttons. A table displays the following data:

Precipitación	Precipitación Efectiva
0	-10
0	-10
0	-10

On the right, the project information box and logo are identical to the previous screenshot.

- Cultivo: En esta pantalla el usuario ingresa la información del cultivo en el formulario que se visualiza en la figura 21 y cuando haya ingresado todos los campos, puede guardar y seguir a la siguiente pantalla. El usuario tiene también la opción de cargar un archivo ya creado y editarlo en el caso que desee hacerlo.

Figura 22

Pantalla Cultivo

YAKUTARPUY

sebas02

Datos del cultivo

Nombre: Siembra: dd/mm/aaaa Cosecha: dd/mm/aaaa

Kc Valores:

Etapas (Dias): Inicial Desarrollo Med Fin Temporada Total

Prof. radicular (cm):

Agotam. critico (fraccion):

GUARDAR CANCELAR CARGAR EDITAR

Nombre del proyecto: Test2meses
Tipo de proyecto: Campo Abierto

YAKUTARPUY

- Suelo: En esta pantalla el usuario ingresa la información del suelo en el formulario que se visualiza en la figura 23 y cuando haya ingresado todos los campos, puede guardar y seguir a la siguiente pantalla. El usuario tiene también la opción de cargar un archivo ya creado y editarlo en el caso que desee hacerlo.

Figura 23

Pantalla Suelo

YAKUTARPUY

sebas02

Datos del Suelo

Nombre Seleccione la medida

Capacidad de campo (CC) %

Punto de marchitamiento permanente (PMP) %

AA %

LAA mm

LARA mm

Densidad aparente (Da)

densidad H2O

Profundidad radicular máxima cm

Agotamiento inicial de humedad de suelo (f) %

VAA m³/ha

VHD m³/ha

GUARDAR CANCELAR CARGAR EDITAR

Nombre del proyecto: Test2meses
Tipo de proyecto: Campo Abierto

YAKUTARPUY

- Necesidad Riego: En esta pantalla el usuario selecciona la etapa en la cual requiere hacer el cálculo de la necesidad de riego y el sistema le devuelve una tabla con las variables calculadas y adicional la información del cultivo la estación de la ETo y la Precipitación Efectiva. Si ya existe un proyecto creado previamente el usuario tiene la opción de cargar el proyecto

Figura 24

Pantalla Necesidad Riego

The screenshot shows the 'Necesidad de riego decenal (2021-11-01 - 2021-11-10)' interface. It features a dark blue header with the 'YAKUTARPUY' logo and a user profile icon labeled 'sebas02'. A vertical sidebar on the left contains navigation icons. The main content area is divided into two sections. The left section, titled 'Necesidad de riego decenal (2021-11-01 - 2021-11-10)', contains a form with the following elements: a 'Seleccione la Etapa' section with radio buttons for 'Inicial' (checked), 'Desarrollo-Media' (checked), and 'Final' (unchecked); two input fields for 'Estación ETo' and 'Cultivo'; two input fields for 'Estación de lluvia' and 'Fecha siembra'; and two buttons, 'CALCULAR' (green) and 'CARGAR' (blue). The right section displays project information: 'Nombre del proyecto: Test2meses' and 'Tipo de proyecto: Campo Abierto', followed by a logo for 'YAKUTARPUY' featuring a stylized sun and grass.

- Programación Riego: En esta última pantalla el usuario debe haber ingresado o cargado previamente los datos del suelo para que de esta manera se realice el cálculo de la programación de riego llenando los campos del formulario que se visualizan en la figura 25. Adicional, el usuario tiene la opción de hacer un recalcuulo ingresando la frecuencia y la ETC, en caso de que ya existan datos creados el usuario tiene la opción de cargarlos y así poder visualizarlos.

Figura 25

Pantalla Programación Riego

The screenshot shows the 'YAKUTARPUY' web application interface. At the top, there is a dark blue header with the text 'YAKUTARPUY' and a user profile icon labeled 'sebas02'. On the left side, there is a vertical navigation menu with icons for home, calendar, weather, cloud, alarm, and other functions. The main content area is titled 'Programación de riego decenal (2021-11-01 - 2021-11-10)'. It contains a form with the following fields and controls:

- 'Tipo de riego' (Irrigation type) dropdown menu.
- 'Porcentaje' (Percentage) input field.
- 'De' (From) and 'Se' (To) date input fields.
- '# laterales' (Number of laterals) input field.
- 'ancho cama' (Bed width) and 'ancho camino' (Path width) input fields, separated by a '+' sign.
- 'SI' (Yes) input field with a '0' value.
- Three buttons: 'CALCULAR' (Calculate), 'RECALCULAR' (Recalculate), and 'CARGAR' (Load).

