

**Aplicación Móvil con AppSheet para Programación de Riegos en el Cultivo de la Caña de
Azúcar**

Autor:

Carlos Alberto Bravo Guzman

Director

Leonardo Álvarez Ríos

Ingeniero agrónomo PhD

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrarias, Pecuarias y Medio Ambiente – ECAPMA

Programa de Agronomía

2025

Agradecimientos

Agradezco a Dios por regalarme la vida, la sabiduría y la oportunidad de culminar este proyecto, por ayudarme siempre en lo que le pido y por darme la idea para realizar este trabajo. A mi familia, especialmente a mis hijos que son la alegría de mi vida, y a mi madre por sus palabras de fe y aliento, siempre apoyándome en todas mis decisiones. También agradezco a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia por brindarme los recursos y el aprendizaje necesario para crecer profesionalmente, así como a mis compañeros cuyo conocimiento y apoyo fueron fundamentales en la ejecución de este trabajo. Por último, expreso mi gratitud a mi director de tesis por su guía y dedicación en este proyecto.

Resumen

El riego representa más del 50% de los costos totales en la producción del cultivo de caña de azúcar, y es la actividad de mayor impacto en la producción de jugos. En consecuencia, es de crucial importancia el potencial de eficiencia que logre tener la programación adecuada del riego, puesto que resulta esencial para el desarrollo vegetativo y la optimización de costos a lo largo del ciclo fenológico del cultivo.

Ante esta situación, en el presente trabajo se expone el diseño de una App móvil para la recolección de datos clave que intervienen en la programación del riego en el cultivo de caña de azúcar como precipitaciones diarias, textura del suelo y uso de infraestructuras y combustibles. Este sistema desarrollado mediante el uso del software de programación libre AppSheet, se realiza con el objetivo de permitir una mayor digitalización y almacenamiento de datos en la nube para incrementar la automatización de informes en diferentes dispositivos, optimizando así la gestión del riego.

Palabras clave: Precipitaciones, caña de azúcar, aplicación, recolección de datos, automatización.

Abstract

Irrigation accounts for more than 50% of total costs in sugarcane crop production, and is the activity with the greatest impact on juice production. Consequently, the efficiency potential of proper irrigation scheduling is of crucial importance, since it is essential for vegetative development and cost optimization throughout the phenological cycle of the crop.

In view of this situation, this paper presents the design of a mobile App for the collection of key data involved in irrigation scheduling in sugarcane cultivation, such as daily rainfall, soil texture and use of infrastructure and fuels. This system developed through the use of the free programming software AppSheet, is made with the objective of allowing greater digitization and storage of data in the cloud to increase the automation of reports on different devices, thus optimizing irrigation management.

Keywords: Rainfall, sugarcane, application, data collection, automation.

Glosario

Precipitación efectiva: consiste en el porcentaje que se debe aplicar sobre la precipitación diaria total presentada. Para datos menores a 30 mm se le otorga el 80% y para mayores a 30 se le otorga el 90% de efectividad sobre el cultivo de caña de azúcar.

TCH: significa toneladas de caña de azúcar por hectárea. Es un término relacionado con la producción del cultivo aportado por la cosecha.

Pluviómetro: recipiente cilíndrico con medición espacial para la recolección de las precipitaciones diarias, con ubicación en lugares despejados y distanciamiento por área homogénea.

Evaporímetro: tanque cilíndrico con capacidad de 40 litros con medición para disminución de volumen ubicada en estaciones meteorológicas.

Estrés hídrico: estado con déficit de agua, el cual tiene sintomatología de encrespamiento del área foliar color verde opaco.

Tabla de Contenido

Introducción	14
Planteamiento del Problema.....	15
Justificación.....	16
Objetivos	18
Objetivo General	18
Objetivos Específicos	18
Marco Teórico	19
Caña de azúcar	19
Evaporación	20
Precipitación	21
Balance hídrico	21
Lámina de agua aprovechable (LAA).....	22
Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA)	22
Frecuencia o requerimiento de riego	23
Contenido de humedad a capacidad de campo (CC)	23

Punto de marchitez permanente (PMP)	24
Zona agroecológica del valle del Rio Cauca	24
Recolección de datos.	25
Programación sin código (no-code).....	25
AppSheet.....	26
Google Cloud Plataform (GPC).....	27
Metodología	28
Etapa 1. Identificación de propiedades agroclimatológicas de la zona occidental del rio	
Cauca hacienda suiza.	29
Ubicación del lugar destinado para el proyecto.....	29
Identificación de las zonas agroclimatológicas	29
Identificación de pluviómetros y red de estaciones meteorológicas.....	32
Establecimiento del requerimiento hídrico del cultivo por prioridad fenológica	33
Etapa 2. Caracterización las variables y procedimientos para elaboración de cálculos	
dentro del programa	34
Determinación de variables agroecológicas de la hacienda suiza.	34

Procedimientos para elaboración de cálculos de las variables agrícolas establecidas.....	35
Formulación de cálculos de las variables recolectadas en base de datos de Google Sheets..	36
Etapa 3. Elaboración del balance hídrico en la interfaz de AppSheet para el cultivo de caña de azúcar en la hacienda suiza.....	39
Elaboración de interfaz balance hídrico dentro del aplicativo.....	39
Evaluación del funcionamiento del aplicativo	43
Recolección de datos (procedimiento manual).....	43
Transformación de datos (procedimiento automático)	43
Creación de reporte para riego.....	47
Resultados y Discusión	50
Características de áreas y estado varietal de la Finca:	50
Distribución de las consociaciones de los tipos de suelos presentes en la hacienda suiza	51
Distribución de las zonas agroecológicas de la hacienda suiza.	53
Distribución de la red de pluviómetros de la hacienda.....	55
Establecimiento de precipitaciones por ciclo de cultivo para cada suerte.	55
Determinación de la RMA estación meteorológica bocas del palo	57

Propuesta para balance hídrico con establecimiento de prioridades.....	57
Reporte de los cálculos del balance hídrico de la hacienda la suiza.....	60
Conclusiones	66
Referencias Bibliográficas	67
Apéndices.....	71

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Identificación de características físicas de los tipos de suelos presentes en la suiza</i>	31
Tabla 2 <i>Coeficiente de transpiración por edad</i>	44
Tabla 3 <i>Cronológico de la hacienda suiza</i>	50
Tabla 4 <i>Clasificación de tipos de suelo y texturas por área</i>	52

Lista de Figuras

Figura 1 Diagrama de ejecución de la metodología para el desarrollo de la aplicación móvil con AppSheet.	28
Figura 2 Georeferenciación en satélites.pro de la hacienda suiza.	29
Figura 3 Estudio detallado de suelos de la hacienda suiza por Cenicaña.....	30
Figura 4 Determinación de RMA y coordenadas por suerte de la hacienda suiza.....	33
Figura 5 Ingreso al portal de la página privada de Cenicaña para consulta de datos.	34
Figura 6 Datos transformados de variables agroecológicas por edad para cada suerte de la hacienda .	39
Figura 7 Portal de ingreso al programador de AppSheet.....	41
Figura 8 Menú de almacenamiento de aplicaciones creadas a partir del perfil seleccionado.....	41
Figura 9 Selección de la base de datos para la creación de la aplicación móvil dentro del programador de AppSheet.....	42
Figura 10 Creación del balance hídrico en la UX (vista) dentro de la aplicación móvil.	42
Figura 11 Creación de la Behavior (comportamiento inteligente) para las acciones de la aplicación móvil.....	43
Figura 12 Digitación del dato de precipitaciones diarias (mm) dentro de la aplicación móvil.....	45
Figura 13 Digitación del dato de evaporación diaria (mm) dentro de la aplicación móvil.	45
Figura 14 Digitación de los riegos diarios (mm) dentro de la aplicación móvil en verano.	46
Figura 15 Digitación de las modificaciones del cronológico de la hacienda suiza dentro de la aplicación móvil en verano.....	47
Figura 16 Variación de LARA con relación a la edad del cultivo presente en cada suerte.	48
Figura 17 Establecimiento de comportamientos para los datos del balance hídrico en la aplicación móvil.....	48
Figura 18 Validación de cálculos para elaboración del reporte del balance hídrico de la hacienda en la	

<i>aplicación móvil</i>	49
Figura 19 <i>Áreas porcentuales de la distribución varietal de la hacienda suiza</i>	51
Figura 20 <i>Áreas porcentuales de la distribución de las consociaciones de suelos en la hacienda suiza</i> ..	53
Figura 21 <i>Distribución detallada de zonas agroecológicas de la hacienda suiza por Cenicaña</i>	54
Figura 22 <i>Áreas porcentuales de la distribución de las zonas agroecológicas presentes en la hacienda suiza</i>	54
Figura 23 <i>Distribución de los pluviómetros en el área de la hacienda suiza</i>	55
Figura 24 <i>Distribución de los pluviómetros por suerte de la hacienda suiza</i>	56
Figura 25 <i>Datos del promedio de precipitaciones (mm) presentes en la hacienda suiza 2023-2024</i>	56
Figura 26 <i>Estación meteorológica bocas del palo</i>	577
Figura 27 <i>Reporte del balance hídrico semanal en la interfaz de la aplicación móvil</i>	58
Figura 28 <i>Base datos con los cálculos condicionales del balance hídrico semanal para cada suerte de la hacienda suiza</i>	58
Figura 29 <i>Reporte detallado del balance hídrico semanal en la interfaz de la aplicación móvil</i>	61
Figura 30 <i>Descuentos de LARAS en base de datos por condicionales lógicos matemáticos</i>	62
Figura 31 <i>Registros de los riegos realizados a partir del inicio del cultivo año 2022</i>	63
Figura 32 <i>Estimativos históricos de aforos para cosecha de la suerte 011 de la suiza</i>	63

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Tabla de referencia de la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) de 179 suelos representativos del valle del río Cauca (213,675 ha). Septiembre 2013. (Cenicaña, 2015).</i>	71
Apéndice B <i>Validación del balance hídrico.</i>	76

Introducción

Los riegos son un componente crucial para la productividad agrícola, especialmente en cultivos de caña de azúcar. Una irrigación efectiva permite asegurar tanto el buen crecimiento de la planta como una reducción en los costos de producción, debido a que se pueden mitigar el estrés por exceso de agua, lo cual causa una disminución en la obtención de sacarosa, y el uso ineficiente de recursos hídricos (Torres Aguas, 1995).

De acuerdo con la investigación realizada por Procaña (2024) en el Valle del Cauca, la variabilidad climática y el tipo de suelo afectan significativamente el requerimiento de agua de la caña de azúcar, lo que hace que sea esencial la precisión en la programación de los riegos para mantener la productividad y la viabilidad económica del cultivo de la caña de azúcar.

Teniendo en cuenta lo anterior, y la necesidad de integrar cada vez más ayudas tecnológicas dentro de la industria azucarera, este trabajo de grado tiene como objetivo el desarrollo de una aplicación móvil utilizando AppSheet, una plataforma de Google Cloud, diseñada para recolectar, procesar y analizar la información sobre precipitaciones de forma que permita programar los riegos del cultivo de caña de azúcar de una forma óptima. Para ello, la aplicación permite la digitalización de precipitaciones, textura del suelo, y otros parámetros que son utilizados para tomar decisiones sobre riegos en la Hacienda Suiza. Finalmente, este estudio representa un beneficio para el sector agrícola, ya que permite la reducción de costos y un cambio significativo en la forma en que se trata convencionalmente el riego de la caña de azúcar.

Planteamiento del Problema

La programación inadecuada del riego en el cultivo de caña de azúcar genera sobrecostos durante el ciclo fenológico, principalmente debido al estrés hídrico en los cañaverales, que puede ser provocado tanto por el exceso como por el déficit de agua resultante del uso indiscriminado de fuentes de agua superficiales y pozos profundos de acuíferos subterráneos. En la actualidad, en la agrupación de predios conocida como zona occidental del Río Cauca - Hacienda Suiza, la programación de riegos se realiza de manera empírica, basándose en la evaluación física de las plantas sin considerar factores clave como la evapotranspiración de la zona, el acumulado de precipitaciones y la textura del suelo. Esta falta de un enfoque más técnico puede llevar a una ejecución del riego que disminuya la producción de azúcar.

Justificación

“La agroindustria azucarera genera 286.692 empleos entre directos e indirectos y beneficia a más de 1.2 millones de personas aportando a la economía nacional el 0.6% del PIB total” (Procaña, 2022), lo que la consolida como uno de los principales motores de la economía del Valle del Cauca. Esto se debe a que esta industria no solo se dedica a la producción de azúcar, sino que también aprovecha la caña de azúcar para la cogeneración de energía, producción de biocombustibles, papel, aglomerados, abonos de origen natural (compost), panela y uso en sucroquímicos farmacéuticos.

De acuerdo con Torres Aguas (1995), las variantes climáticas, particularmente las precipitaciones, son las que más influyen en el ciclo del cultivo, por lo que se hace necesario conocer los datos relacionados con el clima de forma precisa y rápida. Bajo este contexto, la implementación de una aplicación digital podría representar una estrategia clave para garantizar la continuidad operativa y mejorar el flujo de información en el tiempo, gracias a las ventajas que ofrecen este tipo de tecnologías, como el almacenamiento en la nube, software o híbrido, y el acceso a datos al usuario en diferentes espacios y tiempos. No obstante, es evidente la falta de tecnología en la transformación de datos recolectados en el sector azucarero de forma pública ya que CENICAÑA al ser una entidad privada cobra los paquetes tecnológicos que presta siendo poco accesible para pequeños cañicultores, actualmente los cañicultores enfrentan una disminución en la producción de toneladas de caña de azúcar por hectárea (TCH) y en la cantidad de azúcar por tonelada de caña molida, lo que se traduce en pérdidas económicas ocasionadas por los fenómenos climáticos que provocan una nueva distribución en las temporadas lluviosas y afectan de manera directa la programación cultural sobre el plan de riegos. Por consiguiente, la creación de una App móvil permitiría la optimización y

automatización del sistema de riego, sería de gran ayuda para los técnicos encargados de esta programación generando disminución del costo empleado en esta actividad que fluctúa entre el 30% y el 50% del costo total por de un ciclo de cultivo de la caña de azúcar como lo explica la investigación realizada por Cruz y Torres (2003), lo que impulsaría un aumento en la producción a corto plazo, siempre que los datos utilizados sean altamente precisos, ya que estos influirían en la gestión eficiente del recurso hídrico, los sistemas de drenaje y la distribución de insumos.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar una aplicación móvil mediante el paquete tecnológico ofrecido por AppSheet para la recolección y transformación de datos agrícolas para programación del riego en el cultivo de caña de azúcar.

Objetivos Específicos

Identificar las propiedades agroclimatológicas de la zona occidental del Rio Cauca, hacienda suiza, a través de la base de datos del ingenio INCAUCA S.A.S, y la estación meteorológica Boca del Palo.

Caracterizar las variables representativas para la programación de riegos y suministrarlas para los cálculos en la interfaz del software.

Crear una propuesta para automatizar los cálculos del balance hídrico en los cultivos de caña de azúcar de la hacienda suiza.

Marco Teórico

Caña de Azúcar

La caña de azúcar, una planta con metabolismo C4, es esencial para el desarrollo socioeconómico del Valle del Cauca, destacándose como un cultivo de alto rendimiento en ambientes tropicales. Introducida por Sebastián de Belalcázar en el Valle del Cauca, la caña de azúcar representó una nueva ruta en la economía del departamento, de hecho se afirma que fue el 1 de enero de 1901 con la inauguración de la fábrica de azúcar blanco granulado del actual Ingenio Manuelita, que llegó la industrialización al sector azucarero surgente en el Valle del Cauca, además de las futuras inauguraciones del ingenio Providencia en 1926, el ingenio Rio Paila en 1928 por manos de la familia Caicedo, y el ingenio Mayagüez en 1930 por decisión de Nicanor hurtado en Candelaria, Valle del Cauca.

El cultivo prospera entre 500 y 2000 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas óptimas de 15 a 28°C y una precipitación anual entre 1500 y 1750 milímetros. La cantidad ideal de luz solar varía entre 5 y 7 horas diarias, ya que en condiciones de escaso brillo solar pueden afectar negativamente el grosor y elongación del tallo, disminuyendo la concentración de sacarosa. En etapas de maduración, es crucial un ambiente seco para optimizar la acumulación de sacarosa en los tejidos de la planta (Cortolima, s.f.).

La productividad también depende de las características del suelo. Los suelos franco-arcillosos con buen drenaje y un pH entre 5.5 y 7.5 ofrecen el mayor potencial productivo. Además, la distancia de siembre ha evolucionado con la mecanización, pasando de un rango de 1.50 a 1.75 metros a 1.65 metros entre surcos (Viveros, C. A.; Calderón H., 1995), optimizando el espacio y reduciendo el pisoteo por maquinaria pesada (Franco R.; Pantoja J.E., 2009).

Cabe señalar que existen diversas variedades de caña de azúcar, de acuerdo con el

informe anual del 2023 Cenicaña nuevas variedades disponibles para propagación por régimen de humedad en la cuenca geográfica del valle del Río Cauca, es decir para el ambiente semiseco, sobresalen en TCH las variedades CC 11-0213 (19.1%), CC 10-096 (18.6%), CC 11-0129 (13.7%) y CC 11-0132 (13.0%). En la producción de sacarosa (% caña) sobresalieron CC 10-096 (1.0%) y CC 11-0132 (3.7%) y para el ambiente húmedo destacaron las variedades CC 12-2120 por su buena relación entre el TCH y la sacarosa (% caña) y CC 13-2035 por TCH, actualmente la variedad comercial más cosechada es la CC 01-1940 con 33.225 ha con un TCH de 97.7 y rendimiento de sacarosa del 10.67% seguida de la CC05-430 con 9.529 ha con un TCH de 120 y rendimiento en sacarosa del 10.22%.

Evaporación

Es el proceso físico mediante el cual el agua cambia del estado líquido al gaseoso, también conocido como vapor de agua. Este fenómeno ocurre sobre la superficie del agua. Como indica (Torres Aguas, J. 1995), el dato de evaporación diaria se mide en un tanque específico clase A (USWB), el cual presenta una variación mínima, lo que permite que las estaciones meteorológicas puedan estar separadas por varios kilómetros, siempre que pertenezcan a una misma zona con características similares en cuanto a radiación solar, oscilación en la temperatura del aire, velocidad del viento, unidad relativa del aire y en algunos casos la dirección del viento. Para la zona geográfica del Valle del Cauca, el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar ha dispuesto una red meteorológica automatizada que proporciona diariamente los datos de evaporación por estación.

La evaporación del tanque clase A (USWB) se relación con un tanque de color blanco de forma cilíndrica y de color blanco con diámetro entre 26 a 30 cm y 35 a 40 cm de profundidad, este tanque representa la capacidad de almacenamiento de la LARA como indica: (Torres Aguas,

J. 1995)

Precipitación

La precipitación (P) que se debe considerar para el balance hídrico es la que efectivamente llega hasta el suelo, que es una fracción de la precipitación incidente (P_i), medida en un pluviómetro representativo, de la suerte a la cual se pretende calcularle el balance hídrico.

De acuerdo con una investigación de Cenicaña (Alarcon y Cruz, 2012), la precipitación efectiva en el cultivo de caña de azúcar se puede estimar en:

- Alrededor de 80% en precipitaciones entre 1 mm y 12 mm ($P = 0.8 * P_i$, si $P_i \leq 30$ mm)
- Cerca de 90% en precipitaciones superiores a 12 mm ($P = 0.9 * P_i$, si $P_i \geq 30$ mm)

Teniendo en cuenta que la P_i puede variar de un sitio a otro e incluso dentro de una misma zona, en cada predio se debe contar con una red de pluviómetros establecida de acuerdo con la variabilidad de la lluvia.

Balance Hídrico

El balance hídrico es un registro contable del agua en el suelo, que permite evaluar las ganancias y las pérdidas de humedad. El contenido de humedad del suelo aumenta cuando ocurre un evento de precipitación (P) o se aplica riego (R). Las pérdidas de humedad desde el suelo se deben principalmente a la transpiración de la planta (Tr), y a la evaporación desde la superficie del suelo (Ev). La diferencia entre estas ganancias y pérdidas determina los cambios en el contenido de humedad del suelo (CHS) en un periodo de tiempo (Torres Aguas, J. 1995), el cual se puede expresar mediante el siguiente modelo matemático:

$$CHS = (P + R + NF) - (Ev + Tr + Pp) \rightarrow CHS = P + R + NF - Eta - Pp \quad (1)$$

En suelos con nivel freático (NF) profundo mayor a 70 cm no se tiene en cuenta para el

cálculo debido a que no estaría disponible para el sistema radicular que alcanza como máximo 60 cm de profundidad como indica la investigación de: (Abonamos, s.f.), cuando no existe percolación profunda (Pp) y la evapotranspiración real (Eta.), la Ecuación 1 se simplifica en:

$$CHS = P + R - Eta \quad (2)$$

Lámina de Agua Aprovechable (LAA)

Expresa la cantidad de agua que los diferentes tipos de suelos pueden llegar a almacenar entre el contenido de humedad a capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) en la profundidad radicular efectiva para el cultivo establecido, la formula se expresa de la siguiente forma:

$$LAA = \frac{(CC - PMP) * DA * PR}{100 * DW} \quad (3)$$

Donde: CC: contenido de humedad a capacidad de campo; PMP: punto de marchitez permanente; DA: densidad aparente en g/cc; DW: densidad de agua = 1g/cc; y, PR: profundidad radicular efectiva en cm.

Lámina de Agua Rápidamente Aprovechable (LARA)

El suelo puede considerarse como un reservorio de agua, pero la planta solo puede utilizar aquella que es retenida por el suelo en el rango entre capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), lo que se denomina agua aprovechable. De la cantidad total de agua disponible, hay una parte que puede agotarse sin que se afecte la producción del cultivo, sin embargo, una vez que se ha agotado esta porción, es necesario aplicar el riego. Esta fracción de agua se denomina lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA). Para iniciar el balance hídrico se pueden utilizar los valores que se presentan en la tabla de referencia de la LARA de los principales suelos del valle de Río Cauca (Cenicaña, 2015). La Ecuación 4 permite obtener la lámina de agua rápidamente aprovechable.

$$LARA = \frac{LAA \cdot NR}{100} \quad (4)$$

Donde LAA es la lámina de agua aprovechable y, NR el nivel de reposición o porcentaje de agotamiento del agua aprovechable del 50% para caña de azúcar.

Frecuencia o Requerimiento de Riego

Existe una relación lineal entre el rendimiento de la caña y la disponibilidad de agua: por cada tonelada de caña producida, el cultivo requiere al menos 10 mm de agua. Sin embargo, durante el pico de crecimiento del follaje, la caña transpira grandes volúmenes de agua, alcanzando los 5-6 mm de agua por día. Por lo tanto, un cultivo requiere entre 1500 a 2500 mm de agua disponible por año, con requerimientos máximos durante el macollaje y el periodo de gran crecimiento (YARA Colombia, 2024).

El requerimiento de agua para el cultivo de caña de azúcar se puede calcular en función de la evapotranspiración del cultivo (Etc) y los datos del coeficiente del cultivo, el cual varía según la edad del cañaveral. La evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) se expresa con la ecuación de FAO Penman-Monteith (Cenicaña , 2015):

$$ETC = K_c \cdot Eto \quad (5)$$

Además, este requerimiento depende de la textura del suelo y profundidad de las raíces, que en caña de azúcar alcanza los 50 cm. Por consiguiente, el agua fácilmente disponible (AFD) determina la frecuencia de riego (FR), que se expresa de la siguiente forma:

$$Fr = \frac{LARA}{ETP} \quad (6)$$

Contenido de Humedad a Capacidad de Campo (CC)

La capacidad de campo se refiere a la cantidad de agua que puede llegar a retener un suelo bien drenado después de un riego o precipitación. Este valor se expresa en porcentaje de

peso de suelo seco. En otras palabras, La CC es el agua retenida en los microporos del suelo por la fuerza de cohesión entre las moléculas del agua y la adhesión de estas con las partículas del suelo, manteniendo un equilibrio adecuado entre agua y aire. La CC varía dependiendo del nivel freático, textura y estructura del suelo.

Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Es el rango en el contenido de humedad del suelo en el cual la planta no puede extraer agua y se marchita. Este punto crítico se alcanza cuando la cantidad de agua en el suelo es inferior a la que la planta necesita. Similar a la capacidad de campo (CC), el punto de marchitez permanente se expresa como un porcentaje del peso del suelo seco y varía según el tipo de suelo (textura, porosidad, compactación y estructura), temperatura del aire y del suelo, extensión del sistema radicular de la planta. No todas las plantas, alcanzan este punto en el mismo momento, aunque la mayoría lo experimenta alrededor de -1.5 MPa o -15 atm/bar., según Ricardo Cruz V. (2014), este valor también es afectado por las condiciones del perfil del suelo y por la conductividad capilar del mismo encargado de controlar el flujo de agua hacia la raíz.

Zona Agroecológica del Valle del Río Cauca

Las zonas agroecológicas resultan de combinar la información agroclimática correspondiente a 33 Grupos Homogéneos de Suelos y seis Grupos de Humedad, definidos con base en los estudios detallados de suelos realizados en 216,765 hectáreas de la parte plana del valle del Río Cauca, y en el balance hidrológico regional calculado con una probabilidad de exceso de 75%. La nomenclatura de las zonas agroecológicas está definida por un número inicial entre 1 y 33 que representa el Grupo Homogéneo de Suelos, seguido de la letra “H” y un número entre 0 y 5 que identifica el Grupo de Humedad (Cenicaña, 2013). Esta zonificación se realizó mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG) y métodos geoestadísticos para el

análisis y resultado de los datos, resultando en 51 zonas agroecológicas donde se espera una respuesta homogénea en términos de producción para el cultivo de caña de azúcar con relación a la variedad vegetal establecida de forma idónea. Cabe resaltar que el trabajo desarrollado por Cenicaña se comprende en el valle geográfico del Río Cauca entre los municipios de Viterbo, Caldas y Santander de Quilichao, Cauca.

Recolección de Datos

La recopilación de datos es el proceso de recolección y medición de variables seleccionadas a partir de formas sistémicas establecidas. A partir de estas variables se crean indicadores que permiten responder a los interrogantes con los resultados por la transformación de estas, teniendo como objetivo principal la captura y agrupación de alta calidad, que permite la elaboración y un análisis estadístico descriptivo, el cual construye conclusiones agronómicas convincentes al planteamiento del problema para el caso de estudio. Entre los ítems que se deben tener en cuenta para una eficiente recopilación son: la selección de variables a monitorear, la creación de formularios claros y alineados con el objetivo del trabajo, permisos controlados, complementación de datos (geolocalización, códigos, fotografías y videos), formularios integrables, adopción de inteligencia artificial y gráfica, y, el procesamiento de datos de forma estratégica por medio de profesionales agrícolas y tecnológicos en una relación sinérgica que ayude al acoplamiento. Entre los principales métodos de recolección de datos agrícolas destacan el método de informante calificado, método de registro administrativo, método pirobalístico, mapeo agrícola a través del método de sensores remotos y la estimación del rendimiento (GAFAG, 2016).

Programación sin Código (No-Code)

Según la empresa (Iberdrola): la denominación no-code, o llamada también programación

visual, fue creado por la agencia de investigación de mercados Forrester Research en el año 2014. En un informe sobre las nuevas plataformas de programación suministradas al usuario, la mayoría de las herramientas “no-code” se encuentran en línea, siendo una forma de fácil acceso. La interfaz de estas plataformas se actualiza constantemente para satisfacer las necesidades en crecimiento de los usuarios, entre las que más destacan se encuentran: AppSheet, Bubble, Softr, AppMaster, Flutterflow, Andromo, Thunkable, Airtable, Glide, Webflow, Framer y Gumroad.

AppSheet

“AppSheet es una plataforma de desarrollo de aplicaciones sin código creada por Google. Permite a los usuarios transformar rápidamente sus hojas de cálculo, bases de datos y servicios web en aplicaciones completamente funcionales y personalizadas” (davinci, 2023).

Permite la creación de aplicativos sin necesidad de programar con códigos, por consiguiente, ayuda con la automatización de procesos por la aprobación de pedidos y notificaciones personalizadas, generación automática de acciones del usuario con la inteligencia artificial y el aprendizaje automático de Google, las aplicaciones creadas pueden usarse en computadoras, tabletas y móviles, integración con fuentes de datos de Google hasta Salesforce, recoge datos valiosos en línea o fuera de línea con los que puede potenciar tus procesos de forma segura entre los que destacan: la ubicación GPS, fotografías, ilustraciones, scanner de códigos, reconocimientos de caracteres tabulares, elaboración de fórmulas avanzadas y creación de sistemas predictivos por medio de la generalización del historial de acciones.

Con AppSheet podemos crear aplicaciones que requieran el registro de datos desde distintos dispositivos, usuarios y roles, por lo anterior mencionado se entiende que puede tener gestión sobre inventarios, registro de actividades de control, movimientos contables, scanner y automatización de procesos administrativos con las múltiples extensiones que tiene la plataforma

en línea.

Google Cloud Plataform (GPC)

Es el conjunto de herramientas de Google disponibles en almacenamiento nube que hasta hace un tiempo se ofrecían de forma separada. Dentro de este conjunto, se puede encontrar machine learning, inteligencia artificial y big data, que se resume en cloud computing. Esta herramienta funciona para diseñar hacer testing y ejecutar aplicaciones con mayor seguridad y adaptabilidad que otras plataformas, gracias a la infraestructura gigante de Google.

Los servicios GCP se organizan en tres grandes categorías: infraestructura como servicio (IaaS), plataforma como servicio (PaaS) y software como servicio (SaaS). Estos se dividen en cinco grupos clave:

1. Computing: Incluye herramientas como App engine, Compute engine y Kubernetes engine.

2. networking.

3. Storage: Proporciona conexión en red DNS, VPN, intervalos IP.

4. Big data: Facilita el almacenamiento de datos MySQL, NoSQL y almacenamiento de datos sin estructuración.

5. Machine learning: Incluye el aprendizaje automático, Cloud Machine Learning Engine.

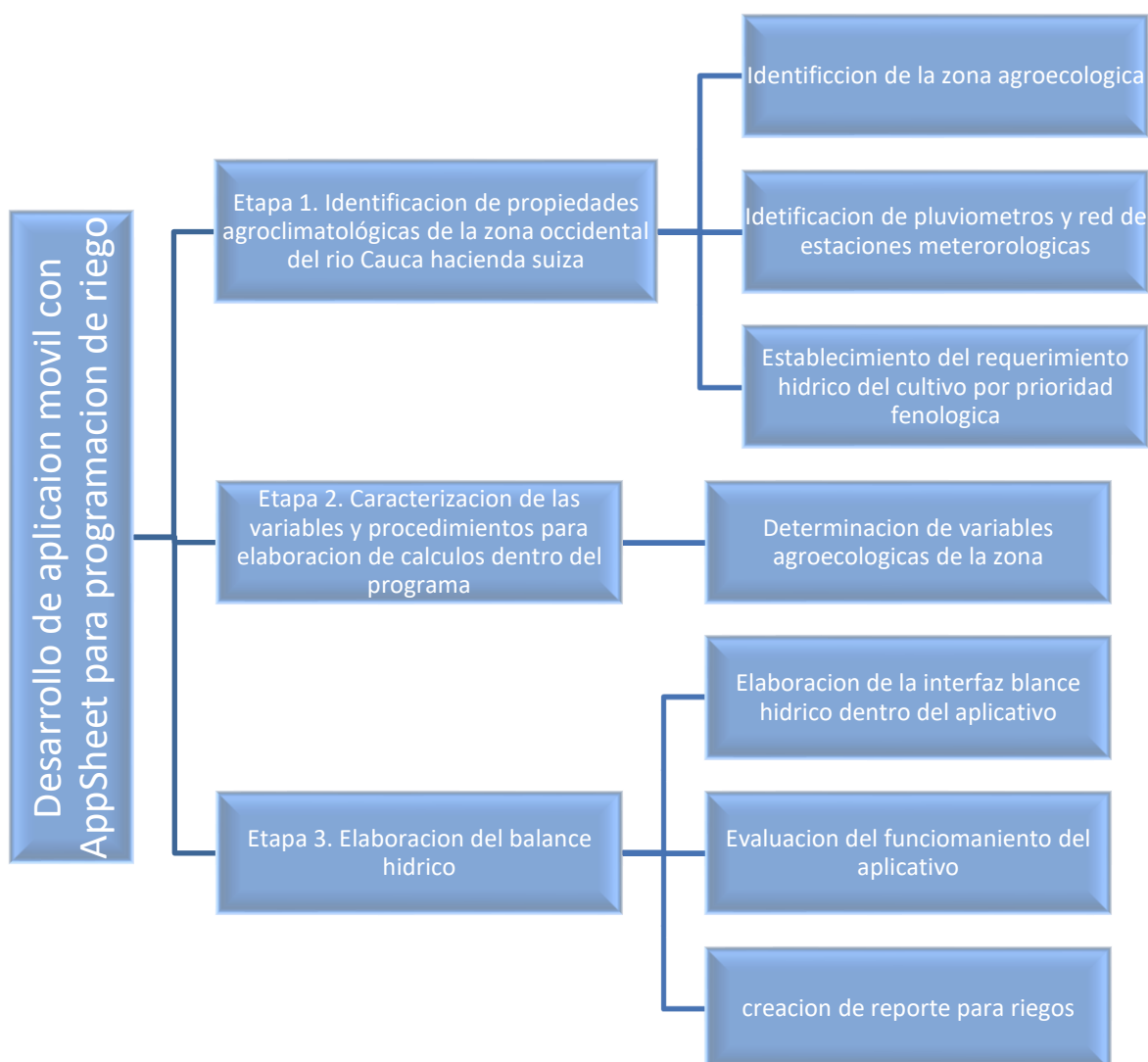
Google Cloud cuenta con tres importantes certificaciones para usuarios que este dispuestos al conocimiento que brinda esta herramienta en distintos niveles, siendo el básico la certificación de partners (conocimientos básicos de G Cloud), certificación profesional (expertos en GCP) y certificación G Suite (usuario regular de G Suite).