On the right side, there is a project information box with the following text:

- 'Nombre del proyecto: Test2meses' (Project name: Test2meses)
- 'Tipo de proyecto: Campo Abierto' (Project type: Open Field)

Below this box is a logo for 'YAKUTARPUY' featuring a stylized sun and green grass.

Implementación

Para el proceso de implementación del software “YAKUTARPUY” se dividió en cuatro módulos en donde cada uno tiene diferentes funcionalidades que al complementarse logran obtener el cálculo de la necesidad de riego de cultivos tanto bajo invernadero como a campo abierto. A continuación, se va a detallar cada uno de los módulos que se van a implementar:

Módulo de procesamiento de datos

Para este módulo primero que nada el cliente debe haber iniciado sesión y crear un nuevo proyecto para que posterior a eso se pueda realizar la importación de datos de las diferentes estaciones climáticas, el formato del archivo que se va a importar para su procesamiento va a ser .CSV, este formato fue seleccionado debido a que es más práctico al momento de manejar los datos que contiene el archivo.

Para el procesamiento de datos se van a utilizar fórmulas estadísticas generales para determinar valores como: promedios, valores máximos, valores mínimos, valores medios, entre otras. Estos datos luego de ser procesados se van a mostrar por pantalla para que el cliente pueda visualizar y utilizar en los módulos posteriores.

Módulo de clima

Para el módulo de clima el cliente no deberá hacer ninguna otra acción más que la importación principal de los datos, ya con los datos procesados el sistema se encargará de

seleccionar la información correspondiente para los cálculos del clima y de la precipitación para el clima, se deberá ocupar la ecuación de la ETo proporcionada por la FAO detallada de mejor manera en figura 2, para poder llegar a ingresar todos los datos en esta ecuación se debe calcular previamente otros valores como son:

- El método de papadakis que se basa en el déficit de saturación de vapor el cual es la diferencia entre la presión saturada y la presión real.
 - o Presión de vapor de saturación (e_s)

$$e_s = \frac{e^0(T_{max}) + e^0(T_{min})}{2}$$

- o Presión de saturación de vapor a la temperatura de aire (e^0)

$$e^0 = 0.6108 * \exp \left[\frac{17.27 * T}{T + 237.3} \right]$$

- o Presión real de vapor (e_a)

$$e_a = \frac{HR_{media}}{100} e^0(T_{media})$$

Donde la presión de vapor de saturación a la temperatura del aire T es $e^0(T)$ y HR es porcentaje.

- Para seguir con el cálculo de la ETo también es necesario hacer el cálculo de la pendiente de la curva de presión de saturación de vapor.

$$\Delta = \frac{4098 * \left[0.6108 * \exp \left(\frac{17.27 * T}{T + 237.3} \right) \right]}{(T + 237.2)^2}$$

Ya con todos estos cálculos realizados se podrán ingresar la información en la ecuación de la ETo de la FAO, y así obtener los datos solicitados por el usuario.

Submódulo de precipitación efectiva

Dentro del submódulo de la precipitación el usuario tendrá una pequeña interacción con el sistema, en primer lugar, deberá ingresar una serie de datos para los cálculos posteriores:

- Debe ingresar un nombre
- Para el cálculo de la precipitación efectiva el usuario deberá elegir una de las dos opciones:

- o La opción de formula. - Esta opción deja al usuario que se calcule la precipitación por la formula empírica la cual es:

$$P_{ef} = 0.5 * p + (-5) \text{ para } p \leq 50$$

$$P_{ef} = 0.7 * p + 20 \text{ para } p > 50$$

En este caso se validará dentro del sistema los valores de la precipitación para que se escoja de manera automática la formula correspondiente.