Metodología

En la figura 1 se resumen las distintas etapas del proyecto, con el fin de asegurar el cumplimiento en el orden de ejecución dispuesto, para garantizar la obtención de los resultados esperados con la implementación de la aplicación móvil.

Figura 1

Diagrama de ejecución de la metodología para el desarrollo de la aplicación móvil con AppSheet.



Fuente. Autoría propia (2024)

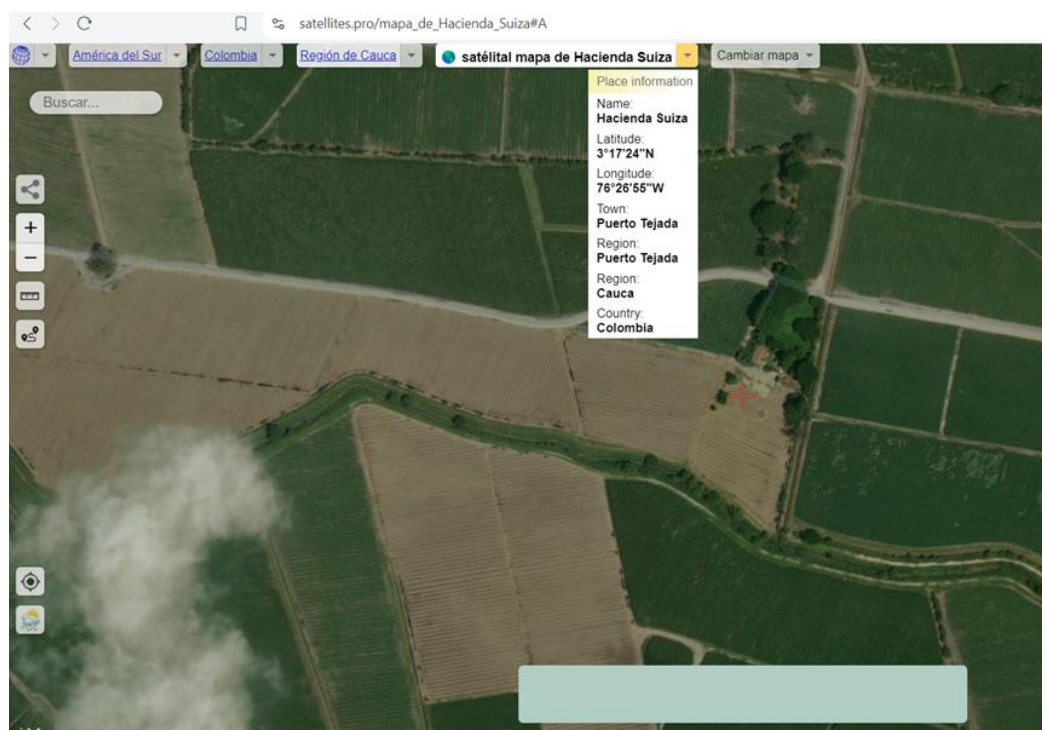
Etapas 1. Identificación de Propiedades Agroclimatológicas de la Zona Occidental del Rio Cauca Hacienda Suiza

Ubicación del Lugar Destinado para el Proyecto

La recolección de datos se realizó en la Hacienda Suiza, ubicada en el municipio de Puerto Tejada, departamento del Cauca, la cual cuenta con 256.40 ha. en caña de azúcar. Las coordenadas geográficas son $3^{\circ}17'24''N$, $-76^{\circ}26'55''W$, se obtuvieron utilizando el programa World Map (Satélite).

Figura 2

Georeferenciación en satélites.pro de la hacienda suiza.



Fuente. Autoría propia (2024), https://satellites.pro/mapa_de_Hacienda_Suiza

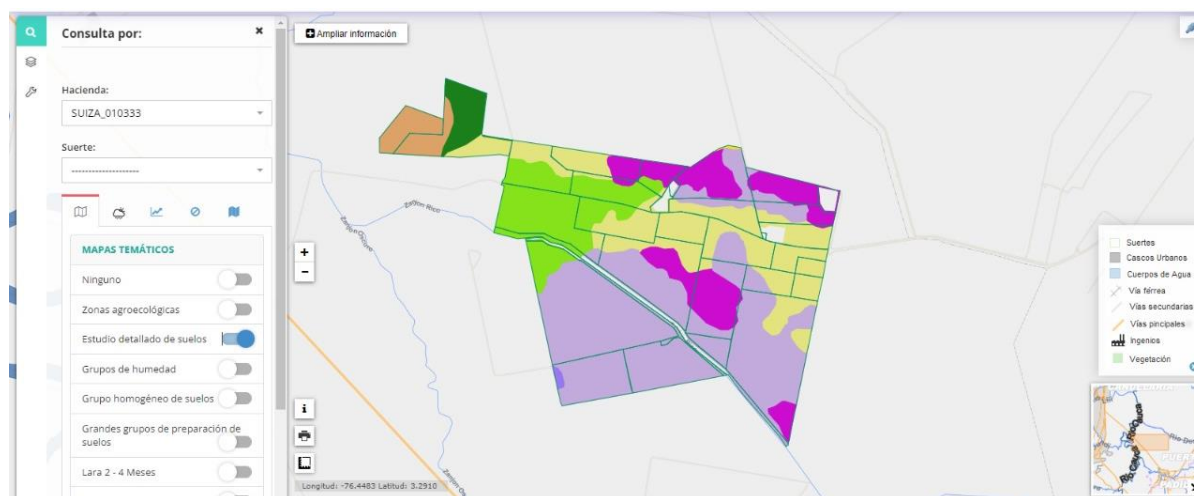
Identificación de las Zonas Agroclimatológicas

Para la identificación de los tipos de suelo presente en la hacienda suiza se hizo una verificación en la base de datos del ingenio INCAUCA S.A.S y los estudios de análisis

fisicoquímicos de laboratorios realizados por los propietarios. Sin embargo, para la identificación del grado de humedad de la zona se tuvo en cuenta el estudio de zonificación climática por balance hídrico (precipitación con probabilidad de 75% y $Kc=0.7$) y el estudio detallado de suelos, cartografía a escala 1:10 000, georreferenciado, con leyendas descriptivas en la clasificación de suelos hasta nivel textural de acuerdo con los lineamientos del sistema taxonómico del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2003) adoptado en Colombia por el Instituto geográfico Agustín Codazzi, como criterios de zonificación se tienen en cuenta los factores de suelo y clima ordenados en 33 grupos homogéneos de suelos (definidos por el régimen de humedad y la familia textural) y en 6 grupos de humedad (definidos por el balance hídrico, la permeabilidad del suelo, la pendiente, los signos de mal drenaje y su profundidad). (Carbonell G., 2011)

Figura 3

Estudio detallado de suelos de la hacienda suiza por Cenicaña.



Fuente. Autoría propia (2024), <https://www.cenicana.org/login/>

Tabla 1

Identificación de características físicas de los tipos de suelo presentes en la suiza.

Nombre	Suerte	Área Neta (ha)	Textura	Suelo	Serie	T. Zona Agro	Edad (Meses)
SUIZA	001	5.48	FAr-FArA-FL	Manolo	INCEPTISOL	11H2	9.37
SUIZA	001B	6.30	FAr-FArA-FL	Ines	INCEPTISOL	11H2	11.05
SUIZA	001C	5.31	FAr-FArA-FL	LA SUIZA	INCEPTISOL	10H1	6.48
SUIZA	002	10.78	FAr-FArA-FL	Ines	MOLLISOL	11H2	2.93
SUIZA	003	6.28	F-FL	Manolo	MOLLISOL	11H2	0.89
SUIZA	003A	8.62	F-FA	Sinaí	MOLLISOL	11H2	2.56
SUIZA	003C	7.27	F-FA	Sinaí	MOLLISOL	11H2	2.63
SUIZA	003S	2.00	FAr-FArA-FL	Ines	MOLLISOL	11H2	6.48
SUIZA	003Z	1.50	FAr-FArA-FL	Ines	MOLLISOL	11H2	6.41
SUIZA	004	8.97	F-FL	Manolo	MOLLISOL	11H2	0.46
SUIZA	004A	1.66	F-FL	Manolo	MOLLISOL	11H2	0.20
SUIZA	004B	2.45	F-FL	Manolo	MOLLISOL	11H2	6.51
SUIZA	004C	0.95	F-FL	Manolo	MOLLISOL	11H2	9.67
SUIZA	005	2.29	F-FL	Manolo	INCEPTISOL	11H2	0.79
SUIZA	005B	31.58	FAr-FArA-FL	LA SUIZA	INCEPTISOL	10H2	14.93
SUIZA	005Z	4.20	F-FL	Manolo	INCEPTISOL	11H2	13.97
SUIZA	006	13.03	FAr-FArA-FL	Ines	INCEPTISOL	11H2	2.53
SUIZA	006B	2.58	FAr-FArA-FL	LA SUIZA	INCEPTISOL	10H2	6.15
SUIZA	007	4.92	F-FL	Manolo	MOLLISOL	11H2	3.48
SUIZA	007A	4.37	F-FL	Manolo	INCEPTISOL	11H2	12.43
SUIZA	007T	7.37	FAr-FArA-FL	LA SUIZA	INCEPTISOL	10H2	2.99
SUIZA	008R	6.60	F-FL	Manolo	MOLLISOL	11H2	7.56
SUIZA	008S	3.06	F-FL	Manolo	MOLLISOL	11H2	13.55
SUIZA	008T	0.84	F-FL	Ines	MOLLISOL	11H2	6.31
SUIZA	008X	0.62	F-FL	LA SUIZA	MOLLISOL	10H2	9.44
SUIZA	008Y	5.77	F-FL	LA SUIZA	MOLLISOL	10H2	9.44
SUIZA	008Z	2.05	F-FL	LA SUIZA	MOLLISOL	10H2	9.44
SUIZA	009	8.99	F-FA	Sinaí	MOLLISOL	11H2	4.50
SUIZA	009A	6.16	F-FA	Sinaí	MOLLISOL	11H2	4.34
SUIZA	010	15.10	ArA	FLORIDA	INCEPTISOL	21H4	4.34
SUIZA	010E	5.41	ArA	FLORIDA	INCEPTISOL	21H4	9.70

SUIZA	011	15.48	FAr-FArA- FL	LA SUIZA	INCEPTISOL	10H1	3.02
SUIZA	012	11.51	FAr-FArA- FL	LA SUIZA	INCEPTISOL	10H1	0.13
SUIZA	012A	0.20	FAr-FArA- FL	LA SUIZA	INCEPTISOL	10H1	11.77
SUIZA	013	10.89	FAr-FArA- FL	LA SUIZA	INCEPTISOL	10H1	12.26

Nota. La tabla muestra la distribución de áreas por cada suerte, sus estados de corte y variedad.

Fuente. Autoría propia. (2024)

Identificación de Pluviómetros y Red de Estaciones Meteorológicas

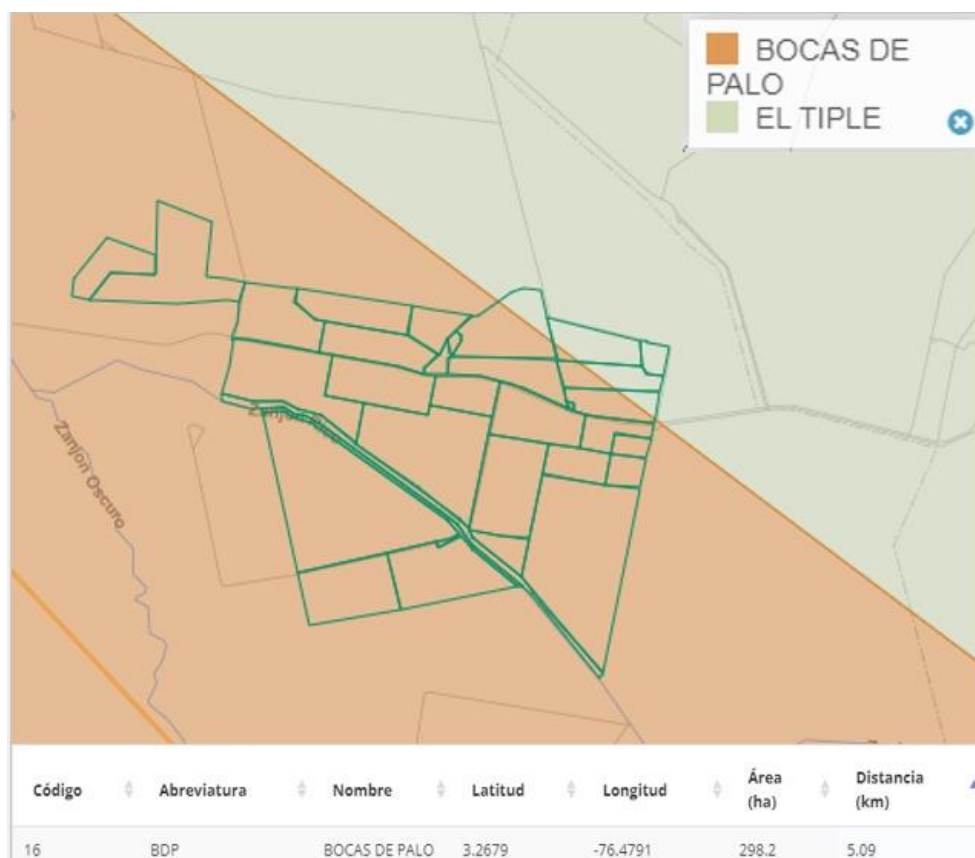
El Centro de Investigación de la Caña de Azúcar a través del tiempo y los diferentes ensayos sobre el efecto climatológico en el cultivo, clasificó en 5 grupos la cantidad de pluviómetros que debe tener una hacienda productiva:

- ≥ 50 Ha: 1 a 2 pluviómetros.
- Entre 50 a 100 Ha: 3 pluviómetros.
- Entre 100 a 200 Ha: 4 pluviómetros
- Entre 200 a 300 Ha: 5 pluviómetros.
- < 300 Ha. Se agrega 1 pluviómetro por cada 100 Ha. productivas de más.

Con relación a la red meteorológica automatizada (RMA), se identifica que la hacienda suiza tiene dentro de sus predios la estación meteorológica Bocas del Palo perteneciente a la red de Cenicaña, con lo cual se asegura la precisión de los datos obtenidos de evaporación, precipitación y brillo solar.

Figura 4

Determinación de RMA y coordenadas.



Fuente. Autoría propia (2024), <https://www.cenicana.org/login>

Establecimiento del Requerimiento Hídrico del Cultivo por Prioridad Fenológica

Para el establecimiento del requerimiento hídrico de la hacienda suiza, se priorizó la etapa fenológica del cultivo, siendo esta clasificación propiedad de Cenicaña, obtenida a partir de resultados de experimentales en pruebas regionales por el valle geográfico del Río Cauca realizado por (Cruz R., 1996).

Prioridad 1: plantillas (o cortes) y socas (≥ 1 corte) entre los 4 a 7 meses de edad.

Prioridad 2: plantillas (o cortes) y socas (≥ 1 corte) entre los 7 a 10 meses de edad.

Prioridad 3: plantillas (o cortes) y socas (≥ 1 corte) entre los 2 a 4 meses de edad.

Cabe destacar que después de los 10 meses la caña inicia su periodo de maduración con el agostamiento por lo cual no se suministra agua, ya que podría reducir la concentración de sacarosa.

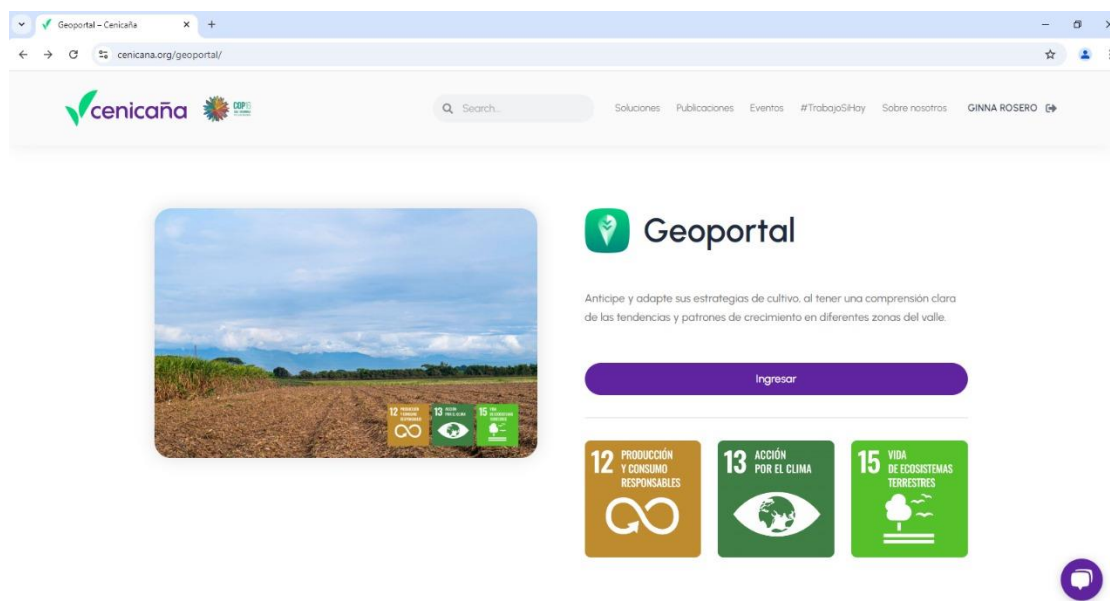
Etapa 2. Caracterización las variables y procedimientos para elaboración de cálculos dentro del programa

Determinación de Variables Agroecológicas de la Hacienda Suiza

La identificación de red meteorológica y el estudio detallado de suelos se realizó por medio de la base de datos histórica propiedad de la hacienda suiza alimentada por los estudios ejecutados dentro de la propiedad a través de los años. Además, se verificó la información accediendo a la plataforma de Cenicaña, comparando los datos de ambas fuentes para asegurar precisión.

Figura 5

Ingreso al portal de la página privada de Cenicaña para consulta de datos.



Fuente. Autoría propia (2024)

Procedimientos para Elaboración de Cálculos de las Variables Agrícolas Establecidas

Cuando se estableció la LARA Efectiva por edad, se incluyó la adición del coeficiente de transpiración por edad (K_c). Posteriormente, se realizaron las mediciones y digitaciones en el periodo de tiempo establecido del 14 al 21 de septiembre para los cálculos lógicos matemáticos con el condicional SI (expresión lógica, valor_si_verdadero, valor_si_falso) Muestra un valor si una expresión lógica es verdad y otro si es falso, empleada en los cálculos de edad hoy, LARA Efectiva por edad, coeficiente de transpiración (K) por día, precipitación efectiva por día, LARA, observación de prioridad, además se emplearon variantes de la condición SI como:

SI(O(expresión_lógica1, [expresión_lógica2, ...])), Muestra verdad si alguno de los argumentos especificados es verdadero desde el punto de vista lógico, y falso si todos los argumentos son falsos, por lo cual se empleó para los descuentos de LARA para evitar autosumas sin sentido ya que el suelo tiene capacidad para un número específico de almacenamiento denominado LARA y por ende el término saturado significa cumplir con el 100% de espacio del suelo, por ejemplo para la suerte 002 la LARA Efectiva por edad es de 24 mm si presentan 50 mm de precipitaciones efectivas la casilla debe quedar en 24 mm y si los siguientes días se presentan precipitaciones mayores a la evapotranspiración se suman hasta llegar a 24 mm ya que los excesos de agua se pierden por percolación y escorrentías, de igual forma se utiliza en el cálculo del promedio de evapotranspiración real (E_{ta}) para calcular solo los valores entre >1 y <9.7 meses de edad.

La función BUSCAR se utilizó con diferentes variaciones dependiendo de los datos que se necesitaba encontrar de riegos, precipitaciones acumulados, precipitaciones y evapotranspiración diarias ya que esta presenta la siguiente estructura:

BUSCARV(valor_búsqueda, rango_búsqueda|arreglo_resultado_búsqueda, [rango_resultado])

Busca una clave en una fila o columna ordenada, y muestra el valor de la celda en un rango de resultados ubicado en la misma posición que la fila o columna de búsqueda para trabajar con esta fórmula de forma adecuada se utilizó la concatenación de fechas + nombre hacienda + suertes + pluviómetros + evaporímetro. BUSCARX

(valor_búsqueda, rango_búsqueda, rango_resultado, [falta_valor], [modo_de_coincidencia], [modo_de_búsqueda]) Búsqueda cruzada. Muestra los valores del rango de resultados en la posición en la que se encontró una coincidencia en el rango de búsqueda se utilizó en la búsqueda de la fecha del último riego.

Las búsquedas realizadas por las diferentes fórmulas empleadas se llevan a cabo en la interfaz direccionada a las variables agrícolas que se transforman y convierten en análisis determinados por el tiempo y subconjunto de origen, por ejemplo las precipitaciones se agrupan en diarias, acumulación por 7 días y total mes, de igual forma por pluviómetro para identificación de precipitaciones en suerte, para la evaporación se realiza el conteo diaria y el promedio por semana de balance que ayuda al conteo de Eta., la digitación de riegos nos aportan la última fecha de riego y la adición del volumen aplicado.

Formulación de Cálculos de las Variables Recolectadas en Base de Datos de Google Sheets

Después de establecer la base de datos en Google Sheets, Se emplearon los modelos matemáticos propuesto, a partir de la transformación para los valores de las variables de precipitación, evapotranspiración, riegos realizados y de los valores contantes, como fechas.

Fecha Actual. = hoy()

Edad en Meses de Cultivo por Suerte. $\frac{\text{Fecha actual} - \text{Fecha ultimo corte/siembra}}{365/12}$

Concatenación Fecha Actual. CONCATENAR(hacienda; suerte; hoy() – los dias)

Concatenación Número de Suerte. *CONCATENAR(hacienda; suerte)*

Concatenación Precipitación (mm). *CONCATENAR(hacienda; pluviometro)*

Concatenación Evaporímetro (mm). *CONCATENAR(hacienda; evaporimetro)*

Precipitaciones Diarias (mm).

= buscarv(concatenacion fecha actual + hacienda

+ pluviometro; matriz base de datos precipitaciones diarias; numero de fila; busqueda exacta)

Precipitación Efectiva Diaria (mm). *SI(precipitacion diaria <= 12; * 80%; * 90%)*

Precipitaciones Acumuladas en 7 días (mm) para Periodo de Cálculo del Balance

Hídrico.

= sumar.si.conjunto(cantidad (mm); fecha precipitacion; >= fecha actual – 7dias;

< fecha actual; concatenacion hacienda pluviometro)

= buscarv(concatenacion hacienda

+ pluviometro; matriz base de datos precipitaciones diarias; numero de fila; busqueda exacta)

Precipitaciones Acumuladas por Ciclo de Cultivo (mm).

= sumar.si.conjunto(cantidad (mm); fecha precipitacion; >= fecha actual – 7dias;

< fecha actual; concatenacion hacienda pluviometro)

= buscarv(concatenacion hacienda

+ pluviometro; matriz base de datos precipitaciones diarias; numero de fila; busqueda exacta)

LARA Efectiva por Edad (mm).

SI(fecha actual <= 4; mostrar lara inferior; mostrar lara mayor)

Búsqueda de los Datos Digitados de Riego.

= *buscarv*(concatenacion hacienda
+ suerte; fecha riego; base de datos digitacion riegos; numero de fila; busqueda exacta)
SI(matriz base de datos digitacion riegos > 0; valor de busqueda; 0)
SI(fecha actual - 1 = 0; valor de busqueda; 0)

Consecutivamente hasta los 7 dias del balance hídrico.

SI($Y(\text{fecha actual} - 2 + \text{fecha actual} - 1 \geq 0; \text{echa actual} - 2 + \text{fecha actual} - 1$
 $\leq 0)$; valor de busqueda; 0)

Búsqueda de la Evapotranspiración por Día(mm).

= *buscarv*(fecha actual
- 7 dias; base de datos digitacion evaporacion diaria; numero de fila; busqueda exacta)
* coeficiente de traspiracion por edad

Descuentos de LARA por Días. (mm).

SI(busqueda de riego fecha actual - 7 dias >
= LARA Efectiva por edad; LARA Efectiva por edad; busqueda de riego fecha actual
- 7 dias)

Consecutivamente hasta los 7 dias del balance hídrico. *SI*($O(\text{precipitacion efectiva} >$
= LARA Efectiva por edad; precipitacion efectiva \geq
LARA Efectiva por edad); *SI*(fecha actual - 7 dias - echa actual - 6 dias +
precipitacion efectiva \geq
LARA Efectiva por edad; LARA Efectiva por edad; fecha actual - 7 dias -
echa actual - 6 dias + precipitacion efectiva))

Condicionales para mostrar datos

Eta. para Balance. $SI(O(\text{fecha actual} > 9.7 \text{ meses}; \text{fecha actual} < 1.0 \text{ mes}); " - "$
 $"); \text{promedio evapotranspiracion 7 dias del balance hidrico})$

LARA para Balance. $SI(Eto. " - "; " - "; LARA;)$

Prioridad de Riego en Días. $\frac{LARA}{Eto.}$

Fecha Ultimo. riego = $\text{buscarx}(\text{conctencacion hacienda} + \text{suerte}; \text{base de datos digitacion riegos}(\text{fecha ultimo riego}); ; ; -1(\text{busca de abajo hacia arriba}))$

Figura 6

Datos transformados de variables agroecológicas por edad para cada suerte de la hacienda.

The screenshot shows a Google Sheet titled "04-ZONA OCCIDENTAL". The interface includes a menu bar with options like "Archivo", "Editar", "Ver", "Insertar", "Formato", "Datos", "Herramientas", "Extensiones", and "Ayuda". Below the menu is a toolbar with icons for undo, redo, copy, paste, and other functions. The spreadsheet itself has a grid with columns for dates (14/9/2024 to 19/9/2024) and various numerical data points. The rows are organized into sections, with headers like "Suerte" and "Edad hoy". The data appears to be related to agricultural metrics such as precipitation and evapotranspiration.

Fuente. Autoría propia (2024)

Etapas 3. Elaboración del Balance Hídrico en la Interfaz de AppSheet para el Cultivo de Caña de Azúcar en la Hacienda Suiza

Elaboración de Interfaz Balance Hídrico Dentro del Aplicativo

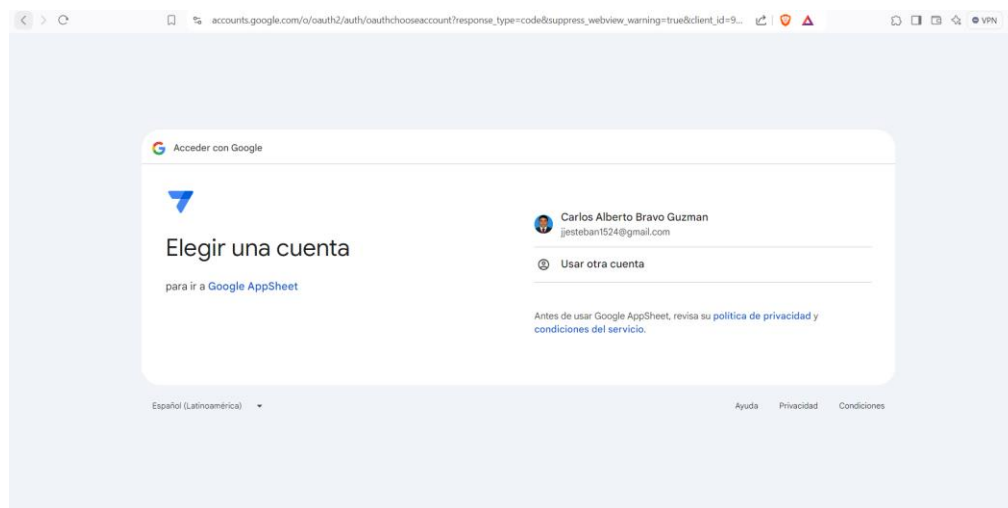
Se creo la base de datos de la aplicación en la opción Google Sheets para la interfaz balance hídrico realizada en la pantalla principal del aplicativo, a través del menú Data/New Table/Google Sheets (base de datos). Adicionalmente, ya se había realizado el mismo proceso

con los datos de precipitaciones diarias por pluviómetro, evaporación, digitación de riegos la cual genera cálculos automáticos de M3/HAC. Gastados por turno en la suerte, mantenimientos cronológicos (actualización de fechas de corte o siembra, determinación de variedad, actualización número de cortes, modificaciones de área por quemas accidentales, actualizaciones a propiedades físicas del suelo por análisis, para la determinación de la LARA Efectiva por edad de cada suerte se realizó mediante el estudio de suelos ejecutado en años anteriores con la ayuda de tensiómetros (medidores de humedad), además de correlacionarse con la base de datos presente en el portal de Cenicaña quienes han realizado el estudio de suelos con la ayuda de los departamentos de investigación de los ingenios azucareros y colonos pertenecientes a este instituto de investigación sobre la caña de azúcar.

La creación de esta interfaz además de permitir la visualización acorde al tipo de dato permite otorgar permisos de edición y visualización con relación al rol empleado dentro de la programación del riego a través del abalance hídrico, lo anterior mencionado es de gran importancia ya que al no estar expuesta la base de datos principal de la aplicación esta no tiene riesgos de sufrir cambios bruscos por eliminación o alteración por terceros.

Figura 7

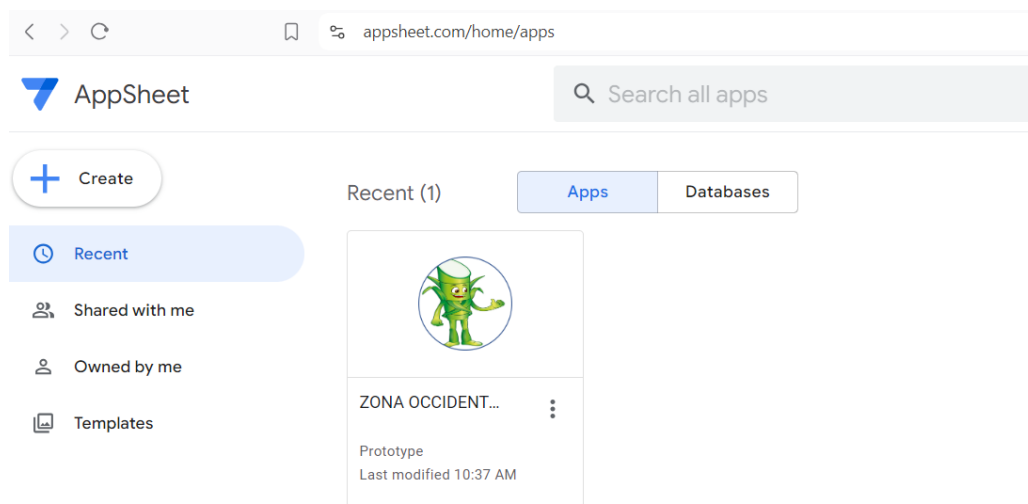
Portal de ingreso al programador de AppSheet.