- o La opción de porcentaje (%) . – Para esta opción al usuario se le habilitará un casillero donde deberá ingresar un porcentaje que se quiere obtener de la precipitación para el cálculo de la precipitación efectiva, es decir:

$$P_{ef} = p * x\%$$

Y de esta forma se podrán hacer los cálculos de la precipitación efectiva en base a los datos iniciales del módulo de importación y procesamiento de datos.

Submódulo de suelo

El suelo se lo considera un submódulo ya que es una rama que continua el cálculo previo, dentro de este submódulo el cliente tendrá una interacción con el sistema llenando un formulario de valores que son necesarios para el posterior cálculo de la necesidad del riego este formulario está compuesto por los siguientes datos:

- Nombre del suelo
- Selección de medida (HG o HV)

- Capacidad de campo (CC)
- Punto de marchitamiento permanente (PMP)
- Densidad aparente (Da)
- Densidad del agua (δ_{H_2O})
- Profundidad radicular máxima (Prmax)
- Agotamiento inicial de humedad de suelo (f)

Ya con los valores obtenidos se podrá hacer diferentes cálculos para mostrar en tiempo real al cliente sus resultados estos son:

- AA: Para el cálculo de este valor se utiliza la siguiente fórmula.

$$AA = CC - PMP (\%)$$

- LAA: Para el cálculo de este valor depende del tipo de medida que el usuario haya seleccionado.

- o Para HG

$$LAA = \frac{AA}{100} * \frac{Da}{\delta_{H_2O}} * Prmax (mm)$$

- o Para HV

$$LAA = \frac{AA}{100} * Prmax (mm)$$

- LARA: Para el cálculo de este valor se utiliza la siguiente fórmula.

$$LARA = \frac{f}{100} * LAA (mm)$$

- VAA: Para el cálculo de este valor se utiliza la siguiente fórmula.

$$VAA = LAA * 10 \left(\frac{m^3}{Ho} \right)$$

- VHD: Para el cálculo de este valor se utiliza la siguiente fórmula.

$$VHD = LARA * 10 \left(\frac{m^3}{Hc} \right)$$

Submódulo de cultivo

El cultivo también se lo considera un submódulo ya que es una rama que continua el cálculo previo de la ETo, dentro de este submódulo el cliente tendrá una interacción con el sistema llenando un formulario de valores que son necesarios para el posterior cálculo de la necesidad del riego este formulario está compuesto por los siguientes datos:

- Nombre del cultivo.
- Fecha siembra.
- Fecha cosecha que para su cálculo se suma el total de las etapas a la fecha de siembra.
- Coeficiente del cultivo Kc (tres valores por etapas Etapa inicial, media, fin temporada)
- Etapas (se ingresan días por etapas inicial, desarrollo, media, fin de temporada y se calcula el total sumando todas las etapas)
- Profundidad radicular.
- Agotamiento crítico.

Módulo de necesidad de riego

Dentro del módulo de la necesidad de riego tenemos que integrar varios datos que se han obtenido de los módulos previos, es decir, dentro de este módulo tenemos una de las primeras uniones de los datos que se han venido calculando para lo cual se determinará de la siguiente manera.

$$Nr = Etc - Pe$$

Donde:

Nr = Necesidad de riego

ETc = evapotranspiración

Pe = precipitación efectiva

Para llegar a obtener la evapotranspiración (ETc) es necesario hacer los siguientes cálculos:

- $ETc = Kc * ETo$, donde la Kc ya obtenemos del módulo del cultivo donde tendremos diferentes Kc por las etapas del cultivo, en el cual se deberá seleccionar la etapa en la que se encuentra, para la ETo el dato se obtendrá del módulo de clima.

Para la obtención de la precipitación efectiva se obtendrá del módulo de la precipitación efectiva, dentro de este módulo se deberá identificar en qué periodo de fechas se encuentra (diario, decenal, mensual, anual). Por lo que la precipitación tendrá que corresponder a dicho periodo el cual se identificará con la siguiente formula:

$$P_{tot} = \frac{\sum P_{diaria}}{N^{\circ} dias}$$

Módulo de programación de riego

El objetivo de este módulo es la combinación de toda la información ya recopilada y procesada, para así hacer los cálculos correspondientes dentro del sistema y de esta manera poder concluir con una programación de riego del cultivo que se esté tratando, por lo tanto, el proceso fue el siguiente:

- En primer lugar, tener la ETo en (mm/día) el cual ya se obtiene del módulo del clima
- Segundo, recopilar el valor de la ETc el cual también se encuentra en (mm/día)
- Determinar la lámina neta (Ln)

$$Ln = LARA = dosis teorica$$

- Como se determina que Ln es LARA se obtiene el valor del módulo del suelo donde ya tenemos el cálculo correspondiente de esta variable
- Siguiendo se debe hacer el cálculo de la lámina bruta el cual es el siguiente:

$$Lb = \frac{Ln}{Ea}$$

Donde Ln se obtiene del cálculo previo y Ea es un dato que el usuario debería ingresar el cual es el sistema de riego de los cultivos el cual puede ser goteo o aspersión

- Ya con la Lb podemos hacer el cálculo el tiempo de riego el cual es:

$$tr = \frac{Lb}{Lr}$$

Donde Lb es dato y Lr se obtiene del cálculo del ingreso de información del usuario los cuales son:

- o Caudal del emisor (Qe)
- o Separación entre emisores (Se)
- o Sl, este valor se obtiene al sumar el ancho de cama + el ancho de camino los cuales son datos que ingresa el usuario
- o Y por último el # de laterales

Para determinar Lr se ocupa la siguiente ecuación:

$$Lr = \frac{Qe}{Se * Sl} * \#laterales$$

- Y por último tenemos que determinar la frecuencia de riego (fr) la cual se obtiene de la siguiente manera:

$$Fr = \frac{Ln}{ETc}$$

La implementación del software "YAKUTARPUY" ha consistido en la creación de cuatro módulos interconectados, cada uno de los cuales ofrece características específicas para calcular la cantidad de riego necesaria para cultivos a campo abierto y bajo invernadero. Esta implementación tiene como objetivo proporcionar una herramienta útil y útil para el manejo y optimización del riego agrícola.

Dentro del primer módulo el cliente puede importar datos climáticos en formato.CSV y procesarlos utilizando fórmulas estadísticas generales con el primer módulo, "Procesamiento de datos". Esto proporciona al usuario un conjunto de datos estadísticos que son útiles para cálculos posteriores.

En el módulo "Clima", el sistema procesa los datos y calcula la evapotranspiración utilizando la ecuación de ETo proporcionada por la FAO. Para obtener los valores requeridos para la ecuación, se realizan cálculos previos, como el método de Papadakis y la pendiente de la curva de presión de saturación de vapor. Esto permite al usuario obtener información crucial sobre el clima y la precipitación para el área de cultivo.

El "Submódulo de precipitación efectiva" trabaja con el usuario para calcular la precipitación efectiva utilizando una fórmula empírica o un porcentaje determinado por el cliente. Esto permite tener en cuenta la cantidad de agua que realmente está disponible para el cultivo.

El cliente proporciona valores específicos en el "Submódulo de Suelo" para calcular la necesidad de riego. Estos cálculos incluyen el tiempo de riego, la lámina neta, el volumen de agua aplicada y el agotamiento de la humedad del suelo. El agotamiento inicial de la humedad del suelo y la profundidad radicular máxima son algunos de los factores clave que influyen en estos cálculos.

Dentro del "Submódulo de Suelo" el cual se concentra en un cultivo específico para el que se calcula la necesidad de riego. El cliente ingresa información como el nombre del cultivo, las fechas de siembra y cosecha, los coeficientes de cultivo para diferentes etapas, la profundidad radicular y el agotamiento crítico. Estos datos son cruciales para determinar la evapotranspiración (ETc) y, finalmente, la necesidad de riego (Nr).

El "Módulo de Necesidad de Riego" integra todos los datos de los módulos anteriores para calcular la necesidad de riego en función de la precipitación efectiva y la evapotranspiración. Los cálculos resultantes brindan al cliente pautas claras para programar el riego y optimizar el uso del agua.

En resumen, la aplicación del software "YAKUTARPUY" proporciona una solución completa y bien organizada para calcular la cantidad de riego necesaria para cultivos a campo abierto y bajo invernadero. La combinación de los diversos módulos permite un enfoque completo que considera los factores climáticos, del suelo y del cultivo, brindando al usuario una herramienta valiosa para la toma de decisiones agrícolas informadas. El sistema es interactivo, lo que lo convierte en una herramienta accesible y efectiva para agricultores y profesionales del sector.