Fuente. Autoría propia (2024)

Figura 8

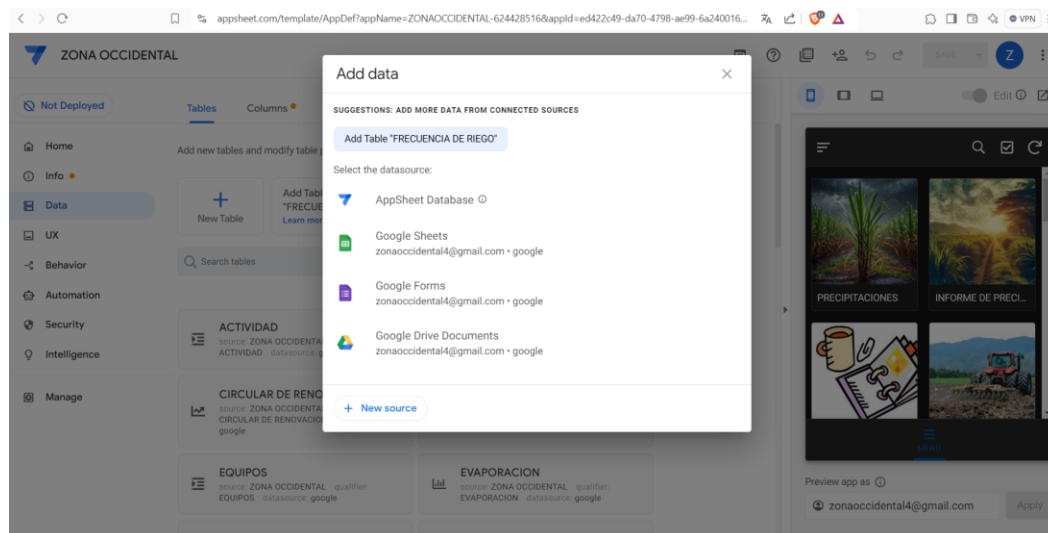
Menú de almacenamiento de aplicaciones creadas a partir del perfil seleccionado



Fuente. Autoría propia (2024)

Figura 9

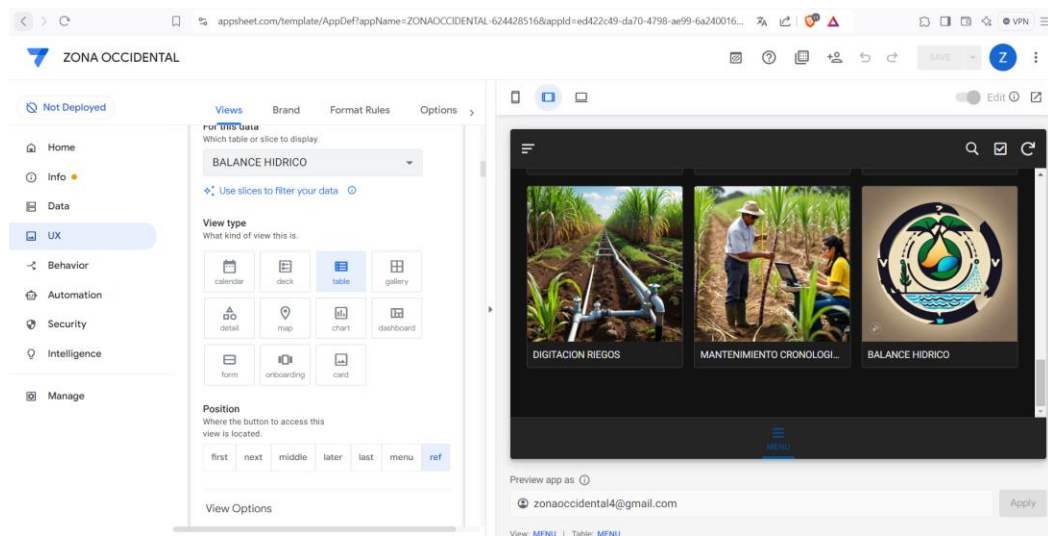
Selección de la base de datos para la creación de la aplicación móvil dentro del programador de AppSheet.



Fuente. Autoría propia (2024)

Figura 10

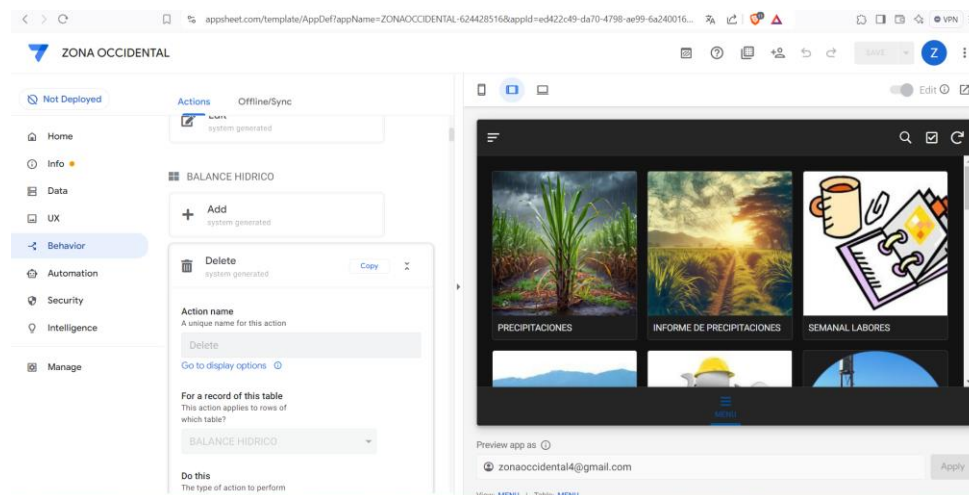
Creación del balance hídrico en la UX (vista) dentro de la aplicación móvil.



Fuente. Autoría propia (2024)

Figura 11

Creación de la Behavior (comportamiento inteligente) para las acciones de la aplicación móvil.



Fuente. Autoría propia (2024)

Evaluación del Funcionamiento del Aplicativo

El funcionamiento del aplicativo consta de dos tipos de procesos que se entrelazan para obtener el resultado final. A continuación, se definen cada uno:

Recolección de Datos Procedimiento Manual

La principal fuente de alimentación para la base de datos en los que se basó el balance hídrico en la aplicación consta de digitar las variables agrícolas de precipitación diarias obtenida del pluviómetro, evaporación diaria del tanque evaporímetro, digitación de riegos realizados en las épocas de sequía, edad y coeficiente de transpiración.

Transformación de Datos Procedimiento Automático

Este procedimiento consiste en el cálculo diario de actualización de edad a partir de la fecha actual en la que se procesan los datos del balance hídrico (hoy ()) con diferencia a la fecha de corte o siembra de la suerte. De igual forma, se realiza el cálculo automático de la evapotranspiración con la obtención de la evaporación a través de la estación meteorológica

Bocas del Palo, esto consiste en multiplicar la evaporación diaria por el coeficiente de transpiración relacionado con la edad. Adicionalmente, se calcula el promedio de evapotranspiración real (Eta), y se identifica la precipitación efectiva para cada periodo de tiempo, utilizando los datos entregados por los pluviómetros asignados, siendo una variable la cantidad de mm recogido por día para lo cual se basó en los datos investigados por Cenicña que indica el 80% de efectividad para datos < a 12 mm y el 90% para los > a 12 mm, lámina de agua del suelo (LAS), lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA), frecuencias de riego (Fr) que identifica la cantidad de días en los que se debe realizar riego para días de verano, en algunos casos será de forma inmediata porque los resultados obtenidos serán negativos debido a la ausencia de precipitación y riegos. En la Figura 13 se observa el registro de la evaporación diaria, para el evaporímetro 1004 de la estación meteorológica bocas del palo perteneciente a la red de cenicaña ubicada en los predios de la hacienda, se digita el valor de la evaporación en mm y la fecha en que se presentó para luego calcular la evapotranspiración de acuerdo con el coeficiente de transpiración del cultivo en cada suerte como indica la siguiente tabla:

Tabla 2

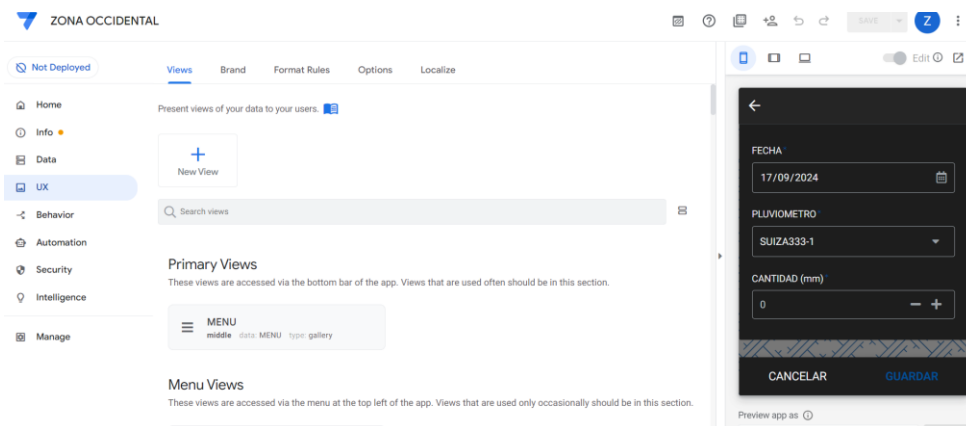
Coeficiente de transpiración por edad.

Rango de edad de la planta (Meses)	Coeficiente de transpiración (Kc)
3-4	0.4
4-5	0.6
5-6	0.7
6-8	0.8
8-9	0.7
9-10	0.6

Nota. La tabla muestra la distribución del coeficiente de transpiración por rangos de edad del cultivo de caña de azúcar. *Fuente.* Autoría propia. (2024)

Figura 12

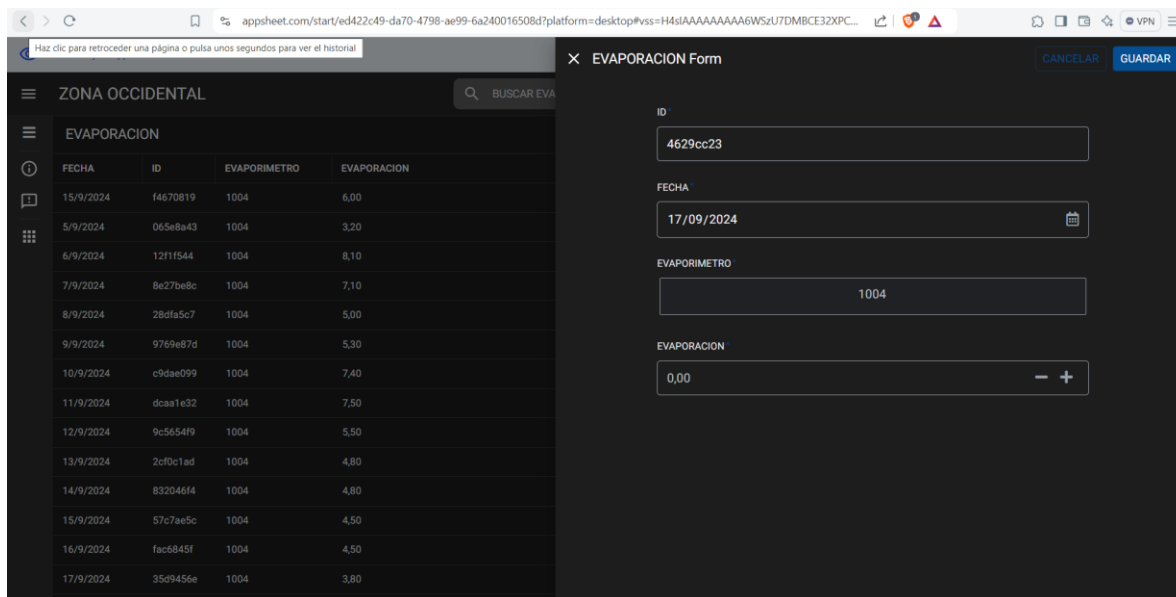
Digitación del dato de precipitaciones diarias (mm) dentro de la aplicación móvil.



Fuente. Autoría propia (2024)

Figura 13

Digitación del dato de evaporación diaria (mm) dentro de la aplicación móvil.



Fuente. Autoría propia (2024)

La Figura 14 se observa la forma en que se registran datos de riegos, donde se debe seleccionar la finca, numero de suerte, área regada, hora inicial con fecha y hora final con fecha

para cálculo automático de horas trabajadas, caudal de fuente, verificación de finalidad en riego para reiniciar balance hídrico, el cálculo de los M3/Ha. Gastados se realiza automáticamente en la interfaz.

En la Figura 15 se observa las opciones corte, renovación, disminución edad o área por bajo desarrollo, modificación de áreas perdidas o recuperadas y fecha en la que ocurre la modificación, ingreso o retiro de la suerte elegida, posteriormente al registro de los cambios se modifica automáticamente la base de datos y a su vez los cálculos del balance hídrico.

Figura 14

Digitación de los riegos diarios (mm) dentro de la aplicación móvil en verano.

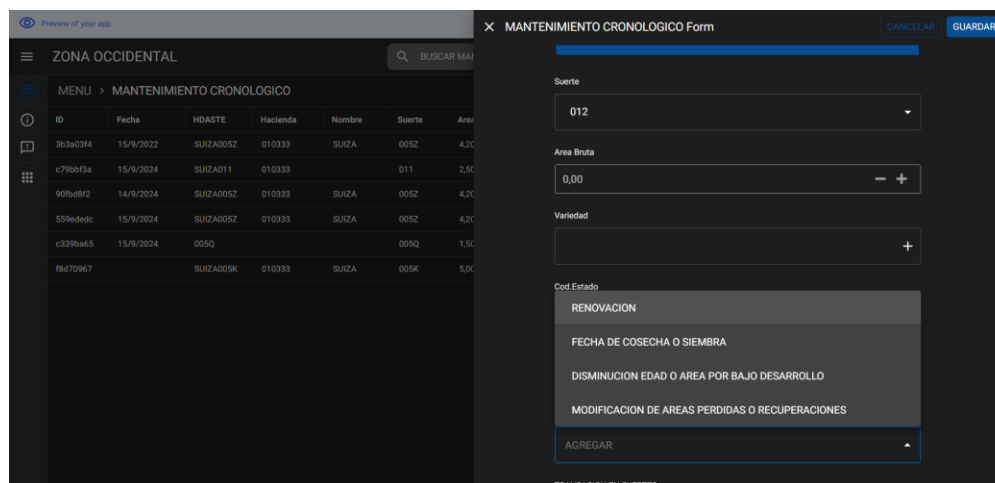
FECHA	HACIENDA	SUERTE	AREA REGADA (Hac.)	HORA INICIO	HORA FIN
13/9/2024	SUIZA	002	2,50	4/1/1900 0:00:00	20/1/1900 0:00:00
8/9/2024	SUIZA	002	2,50	4/1/1900 0:00:00	20/1/1900 0:00:00
12/9/2024	SUIZA	002	2,50	4/1/1900 0:00:00	20/1/1900 0:00:00
11/7/2024	SUIZA	001	2,50	5/1/1900 0:00:00	17/1/1900 0:00:00
7/9/2024	SUIZA	013	5,00	4/1/1900 0:00:00	22/1/1900 0:00:00
10/9/2024	SUIZA	002	3,00	11/1/1900 0:00:00	23/1/1900 0:00:00
9/9/2024	SUIZA	002	4,50	30/12/1899 10:25...	30/12/1899 22:25...
7/9/2024	SUIZA	002	2,50	30/12/1899 10:25...	30/12/1899 22:25...
7/9/2024	SUIZA	011	2,50		
7/4/2024	SUIZA	012	2,00		
7/2/2024	SUIZA	013	4,00		
7/9/2024	SUIZA	007	3,00		
9/8/2024	SUIZA	011	4,00		
8/3/2024	SUIZA	012	5,00		

FECHA	13/9/2024
HACIENDA	SUIZA
SUERTE	002
AREA REGADA (Hac.)	2,50
HORA INICIO	4/1/1900 0:00:00
HORA FIN	20/1/1900 0:00:00
CAUDAL (L/S)	95
FIN RIEGO	NO
M3/HAC	5.000,00

Fuente. Autoría propia (2024)

Figura 15

Digitación de las modificaciones del cronológico de la hacienda suiza dentro de la aplicación móvil en verano.



Fuente. Autoría propia (2024)

Creación de Reporte para Riego

A través de las actualizaciones diarias de precipitación, evaporación y datos que interfieran en la edad como el corte de la caña, la siembra, y riego en épocas de verano, se pudo calcular automáticamente le evapotranspiración acorde a la edad por el (K) al igual que la LARA efectiva. A partir de estas mediciones se creó un reporte de la prioridad de riego acorde a la necesidad del cultivo, teniendo en cuenta el tipo de suelo y la evapotranspiración. La revisión de esta información se realiza desde la interfaz de la aplicación sin necesidad de acceder a la base de datos y desde cualquier lugar donde cuentas con un dispositivo móvil. En la Figura 16 se observa la variación en las LARAS de acuerdo con la edad del cultivo de caña de azúcar para cada una de las suertes de la hacienda suiza como resultado de los diferentes análisis físicos realizados a través de los años y verificados con los datos de Cenicaña.

Figura 16

Variación de LARA con relación a la edad del cultivo presente en cada suerte.

Suerte	LARA 0 A 4 MESES mm	LARA 4.01 A 9.7 MESES mm
011	24.0	39.0
012	24.0	39.0
013	23.0	36.0
007	23.0	36.0
008	24.0	44.0
008D	24.0	43.0
009	24.0	41.0
010	24.0	44.0
010A	24.0	41.0
004B	24.0	39.0
005	23.0	36.0
005B	24.0	37.0
005Z	21.0	32.0
006	24.0	39.0
006B	24.0	39.0
003	23.0	36.0
003B	23.0	36.0
003C	24.0	44.0
003Z	24.0	43.0
004	24.0	41.0
004A	24.0	44.0
001	24.0	41.0
001B	24.0	39.0
001C	23.0	36.0
002	24.0	37.0
002A	21.0	32.0
002B	24.0	39.0

Fuente. Autoría propia (2024)

Figura 17

Establecimiento de comportamientos para los datos del balance hídrico en la aplicación móvil.

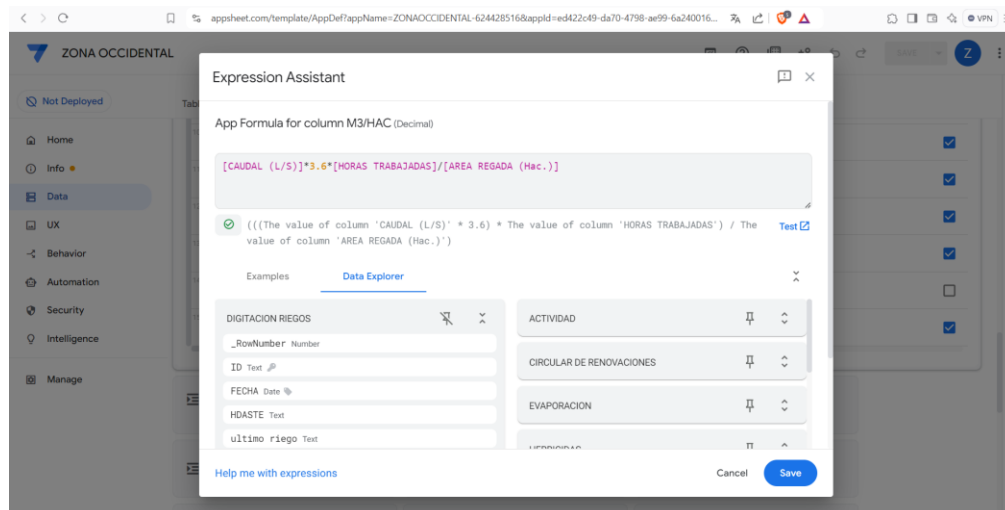
The screenshot shows the configuration interface for the 'BALANCE HIDRICO' table. A warning message states: "The spreadsheet row number is being used as a key in the table 'BALANCE HIDRICO'. It's best to include an 'ID' column in the table." The table configuration is as follows:

NAME	TYPE	KEY?	LABEL?	FORMULA	SHOW?	EDITABLE
12 Nombre	Text	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13 Suerte	Text	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14 Area Bruta	Decimal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15 Variedad	Text	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16 Cod.Estado	Number	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17 09/10/2024 00:00:00	Decimal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	=	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18 09/11/2024 00:00:00	Decimal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	=	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fuente. Autoría propia (2024)

Figura 18

Validación de cálculos para elaboración del reporte del balance hídrico de la hacienda en la aplicación móvil.



Fuente. Autoría propia (2024)

Resultados y Discusión

Características de Áreas y Estado Varietal de la Finca

El área total de la hacienda es 257.54 hectáreas, distribuidas en 27 suertes originarias en su mayoría de las 13 principales solo que en algunos casos se adiciona un literal por ejemplo suerte, madre 003 y modificación de reporte 003A, actualmente hay seis plantillas (cortes 0), la variedad CC 01-595 que representa el 33% con 85.96 Hac, la CC05-430 el 29% con 73.2 Hac, la CC11-600 EL 12% con 31.11 Hac, el ensayo de siembra de la mezcla de CC05-430 y CC11-595 (1:1) B el 12% con 31.9 Hac, la CC93-4418 el 3% con 6.49 Hac y la CC10-450 el 1% con 3.45 Hac, como se puede observar en la Tabla 1 y Grafico 1.

Tabla 3

Cronológico de la hacienda suiza.

Hacienda	Nombre	Suerte	Variiedad	Estado Ste.	Edad (meses)	Ult. Corte/Siem bra.	Área bruta (ha)
010333	SUIZA	010A	CC01-1940	Corte 5	4.04	4/1/2024	5.41
010333	SUIZA	010	CC01-1940	Corte 5	5.88	9/11/2023	15.1
010333	SUIZA	003A	CC05-430	Corte 1	2.17	1/3/2024	8.62
010333	SUIZA	003	CC05-430	Plantilla	4.24	29/12/2023	6.28
010333	SUIZA	003B	CC11-595	Corte 6	6.54	20/10/2023	3.5
010333	SUIZA	002	CC11-600	Corte 5	6.31	27/10/2023	10.81
010333	SUIZA	002B	CC05-430	Corte 1	2.20	29/2/2024	0.42
010333	SUIZA	001B	CC05-430	Corte 1	6.51	21/10/2023	6.23
010333	SUIZA	003C	CC11-600	Corte 7	6.54	20/10/2023	7.27
010333	SUIZA	002A	CC93-4418	Corte 9	4.53	20/12/2023	6.49
010333	SUIZA	001C	CC05-430	Plantilla	8.05	4/9/2023	5.4
010333	SUIZA	009	CC11-595	Corte 7	1.41	24/3/2024	15.15
010333	SUIZA	008D	CC11-595	Corte 5	6.18	31/10/2023	9.63
010333	SUIZA	007	CC01-1940	Corte 5	6.51	21/10/2023	4.92
010333	SUIZA	001	CC05-430	Corte 1	7.29	27/9/2023	5.54
010333	SUIZA	004	CC05-430	Corte 2	11.20	31/5/2023	8.97
010333	SUIZA	004B	CC10-450	Corte 6	4.47	22/12/2023	3.45
010333	SUIZA	004A	CC05-430	Corte 2	11.83	12/5/2023	1.7
010333	SUIZA	008	CC05-430	Corte 1	5.85	10/11/2023	20.85
010333	SUIZA	005Z	CC05-430	Corte 2	6.80	12/10/2023	4.2
010333	SUIZA	005	CC05-430	Corte 1	6.90	9/10/2023	2.41
010333	SUIZA	006	CC11-600	Corte 6	6.18	31/10/2023	13.03

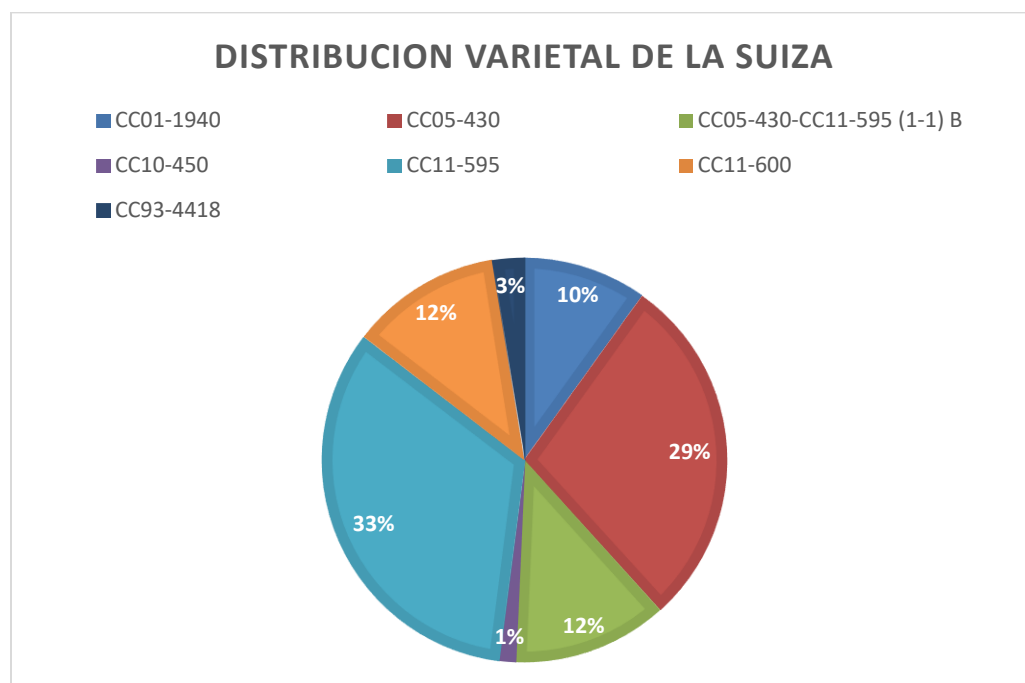
010333	SUIZA	011	CC11-595	Plantilla	2.76	12/2/2024	35.34
010333	SUIZA	006B	CC05-430	Plantilla	8.87	10/8/2023	2.58
010333	SUIZA	005B	CC05-430- CC11-595 (1-1) B	Plantilla	2.63	16/2/2024	31.9
010333	SUIZA	012	CC11-595	Plantilla	3.12	1/2/2024	11.71
010333	SUIZA	013	CC11-595	Corte 1	6.18	31/10/2023	10.63
Total							257.54

Nota. La tabla muestra la distribución de áreas por cada suerte, sus estados de corte y variedad.

Fuente. Autoría propia. (2024)

Figura 19

Áreas porcentuales de la distribución varietal de la hacienda suiza.



Fuente. Autoría propia

Distribución de las Consociaciones de los Tipos de Suelos Presentes en la Hacienda Suiza

La distribución de las consociaciones de suelos existentes en la hacienda indican que el 64% de los suelos corresponden a la familia textural fina con suelos LA SUIZA vertic-Endoquolls grupo (10), Troja udic-haplustulls grupo (11) y Sinai udic-haplustulls grupo (6),

caracterizados por presentar excesos de agua durante la mayor parte del año, es decir que se agrietan cuando se secan, razón por la cual se debe de realizar el riego de manera oportuna, el 34% es de textura francosa fina con suelos Ines (udic) pachic-haplustulls y Manolo udifluentic-haplustulls ambos del grupo (11) suelos de buen drenaje con régimen de humedad ustico sin aparentes limitaciones para el crecimiento de raíces, y el 2% restante pertenece a textura arenosa con suelo Florida Ertic-Hasplutulls grupo (22) tiene rápida permeabilidad en estos suelos se sugiere labranza mínima con poca profundidad para retener humedad en el suelo.

Tabla 4

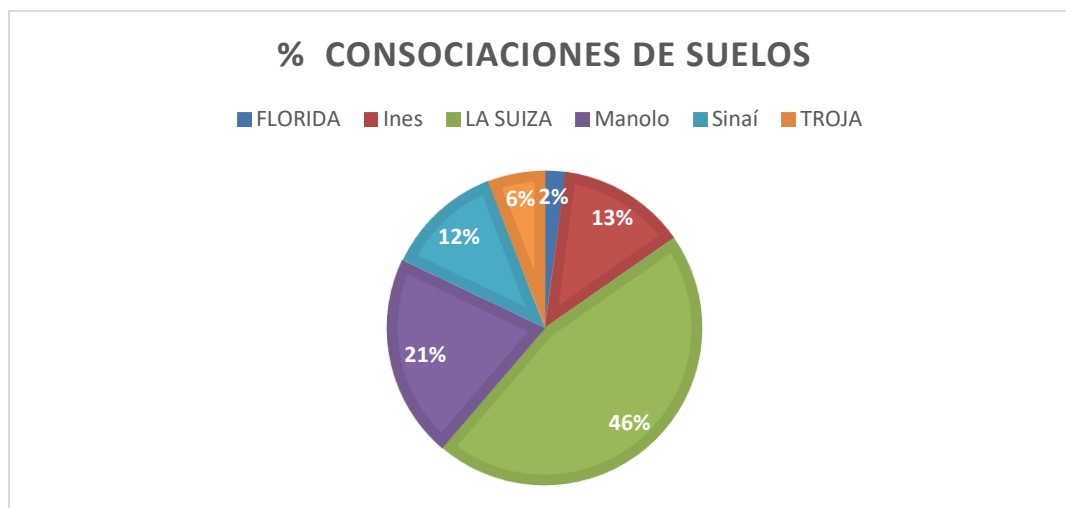
Clasificación de tipos de suelo y texturas por área.

Suelos	ArA (ha)	FAr-FArA-FL (ha)	F-FA (ha)	F-FL (ha)	(en blanco) (ha)	Total (ha)
Florida	5.41					5.41
Inés		33.99				33.99
La suiza		97.56		20.85		118.41
Manolo		5.54		41.56	6.49	53.59
Sinaí			31.04			31.04
Troja	15.1					15.1
Total	20.51	137.09	31.04	62.41	6.49	257.54

Nota. La tabla muestra la distribución de áreas por cada tipo de suelo y textura. *Fuente.* Autoría propia. (2024)

Figura 20

Áreas porcentuales de la distribución de las consociaciones de suelos en la hacienda suiza.



Fuente. Autoría propia

Distribución de las Zonas Agroecológicas de la Hacienda Suiza

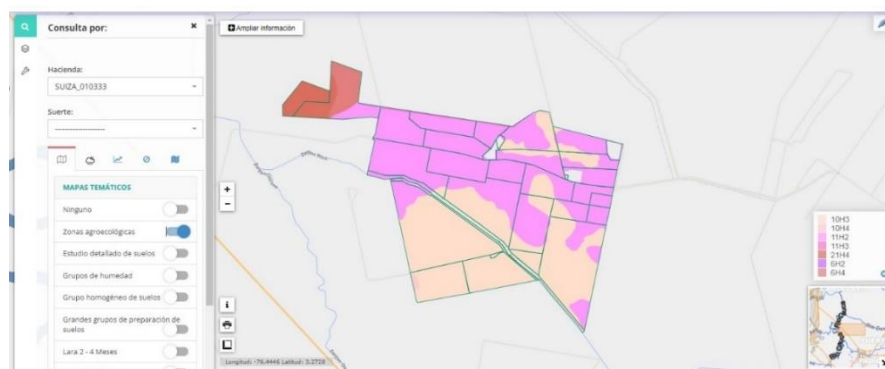
La nomenclatura de las nuevas zonas agroecológicas está definida por un número inicial entre 1 y 33 (identifica el Grupo Homogéneo de Suelos) seguido de la letra “H” unida a un número entre 0 y 5 (identifica el Grupo de Humedad) (Cenicaña, 2013).

Las zonas más representativas de la finca corresponden a las zonas agroecológicas 10H3 y 11H2. La zona agroecológica 10H3 tienen un régimen acuico donde se presentan excesos de agua durante gran parte del año en la suiza representa el 42% con 107.78 Hac del área total, la zona agroecológica 11H2 representa el 34% con 88.28 Hac estos tiene un régimen de humedad ustico moderadamente bien drenados y sin limitaciones aparentes para el desarrollo radicular de las plantas, solo el 2% perteneciente a la zona 21H4 son arenosos con 5.41 Hac, con relación a lo anterior mencionado se concluye que la producción del cultivo de caña de azúcar depende de la eficiencia que pueda llegar a tener el sistema de riego en verano y el sistema de drenaje en invierno debido a que el 64% tienen textura fina con 164.55 Hac y textura francosa fina el 34%

con 87.58 Hac siendo este último enfocado al control del nivel freático mediante drenajes superficiales o subterráneos.

Figura 21

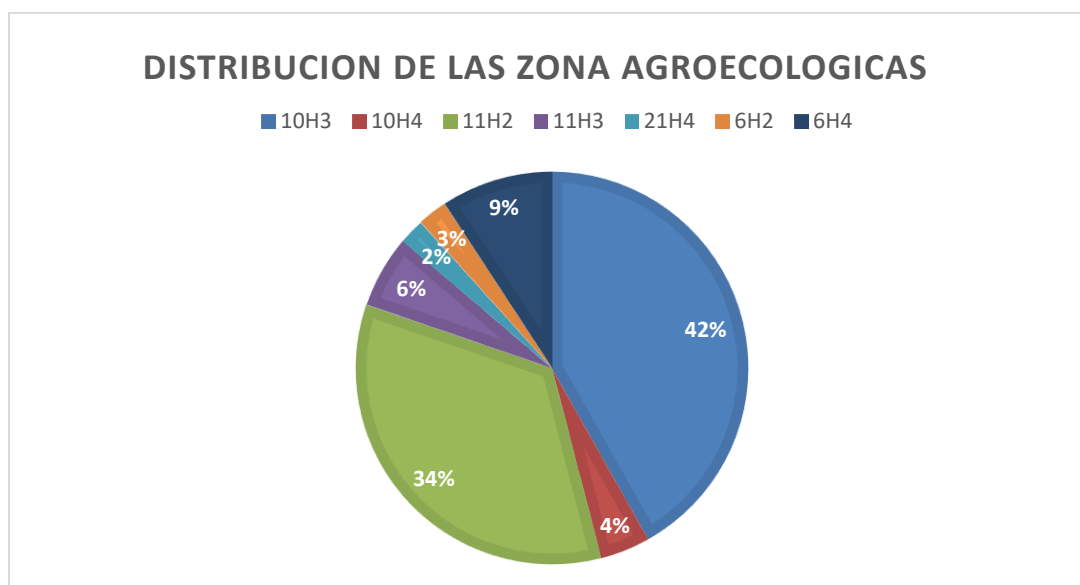
Distribución detallada de zonas agroecológicas de la hacienda suiza por Cenicaña.



Fuente. Autoría propia (2024), <https://www.cenicana.org/login/>

Figura 22

Áreas porcentuales de la distribución de las zonas agroecológicas presentes en la hacienda suiza.



Fuente. Autoría propia

Distribución de la Red de Pluviómetros de la Hacienda

Como se observa en la Figura 23 se establece que la red de pluviómetros necesita un pluviómetro adicional debido a la investigación realizada por Cenicaña, aunque por la distribución de áreas la homogeneidad de los datos tiene buena aceptabilidad.

Figura 23

Distribución de los pluviómetros en el área de la hacienda suiza.