Pruebas del sistema

El objetivo del proyecto YAKUTARPUY fue asegurar la calidad del software mediante pruebas unitarias. La estructura de desarrollo que se implementó dentro de un único ambiente: "Desarrollo" para el desarrollo.

Se priorizó la realización de pruebas unitarias durante el proceso de desarrollo. Estas pruebas se enfocaron principalmente en asegurarse de que el sistema funcionara correctamente. Dado que el cálculo de la necesidad y la programación del riego dependían en gran medida de procesos definidos y precisos, el enfoque en pruebas unitarias fue

especialmente relevante. La funcionalidad de cada uno de estos procesos se verificó mediante pruebas unitarias, lo que aumentó la confianza en el sistema y redujo la probabilidad de errores o fallos en etapas posteriores del desarrollo.

Una decisión importante para garantizar la calidad y robustez del software desarrollado fue implementar pruebas unitarias en el proyecto YAKUTARPUY. Al dar prioridad a estas pruebas durante el proceso de desarrollo, se logró evaluar minuciosamente cada componente del sistema de manera separada para garantizar que funcione correctamente y cumpla con los requisitos establecidos. Esto aumentó la confianza en la funcionalidad del sistema YAKUTARPUY porque los errores o fallos se detectaban y corregían rápidamente, evitando problemas en etapas posteriores del desarrollo.

Además, cada uno de los procesos automatizados se dividía en pequeños subprocesos debido a la arquitectura del software, y la integración adecuada de estos subprocesos era esencial para lograr una funcionalidad cohesiva y sin errores.

Para poder hacer las pruebas unitarias dentro del framework de FastApi se utilizó los packages:

- *Pytest* . - En Python, el término "pytest" se refiere a un marco de pruebas. Es una herramienta muy utilizada para realizar pruebas unitarias, de integración y de aceptación en proyectos desarrollados en Python. La capacidad de Pytest para escribir y ejecutar pruebas y su facilidad de uso son sus principales ventajas.
- *pytest-mock*. - Un complemento para el marco de pruebas pytest en Python llamado *pytest-mock* ofrece características adicionales para trabajar con objetos simulados o "mocks" durante las pruebas unitarias. Los "mocks" son objetos simulados que permiten aislar las dependencias externas de un código en prueba, lo que facilita el enfoque en las interacciones específicas que se desean probar.

Se ocupó los mock para simular la conexión a la base de datos y así no tener que manipular la base de datos real del proyecto.

- Httpx. - httpx es una biblioteca basada en Python que se utiliza para realizar operaciones de red y solicitudes HTTP de manera eficiente y amigable.

Dentro de las pruebas se ocupó para identificar y verificar que las respuestas de los servicios coincidan con lo esperado.

La implementación de pruebas unitarias en el proyecto YAKUTARPUY fue una estrategia exitosa para garantizar la calidad del software. La combinación de las herramientas pytest, pytest-mock y httpx proporcionó una base sólida para llevar a cabo las pruebas de manera efectiva y garantizar que el sistema cumpla con los requisitos de calidad y expectativas del cliente. El uso de este método de pruebas ayudó a proporcionar software confiable, práctico y apto para su uso en entornos de agricultura y riego reales.

Capítulo IV

Conclusiones

En el transcurso de esta investigación se logró con éxito los objetivos planteados, enfocándose en el desarrollo y aplicación de la herramienta de cálculo “YAKUTARPUY”, cuyo principal propósito es cuantificar, promediar y visualizar variables meteorológicas diarias, decenales y mensuales, anuales y multianual. Con esta herramienta se pretende proporcionar una solución integral para la estimación de la demanda y la planificación del riego de cultivos de campo e invernadero.

Una revisión cuidadosa de la literatura de la función de los sistemas de riego, el cálculo de la extensión de la distribución y su asociación con las variables climáticas permite una base sólida para este estudio, asegurando así la base teórica necesaria para el desarrollo de la herramienta.

Usando el entorno de desarrollo de Visual Studio Code, se completó con éxito el desarrollo del software "YAKUTARPUY". El entorno de desarrollo proporciona una interfaz amigable y con todas las funciones para facilitar la programación de front-end y back-end para cumplir con los requisitos funcionales en evolución del sistema.

Este estudio cumple satisfactoriamente el objetivo planteado de brindar soluciones informáticas eficientes y de gran relevancia para el sector agropecuario. La herramienta "YAKUTARPUY" es un importante paso adelante en la optimización del riego de cultivos en campo abierto e invernaderos, contribuyendo a la mejora de la producción agrícola y la gestión sostenible de los recursos hídricos.

Recomendaciones

Se recomienda realizar un exhaustivo análisis acerca del cálculo de la evapotranspiración, las necesidades y programación del riego como paso fundamental para una correcta definición del problema, lo cual simplifica la identificación de sus raíces y resultados. Este enfoque conduce a una comprensión precisa de la temática, así como de los diferentes temas interconectados de forma directa o indirecta.

Durante el diseño y la implementación del sistema, se recomienda especialmente el uso de tecnologías que faciliten el procesamiento de datos en la parte del back end como Python o JavaScript y por parte del front end frameworks como React o Angular que faciliten el diseño de las interfaces de usuario y su lógica.

Trabajos Futuros

Este trabajo contiene beneficios académicos para los estudiantes de Ingeniería Agropecuaria al momento de procesar una gran cantidad de variables climáticas y facilitar así el cálculo de la Evapotranspiración, Necesidades y Programación de Riego. Sin embargo, esta es solo una etapa inicial, una pequeña demostración de conceptos que pueden aplicarse en nuevas versiones de este trabajo agregando nuevas funcionalidades.

Como trabajos futuros, se espera en algún momento agregar la funcionalidad de generar reportes de cada uno de los procesos que se realizan y así guardar esa información en archivos tipo xlsx o csv, de igual manera se puede optimizar el procesamiento de los datos y la forma en cómo se guardan los mismos para que así el usuario tenga la opción de visualizar los datos diferente a como se exponen en esta primera versión. Agregando estas nuevas funcionalidades en nueva versión de este software, existe la posibilidad de ponerlo en producción para que de esta forma el sistema pueda ser utilizado por toda la comunidad de la ESPE, en especial los estudiantes de la carrera de Ingeniería Agropecuaria en la hacienda el Prado.

Bibliografía

Arias, Á., & Durango, A. (2016). *Ingeniería y Arquitectura del Software*. IT campus Academy.

Arteaga Ramírez, R., Ángeles Montiel, V., & Alberto Vázquez Peña, M. (2011). PROGRAMA CROPWAT PARA PLANEACIÓN Y MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO. En *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (Vol. 2).

Astigarraga, J., & Cruz-Alonso, V. (2022). ¡Se puede entender cómo funcionan Git y GitHub! *Ecosistemas*, 31(1). <https://doi.org/10.7818/ECOS.2332>

Beltrán, Ó. A. (2005). Revisiones sistemáticas de la literatura. *Revista colombiana de gastroenterología*, 20(1), 60–69.

Borrell, G. (2006). *El control de versiones*.

Brown, O., Gallardo, Y., Correa, A., & Barrios, S. (2015). El cambio climático y sus evidencias en las precipitaciones. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36(1), 88–101.

Calera, A., Campos Jesús Garrido, I., & Índice, uclmes. (2016). *DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES DE AGUA Y DE RIEGO MEDIANTE ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y SERIES TEMPORALES DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES*.

Castellanos, L. (2011). *Desarrollo de Sistemas de Información bajo un enfoque incremental*. Universidad Nacional Experimental de la Fuerza Armada .

CEI. (2023). *¿Qué es Figma y para qué sirve?* <https://cei.es/que-es-figma/>

Chavapal, N. (2018). *Qué es Frontend y Backend: diferencias y características - Platzi*. <https://platzi.com/blog/que-es-frontend-y-backend>.

Chen, Y., Marek, G. W., Marek, T. H., Gowda, P. H., Xue, Q., Moorhead, J. E., Brauer, D. K., Srinivasan, R., & Heflin, K. R. (2019). Multisite evaluation of an improved SWAT irrigation

scheduling algorithm for corn (*Zea mays* L.) production in the U.S. Southern Great Plains. *Environmental Modelling and Software*, 118, 23–34.