Fuente. Autoría propia (2024), con la aplicación móvil Avenza Maps

Establecimiento de Precipitaciones por Ciclo de Cultivo para Cada Suerte

Como se observa en la Figura 24 se han dividido los datos de precipitaciones para cada suerte con relación a la fecha del último corte o siembra para tener el dato exacto por edad del ciclo vegetal teniendo en cuenta los valores aportados por cada pluviómetro y concluyendo que la hacienda presenta un promedio bajo de precipitaciones como se identifica con la suerte 001 con 11.87 meses de edad y un acumulado de 1462 mm desde el corte 27/09/2023 hasta la fecha

actual 22/09/2024.

Figura 24

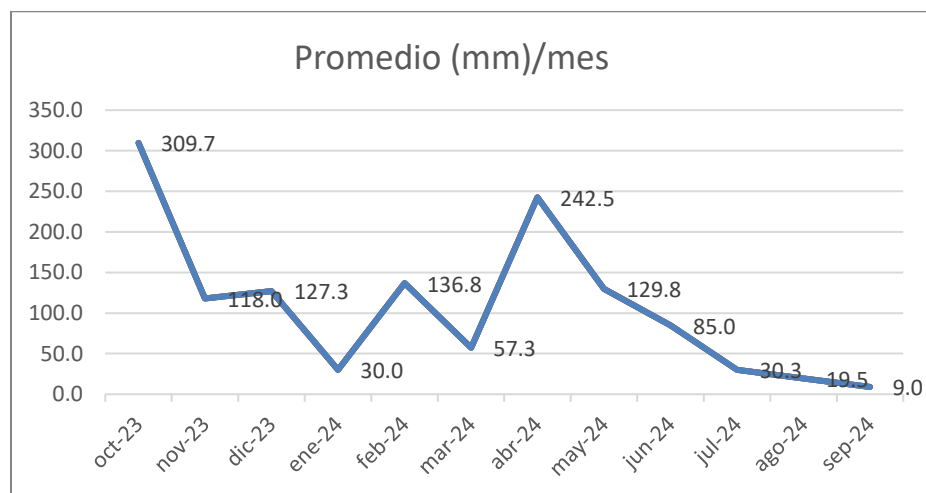
Distribución de los pluviómetros por suerte de la hacienda suiza.

Suerte	Cod.Es tado	Edad hoy	Ult.Cor/Siem.	Precipit aciones Acu. 7	Prec. Acumulado por edad mm	Pluviometro
011	0	4.44	10/05/2024	0	192	333-4
012	R	-	31/05/2024	0	141	333-3
013	0	0.66	2/9/2024	0	0	333-4
007	5	11.08	21/10/2023	0	1316	333-1
008	1	4.00	10/11/2023	0	1050	333-1
008D	5	10.75	31/10/2023	0	1104	333-1
009	7	5.98	24/03/2024	0	540	333-2
010	5	10.45	09/11/2023	0	853	333-4
010A	5	8.61	04/01/2024	0	683	333-4
004B	6	9.04	22/12/2023	0	818	333-3
005	1	11.47	09/10/2023	0	1269	333-3
005B	0	7.20	16/02/2024	0	597	333-3
005Z	2	11.38	12/10/2023	0	1227	333-3
006	6	10.75	31/10/2023	0	973	333-3
006B	0	13.45	10/08/2023	0	1426	333-3
003	1	6.74	01/03/2024	0	575	333-1
003B	6	9.11	20/12/2023	0	919	333-1
003C	7	11.11	20/10/2023	0	1316	333-1
003Z	0	8.81	29/12/2023	0	852	333-2
004	2	3.75	31/05/2024	0	179	333-1
004A	2	4.37	12/05/2024	0	217	333-3
001	1	11.87	27/09/2023	0	1462	333-1
001B	1	11.08	21/10/2023	0	1316	333-1
001C	0	2.63	04/07/2024	0	91	333-1
002	0	3.12	19/6/2024	0	127	333-1
002A	7	5.13	19/4/2024	0	471	333-1
002B	R	-	19/1/2024	0	826	333-1

Fuente. Autoría propia (2024)

Figura 25

Datos del promedio de precipitaciones (mm) presentes en la hacienda suiza 2023-2024.



Fuente. Autoría propia

Determinación de la RMA Estación Meteorológica Bocas del Palo

La RMA bocas del palo se encuentra dentro del predio suiza por lo cual esta suministra datos de temperatura, humedad relativa, radiación solar, dirección de viento, evaporación y registros históricos. Cabe destacar que los datos de precipitación fueron tomados de la red pluviométrica de la hacienda para mayor precisión y eficiencia en la transformación de estos.

Figura 26

Estación meteorológica bocas del palo



Fuente. Autoría propia (2024)

Propuesta para Balance Hídrico con Establecimiento de Prioridades

La programación del balance hídrico se realiza semanalmente de miércoles a miércoles para optimizar los tiempos de reacción a posibles déficits del cultivo en las diferentes suertes de la hacienda, teniendo en cuenta el estado de corte siendo prioritario el riego de plantillas (corte 0) por la poca profundidad del sistema radicular llegando a tener menor acceso a reservas de agua con relación a las socas (>1 corte) que alcanzan más de 50 cm de profundidad. Se genero para la semana que comprende del 14 al 20 de septiembre del 2024 en época de verano para visualizar y monitorear el 100% de las variables a medir como lo indican las ilustraciones de la interfaz de la aplicación móvil y la base de datos de esta. La RMA bocas del palo se encuentra dentro del predio suiza por lo cual esta suministra datos de temperatura, humedad relativa, radiación solar,

dirección de viento, evaporación y registros históricos. Cabe destacar que los datos de precipitación fueron tomados de la red pluviométrica de la hacienda.

Figura 27

Reporte del balance hídrico semanal en la interfaz de la aplicación móvil.

Nombre	PRIORIDAD RIEGO (DIAS)	Suerte	Area Bruta	Variedad	Cod Estado	Edad hoy	LARA Efectiva por edad	LARA	ETO	OBSERVACION	FECHA ULTIMO RIEGO
SUIZA	-7,00	011	35,34	CC11-595	0	4,31	39,00	-22,14	3,16	RIEGO INMEDIATO	8/9/2024
SUIZA	-	012	11,71	CC11-595	R	-	39,00	-	-	AREA EN RENOVACION	14/6/2024
SUIZA	-	013	10,63	CC11-595	0	0,53	23,00	-	-	EDAD MENOR PARA RIEGO	7/2/2024
SUIZA	-	007	4,92	CC01-1940	5	10,95	36,00	-	-	EDAD PARA COSECHA	7/9/2024
SUIZA	-7,00	008	20,85	CC05-430	1	4,00	24,00	-21,38	3,05	RIEGO INMEDIATO	
SUIZA	-	008D	9,63	CC11-595	5	10,62	43,00	-	-	EDAD PARA COSECHA	14/9/2024
SUIZA	7,49	009	6,21	CC11-595	7	5,85	41,00	27,63	3,69	DE 6 A 12 DIAS PARA RIEGO	14/9/2024
SUIZA	-	010	15,10	CC01-1940	5	10,32	44,00	-	-	EDAD PARA COSECHA	
SUIZA	-7,00	010A	5,41	CC01-1940	5	8,48	41,00	-25,83	3,69	RIEGO INMEDIATO	
SUIZA	-6,78	004B	3,45	CC10-450	6	8,91	39,00	-25,03	3,69	RIEGO INMEDIATO	
SUIZA	-	005	2,41	CC05-430	1	11,34	36,00	-	-	EDAD PARA COSECHA	
SUIZA	-6,81	005B	31,90	CC05-430-CC11-595	0	7,07	37,00	-28,72	4,22	RIEGO INMEDIATO	
SUIZA	-	005Z	4,20	CC05-430	2	11,24	32,00	-	-	EDAD PARA COSECHA	
SUIZA	-	006	13,03	CC11-600	6	10,62	39,00	-	-	EDAD PARA COSECHA	

Fuente. Autoría propia (2024)

Figura 28

Base datos con los cálculos condicionales del balance hídrico semanal para cada suerte de la hacienda suiza

Hacienda	Nombre	Suerte	Area Bruta	Variedad	Cod. Estado	Edad hoy	Ult. Cor. / Siem.	T. Zona Agro	Precipitaciones Acu. 7	Pluviómetro	Evaporimetr o	LARA Efectiva por edad	LARA	ETO	PRIORIDAD RIEGO (DIAS)	OBSERVACION	FECHA ULTIMO RIEGO
10333	SUIZA	011	35,34	CC11-595	0	4,27	10/05/2024	10H3	0	333-4	1004	39,00	-24,30	3,47	-7,0	RIEGO INMEDIATO	8/9/2024
10333	SUIZA	012	11,71	CC11-595	R	-	31/05/2024	10H3	1	333-3	1004	39,00	-	-	-	AREA EN RENOVACION	14/6/2024
10333	SUIZA	013	10,63	CC11-595	0	0,49	2/9/2024	10H3	0	333-4	1004	23,00	-	-	-	EDAD MENOR PARA RIEGO	7/2/2024
10333	SUIZA	007	4,92	CC01-1940	5	10,92	21/10/2023	11H2	25	333-1	1004	36,00	-	-	-	EDAD PARA COSECHA	7/9/2024
10333	SUIZA	008	20,85	CC05-430	1	4,00	10/11/2023	10H3	25	333-1	1004	24,00	-0,90	3,34	-0,3	RIEGO INMEDIATO	
10333	SUIZA	008D	9,63	CC11-595	5	10,59	31/10/2023	11H2	25	333-1	1004	43,00	-	-	-	EDAD PARA COSECHA	14/9/2024
10333	SUIZA	009	6,21	CC11-595	7	5,82	24/03/2024	11H2	2	333-2	1004	41,00	30,29	4,05	7,5	DE 6 A 12 DIAS PARA RIEGO	14/9/2024
10333	SUIZA	010	15,10	CC01-1940	5	10,29	09/11/2023	6H4	0	333-4	1004	44,00	-	-	-	EDAD PARA COSECHA	
10333	SUIZA	010A	5,41	CC01-1940	5	8,45	04/01/2024	21H4	0	333-4	1004	41,00	-28,35	4,05	-7,0	RIEGO INMEDIATO	
10333	SUIZA	004B	3,45	CC10-450	6	8,88	22/12/2023	11H2	1	333-3	1004	39,00	-27,55	4,05	-6,8	RIEGO INMEDIATO	
10333	SUIZA	005	2,41	CC05-430	1	11,31	09/10/2023	11H2	1	333-3	1004	36,00	-	-	-	EDAD PARA COSECHA	
10333	SUIZA	005B	31,90	CC05-430-CC11-595 (1-1) B	0	7,04	16/02/2024	10H3	1	333-3	1004	37,00	-31,60	4,63	-6,8	RIEGO INMEDIATO	
10333	SUIZA	005Z	4,20	CC05-430	2	11,21	12/10/2023	11H2	1	333-3	1004	32,00	-	-	-	EDAD PARA COSECHA	
10333	SUIZA	006	13,03	CC11-600	6	10,59	31/10/2023	11H2	1	333-3	1004	39,00	-	-	-	EDAD PARA COSECHA	
10333	SUIZA	006B	2,58	CC05-430	0	13,28	10/08/2023	10H3	1	333-3	1004	39,00	-	-	-	EDAD PARA COSECHA	
10333	SUIZA	003	6,28	CC05-430	1	6,58	01/03/2024	11H2	25	333-1	1004	36,00	-9,90	4,63	-2,1	RIEGO INMEDIATO	
10333	SUIZA	003B	3,5	CC11-595	6	8,94	20/12/2023	11H2	25	333-1	1004	36,00	25,29	4,05	6,2	DE 6 A 12 DIAS PARA RIEGO	11/6/2024
10333	SUIZA	003C	7,27	CC11-600	7	10,95	20/10/2023	11H2	25	333-1	1004	44,00	-	-	-	EDAD PARA COSECHA	
10333	SUIZA	003Z	8,62	CC05-430	0	8,65	29/12/2023	11H2	2	333-2	1004	43,00	-26,75	4,05	-6,6	RIEGO INMEDIATO	
10333	SUIZA	004	8,97	CC05-430	2	3,58	31/05/2024	11H2	25	333-1	1004	24,00	6,30	2,31	2,7	DE 2 A 6 DIAS PARA RIEGO	
10333	SUIZA	004A	1,7	CC05-430	2	4,21	12/05/2024	11H2	1	333-3	1004	44,00	24,94	3,26	7,7	DE 2 A 6 DIAS PARA RIEGO	15/9/2024
10333	SUIZA	001	5,54	CC05-430	1	11,70	27/09/2023	11H2	25	333-1	1004	41,00	-	-	-	EDAD PARA COSECHA	11/7/2024
10333	SUIZA	001B	6,23	CC05-430	1	10,52	21/10/2023	11H2	25	333-1	1004	39,00	-	-	-	EDAD PARA COSECHA	
10333	SUIZA	001C	5,4	CC05-430	0	2,47	04/07/2024	10H3	25	333-1	1004	23,00	10,35	1,74	6,0	DE 2 A 6 DIAS PARA RIEGO	
10333	SUIZA	002	10,81	CC11-600	0	2,96	19/6/2024	11H2	25	333-1	1004	24,00	17,97	1,74	10,4	DE 6 A 12 DIAS PARA RIEGO	14/9/2024
10333	SUIZA	002A	6,49	CC93-4418	7	4,96	19/4/2024	11H2	25	333-1	1004	32,00	22,82	3,47	6,6	DE 6 A 12 DIAS PARA RIEGO	14/9/2024
10333	SUIZA	002B	0,42	CC05-430	R	-	19/1/2024	11H2	25	333-1	1004	39,00	-	-	-	AREA EN RENOVACION	15/1/2024

Fuente. Autoría propia (2024)

Tanto en la interfaz de la aplicación como en la base de datos de esta, que se desarrolla en la hojas de cálculo de Google Sheets la cual se prioriza por la facilidad para insertar formulas condicionales lógicas que automaticen los procesos enlazando la diferente interfaz, en la sección observación se realiza la clasificación de acuerdo con la prioridad de días que llega a tener una suerte con caña en pie para realizar riego inmediato ≤ 1 día, de 2 a 6 días para riego, de 6 a 12 días para riego y más de 12 días para riego.

El signo (-) en la sección LARA significa no aplica ya que son suertes que se encuentran dentro la clasificación mencionada anteriormente a diferencia de estas los datos con valor numérico si garantizan un periodo de tiempo medido para ejecutar el riego, por ejemplo si LARA tiene un signo negativo significa que está agotada la lámina de agua rápidamente aprovechable y que el riego debe ser inmediato debido al agotamiento de las reservas de agua y por ende la disminución de la humedad en la rizosfera lo que trae como consecuencia estrés hídrico o en el peor caso el punto de marchitez permanente si no hay un riego oportuno, lo ideal es no esperar que la LARA llegue a valores inferiores al promedio de la evapotranspiración (Eta.) teniendo en cuenta que las variables climatológicas varían considerablemente como la estabilidad en las fuentes de agua por la prolongación en el tiempo del verano, debido a esto se sugiere empezar el ciclo de riego con días de anticipación para evitar déficit hídrico al cultivo que generan bajo desarrollo en las diferentes etapas fenológicas.

En el verano se debe ser muy eficiente con el recurso hídrico para tener buena frecuencia de riego como lo indique el balance semanal, esto significa tener la frecuencia de riego lo más alto posible en días garantizando más tiempo antes de llegar al punto de marchitez permanente, además por la alta cantidad de área que la hacienda tiene para regar la anticipación a las prioridades de riegos establecidas como riego inmediato y menor a 6 días para riego es la mejor

opción, es decir no dejar que el balance muestre estas prioridades para ninguna suerte dentro de la hacienda.

La aplicación fue parametrizada para ejecutar los cálculos del balance hídrico inicien a los 1.01 meses hasta los 9.7 meses de edad, motivo por el cual suertes que se encuentren dentro del rango de edad tendrán el signo (-) que significa no aplica por periodo de agostamiento que inicia después de los 9.7 meses, edad menor para riego que son las suertes con edades inferiores a 1.01 meses, y suertes que se encuentran en renovación, la parametrización se determinó de esta forma debido a la humedad preservada en campo por los residuos de cosecha que se encallan para dar espacio a la roturación de las calles limpias proporcionando aireación al sistema radicular del cultivo en el caso de las socas y estimular el proceso de rebrotes de la cepa establecida, por la zona agroecológica de la hacienda estas labores se realizan en los primeros 7 días después del corte evitando lluvias que no permitan contar con friabilidad idónea para realizar labores mecánicas dentro del lote, por su parte las plantillas la contabilización del balance inicia luego de haber realizado el riego de germinación si fuese necesario cabe recalcar que este tipo de riego es la prioridad principal dentro del balance hídrico, luego de los 9.7 meses no se riega para evitar tropiezos en el proceso de agostamiento y maduración ya que la hacienda regula el crecimiento de las plantas para obtener un mejor rendimiento en concentración de sacarosa por los requerimientos contractuales que tiene para la venta de la producción. Se toma la decisión de mostrar las suertes que cumplen estos tres parámetros para que la persona encargada de programar los riegos no caiga en el error de incluir dentro del programa alguna suerte con esta observación.