Equipo editorial Etecé. (2018, septiembre 6). *Sistema de información*.

<https://humanidades.com/sistema-de-informacion/>.

Fourati, M. A., Chebbi, W., Ayed, M. Ben, & Kamoun, A. (2019). Information and communication technologies for the improvement of the irrigation scheduling. *International Journal of Sensor Networks*, 30(2), 69–82.

Gackenheimer, C. (2015). *Introduction to react*. Apress.

IBM. (2020, agosto 25). *MongoDB Atlas helps make it easier to deploy, operate, and scale a MongoDB database as a cloud-hosted MongoDB service on Amazon Web Services, Microsoft Azure, and Google Cloud*.

https://www.ibm.com/common/ssi/ShowDoc.wss?docURL=%2Fcommon%2Fssi%2Frep_ca%2F0%2F897%2FENUS220-400%2Findex.html&request_locale=en

Kitchenham, B., Pretorius, R., Budgen, D., Brereton, O. P., Turner, M., Niazi, M., & Linkman, S. (2010). Systematic literature reviews in software engineering-A tertiary study. *Information and Software Technology*, 52(8), 792–805.

Luis, G., & Petillo Mario, G. (2011). *Agrociencia Uruguay Evapotranspiración de cultivos de verano para dos regiones climáticamente contrastantes de Uruguay*.

Morábito, J., Salatino, S., Hernández, R., Schilardi, C., Álvarez, A., & Rodríguez, P. (2015). Distribución espacial de la evapotranspiración del cultivo de referencia y de la precipitación efectiva para las provincias del centro-noreste de Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 47(1), 1853–8665.

- Moreno, R., Arias, E., Sánchez, J. L., Cazorla, D., Garrido J., & Gonzáles-Piqueras, J. (2017). HidroMORE 2: An Optimized and Parallel Version of HidroMORE. *2017 8th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS)*, 1–6.
- Navarro Cadavid, A., Fernández Martínez, J. D., & Morales Vélez, J. (2013). Revisión de metodologías ágiles para el desarrollo de software A review of agile methodologies for software development. *PROSPECTIVA*, 11(2), 30–39.
- Navarro, M., Moreno, M., Aranda, J., Parra, L., Rueda, J., & Cruz, J. (2017, septiembre). Selección de metodologías ágiles e integración de arquitecturas de software en el desarrollo de sistemas de información. *XIX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 632–636.
- Nikolaou, G., Neocleous, D., Katsoulas, N., & Kittas, C. (2019). Irrigation of greenhouse crops. En *Horticulturae* (Vol. 5, Número 1, p. 7). MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Palestina, M. S., Chávez, L. T., Medina García, G., Palacios Velez, O., & Flores, H. (2017). Sistema para programar y calendarizar el riego de los cultivos en tiempo real. En *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (Vol. 8).
- Peng, X., Ye, T., & Wang, Y. (2018). Research and design of precision irrigation system based on artificial neural network. *2018 Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, 3865–3870.
- Pereira, L., De Juan, J. A., Picornell, M. R., & Tarjuelo, J. M. (2010). *EL RIEGO Y SUS TECNOLOGÍAS*.
- Sangucho, J. (2018). *Cálculo de la evapotranspiración a partir de información agrometeorológica de la estación MA-56*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Santana, L. (2008). *Evapotranspiración Penman-Monteith Análisis Año 2008*. AgroCabildo.

Tabango, A. (2023). *Determinación del coeficiente del tanque evaporímetro Clase A para estimar la evapotranspiración de referencia bajo invernadero, Hcda. El Prado*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Tang, D., Feng, Y., Gong, D., Hao, W., & Cui, N. (2018). Evaluation of artificial intelligence models for actual crop evapotranspiration modeling in mulched and non-mulched maize croplands. *Computers and Electronics in Agriculture*, 152, 375–384.

Tutorialspoint. (2022). *FastAPI – Python Web Framework*.

https://www.tutorialspoint.com/fastapi/fastapi_tutorial.pdf

Wu, F., Wu, B., Zhu, W., Yan, N., Ma, Z., Wang, L., Lu, Y., & Xu, J. (2021). ETWatch cloud: APIs for regional actual evapotranspiration data generation. *Environmental Modelling and Software*, 145, 105174.

Apéndices