Reporte de los Cálculos del Balance Hídrico de la Hacienda la Suiza

La Figura 29 muestra la interfaz de balance hídrico en la aplicación móvil zona

occidental en AppSheet con el resumen de los cálculos efectuados en la base de datos de Google Sheets de la suerte, madre 002, además de las modificaciones 002A y 002B. el dato de Frecuencia de riego (Días) se puede verificar con la siguiente formula: $\frac{LARA}{ETO}$. En la Figura 30 se observa el descuento de LARA el cual indica los momentos de déficit para la suerte 002 dando como fecha de ultimo riego el 14/9/2024 día que inicia el conteo del balance por lo cual inicia con el 100% de su LARA Efectiva por etapa fenológica y se va disminuyendo con relación a la evapotranspiración, además de aumentar cuando se presenten precipitaciones como indica la fórmula matemática, el próximo riego par la suerte 002 seria el día 26 para no caer en riego inmediato y de esta forma prevenir el estrés por falta de agua, con esta conclusión se garantiza que la programación semanal es la idónea para evitar déficits teniendo una alta eficiencia en el manejo del recurso hídrico.

Figura 29

Reporte detallado del balance hídrico semanal en la interfaz de la aplicación móvil.

Nombre	PRIORIDAD RIEGO (DIAS)	Suerte	Area Bruta	Variedad	Cod Estado	Eda
SUIZA	7,76	002	10,81	CC11-600	0	3,09
SUIZA	3,29	002A	6,49	CC99-441B	7	5,11
SUIZA	-	002B	0,42	CC06-430	R	-

Suerte 002	
Area Bruta	10,81
Variedad	CC11-600
Cod Estado	0
Edad hoy	3,09
LARA Efectiva por edad	24,00
LARA	12,62
ETO	1,63
PRIORIDAD RIEGO (DIAS)	7,76
OBSERVACION	DE 6 A 12 DIAS PARA RIEGO
FECHA ULTIMO RIEGO	14/9/2024

Fuente. Autoría propia (2024)

Figura 30

Descuentos de LARAS en base de datos por condicionales lógicos matemáticos.

04-ZONA OCCIDENTAL

Archivo Editar Ver Insertar Formato Datos Herramientas Extensiones Ayuda

75% \$ % .0 .00 123 Predet... - 10 + B I A

BS26 =SI(0(AX26>=\$AC26,AX26>=\$AC26),\$AC26,SI(BR26-BK26+AX26>=\$AC26,\$AC26,BR26-BK26+AX26))

	L	M	N	O	W	X	AC	BM	BN	BO	BP	BO	BR	BS	BU	BV	BW	BX	BY
1	Suerte	Area Bruta	Variedad	Cod.Es tado	Edad hoy	Ult.Cor/Siem.	LARA Efectiva por edad	14/9/2024	15/9/2024	16/9/2024	17/9/2024	18/9/2024	19/9/2024	20/9/2024	LARA	ETO	PRIORIDAD RIEGO (DIAS)	OBSERVACION	FECHA ULTIMO RIEGO
26	002	10.81	CC11-600	0	3.09	19/6/2024	24.00	24.00	22.56	20.76	19.41	18.27	16.62	14.82	12.62	1.63	7.8	DE 6 A 12 DIAS PARA RIEGO	14/9/2024
27	002A	6.49	CC93-4418	7	5.10	19/4/2024	32.00	32.00	29.12	25.52	22.82	20.54	17.24	14.09	10.24	3.11	3.3	DE 2 A 6 DIAS PARA RIEGO	14/9/2024
28	002B	0.42	CC05-430	R	-	19/1/2024	39.00	0.00	-3.84	-6.64	-12.24	-15.28	-19.68	-22.83	-	-	-	AREA EN RENOVACION	15/1/2024
29	DESCUENTO DE LARA POR DIAS mm																		
30																			

Fuente. Autoría propia (2024)

Hay varios estudios donde se obtienen resultados de alerta por el mal manejo del recurso hídrico en el cultivo de caña de azúcar entre los cuales destacan los realizados por Cenicaña 2003 los cuales concluyen que un mal manejo en la programación y ejecución de los riegos puede ocasionar pérdidas en producción de hasta 7 toneladas de caña por hectárea cosechada, a su vez el ingeniero Guy Sela indica que:

“La caña de azúcar es uno de los cultivos con mayor demanda de agua y la disponibilidad de agua es el factor más importante que afecta su crecimiento. Según los estudios, los rendimientos de la caña de azúcar pueden disminuir en hasta un 70% en condiciones de sequía” (Guy Sela, 2024).

Figura 31

Registros de los riegos realizados a partir del inicio del cultivo año 2022.

Fecha Siembra/Corte	Fecha Riego	Hacienda	Nombre	Suerte	Caudal Suerte (L/Se)	Cortes	Edad Meses	Area Regada	Numero Riego/Corte	Fuente	Infraestructura	Caudal Fuente (L/Se)	Horas Trabajadas	M3 Volumen	M3/Hac.	Eficiencia Conduccion	Precipitaciones mm Acumuladas/M
12/2/2022	30/3/2022	010333	SUIZA	011	105	0	1.51	35.34	1	IC079001	IC079001	115	95	35910.0	1016.1	90.00%	0
12/2/2022	25/4/2022	010333	SUIZA	011	102	0	2.37	35.34	2	IC079001	IC079001	120	88	32313.6	914.4	82.00%	200
12/2/2022	18/5/2022	010333	SUIZA	011	105	0	3.12	35.34	3	IC079001	IC079001	115	97	36666.0	1037.5	90.00%	0
12/2/2022	8/6/2022	010333	SUIZA	011	106	0	3.81	35.34	4	IC079001	IC079001	112	90	34344.0	971.8	94.00%	25
12/2/2022	20/6/2022	010333	SUIZA	011	102	0	4.21	35.34	5	IC079001	IC079001	115	95	34884.0	987.1	87.00%	205
12/2/2022	2/8/2022	010333	SUIZA	011	100	0	5.62	35.34	6	IC079001	IC079001	105	90	32400.0	916.8	95.00%	125
12/2/2022	18/8/2022	010333	SUIZA	011	105	0	6.15	35.34	7	IC079001	IC079001	110	100	37800.0	1069.6	95.00%	210
12/2/2022	3/10/2022	010333	SUIZA	011	105	0	7.66	35.34	8	IC079001	IC079001	110	98	37044.0	1048.2	95.00%	150
12/2/2022	30/10/2022	010333	SUIZA	011	100	0	8.55	35.34	9	IC079001	IC079001	120	94	33840.0	957.6	80.00%	250
12/2/2022	18/11/2022	010333	SUIZA	011	107	0	9.17	35.34	10	IC079001	IC079001	112	99	38134.8	1079.1	95.00%	100
15/2/2023	22/3/2023	010333	SUIZA	011	105	1	1.15	35.34	1	IC079001	IC079001	120	98	37044.0	1048.2	85.00%	100
15/2/2023	9/4/2023	010333	SUIZA	011	102	1	1.74	35.34	2	IC079001	IC079001	115	99	36352.8	1028.7	87.00%	25
15/2/2023	27/4/2023	010333	SUIZA	011	105	1	2.33	35.34	3	IC079001	IC079001	115	102	38556.0	1091.0	90.00%	177
15/2/2023	15/5/2023	010333	SUIZA	011	110	1	2.93	35.34	4	IC079001	IC079001	118	110	43560.0	1232.6	92.00%	122
15/2/2023	18/7/2023	010333	SUIZA	011	108	1	5.03	35.34	5	IC079001	IC079001	118	110	42768.0	1210.2	90.00%	98
15/2/2023	6/8/2023	010333	SUIZA	011	109	1	5.65	35.34	6	IC079001	IC079001	125	89	34923.6	988.2	84.00%	209
15/2/2023	30/8/2023	010333	SUIZA	011	105	1	6.44	35.34	7	IC079001	IC079001	120	98	37044.0	1048.2	85.00%	350
15/2/2023	2/10/2023	010333	SUIZA	011	108	1	7.53	35.34	8	IC079001	IC079001	120	104	40435.2	1144.2	88.00%	189
15/2/2024	20/3/2024	010333	SUIZA	011	104	2	1.12	35.34	1	IC079001	IC079001	120	98	36691.2	1038.2	84.00%	0
15/2/2024	25/4/2024	010333	SUIZA	011	102	2	2.30	35.34	2	IC079001	IC079001	122	99	36352.8	1028.7	80.00%	0
15/2/2024	18/5/2024	010333	SUIZA	011	100	2	3.06	35.34	3	IC079001	IC079001	115	100	36000.0	1018.7	85.00%	35
15/2/2024	8/6/2024	010333	SUIZA	011	100	2	3.75	35.34	4	IC079001	IC079001	120	96	34560.0	977.9	80.00%	45
15/2/2024	9/8/2024	010333	SUIZA	011	99	2	5.79	35.34	5	IC079001	IC079001	113	102	36352.8	1028.7	86.00%	31

Fuente. Autoría propia (2024)

Figura 32

Estimativos históricos de aforos para cosecha de la suerte 011 de la suiza.

TABLA HISTORICA DE ESTIMATIVOS PRODUCCION VS COSECHA MECANICA/SUERTE													
Fecha Estimativo	Nombre	Suerte	Edad (Meses)	Area (Hac.)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Tallos/M . Lineal	Peso/Tallo (Kg.)	M. Lienales/Suerte	Toneladas Caña/Hac. (TCH) Estimad	Fecha Cosecha	Toneladas Caña/Hac. (TCH) Cosechad	
15/11/2022	Suiza	011	9.00	35.34	352	35	11	1.8	214181.82	120.0	12/2/2022	132	
10/11/2023	Suiza	011	9.08	35.34	392	34.7	10.85	1.99	214181.82	130.9	15/2/2023	140.5	
2/11/2024	Suiza	011	9.01	35.34	368	35.5	10.88	1.96	214181.82	129.2			

Fuente. Autoría propia (2024)

De acuerdo con los datos aportados en la figura 31 donde se observan los registros de riegos realizados en la suerte 011 de la suiza especificando volumen de agua gastada, además de aportar la relación de precipitaciones acumuladas por mes para cada periodo de riego durante los años 2022, 2023 y el transcurso del 2024 resaltando que para este ultimo los riegos se programaron con las prioridades que arrojaba el cálculo del balance hídrico en la aplicación móvil, presentando diferencias en las cantidades de riegos realizados desde febrero que inicia el cultivo hasta el mes de noviembre donde para el año 2022 que tuvieron un promedio de 110 mm

de precipitación realizaron 10 riegos , para el 2023 con el promedio 155.6 mm de precipitación realizaron 8 riegos y para el 2024 un promedio de 42 mm de precipitación y un total de 5 riegos realizados siendo este dato de gran relevancia ya que fue el año de menor precipitaciones y menor cantidad de riegos realizados debido a la eficiencia que ofrece la implementación de la aplicación móvil para el balance hídrico, por tal motivo se obtiene una reducción en el costo dirigido al conjunto de actividades del sistema de riego donde se reduce el 50% del costo alcanzado para el primer año y del 37.5% para el segundo año, de igual forma se ejecutan planes de monitoreo en el índice de crecimiento del cultivo y el estimativo de producción por medio de un aforo cosecha afirmando que la reducción en la cantidad de riegos realizados para el 2024 tuvo un impacto positivo para la plantación sosteniendo la producción de toneladas de caña por hectárea (TCH) de acuerdo con la figura 31 donde se indica las siguientes relaciones históricas entre estimativos de producción y datos producción por cosecha mecánica en TCH 2022 estimativo 120 cosechado 132, 2023 estimativo 130.9 cosechado 140.5 y 2024 129.2.

Basado en los datos obtenidos a partir de los 3 años que lleva la plantación de la suerte 011 se estableció que la cantidad de riegos no influye en la producción sin embargo si en los costos totales causando inflación, por lo cual la implementación de la aplicación móvil para el balance hídrico permite obtener una alta eficiencia en el manejo del recurso hídrico dirigido al riego, pasando de gastar 353.333.6 M3 en el 2022 a 179.956.8 M3 en el 2024 para el mismo periodo de tiempo en cada ciclo de cultivo con una reducción del 49%, estos resultados confirman los obtenidos por el portal español Agrotech Campus a través de sus investigaciones sobre las aplicaciones para el uso agropecuario:

En la actualidad, la agricultura y la ganadería han experimentado una revolución digital gracias a la proliferación de aplicaciones móviles diseñadas específicamente para

profesionales del campo. Estas aplicaciones se han convertido en herramientas esenciales que ofrecen a los agricultores y ganaderos información en tiempo real, lo que les permite tomar decisiones más informadas, aumentar su eficiencia y rentabilidad (AGROTECH CAMPUS, 2023)

Conclusiones

La identificación de las condiciones agroclimatológicas en la hacienda suiza, permitió establecer la necesidad de suplementar el requerimiento hídrico de forma eficiente por medio del riego para satisfacer las necesidades fisiológicas del cultivo durante el ciclo vegetativo, debido al bajo promedio anual de precipitaciones, alcanzando 1295 mm distribuido principalmente en 2 etapas de invierno comprendida por octubre 2023 y abril 2024.

Por otra parte, la caracterización de las distintas variables agrícolas permitió establecer el orden de los factores y opciones de formulación para la obtención de resultados exactos dependientes de los valores de humedad, evapotranspiración y LARA Efectiva por edad, agrupados y enlazados para cada interfaz dentro de la base de datos y aplicación móvil.

La automatización de los cálculos del balance hídrico en la base de datos permitió establecer las prioridades de acuerdo con la clasificación de edad, estado de cortes y días por disminución de LARA de manera instantánea para el tiempo semanal de las frecuencias de riego, además de tener acceso inmediato al resultado de estos cálculos mediante una visualización parametrizada para cada tipo de dato transformado en cualquier dispositivo electrónico al alcance con conexión a internet para garantizar la sincronización automática de almacenamiento con la interfaz de la aplicación.

La elección del periodo semanal para el cálculo del balance hídrico dentro de la interfaz de la aplicación permitió un óptimo establecimiento de las frecuencias de riego eficientes debido a las bajas cantidades de LARA Efectiva por edad que tienen las distintas suertes de la hacienda lo que ocasiona necesidad hídrica a máximo 10 días luego de la administración del riego.

Referencias Bibliográficas

AGROTECH CAMPUS. (s.f) aplicaciones Móviles en la Agricultura y Ganadería.

<https://agrotechcampus.com/blog/aplicaciones-moviles-en-la-agricultura/>

Alarcón M., S.L. y Cruz V., J.R. 2012. Precipitación efectiva en el cultivo de la caña de azúcar para programar riegos mediante balance hídrico. Vol. 1 p. 557-567. En: Congreso de la Asociación Azucareros de Latinoamérica y el Caribe, 8, y Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar, 9. Memorias. Cali, Colombia. Septiembre 12-14, 2012. Tecnicaña, Cali, Colombia. [Disponible en www.cenicana.org/biblioteca/catalogo_online.php].

Asocaña 2023 (s.f) Informe anual 2023-2024. www.asocana.org/documentos/2562024-B8F8FBCE-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,FFFFFF,2D2D2D,A3C4B5.pdf

Carbonell G., J.A.; Quintero D., R.; Villegas T., F. Torres A., J.S 2011. Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (cuarta aproximación). Principios metodológicos y aplicaciones. (Serie técnica N.º38) Disponible en www.cenicana.org/biblioteca/catalogo_online.php

Cenicaña 2008. Grupos homogéneos de suelos del área dedicada al cultivo de caña de azúcar en el valle del río Cauca (segunda aproximación). (Serie técnica No. 37).

Cenicaña 2013. Zonificación agroecológica (cuarta aproximación)

Cenicaña 2015. Evapotranspiración del cultivo, Cenicaña, Colombia. Disponible en:

<https://www.cenicana.org/evapotranspiracion-del-cultivo-etc/>

Cenicaña. 2015. Lámina de agua rápidamente aprovechable, LARA, Cenicaña, Colombia.

Disponible en: <https://www.cenicana.org/lamina-de-agua-rapidamente-aprovechable-lara/>

Cenicaña 2023. Informe anual, Selección de Variedades, Cenicaña, Colombia. Disponible en:

www.cenicana.org/pdf_privado/informe_anual/ia_2023/ia_2023.pdf

Cortolima (s.f) Aspectos técnicos del cultivo. Disponible en:

https://cortolima.gov.co/images/POMCA/Rio_Coello/2004/4fase/apendice/Ba-_Apendice_Plan_negocios.pdf

Cruz V., J.R 2014. Balance hídrico priorizado para la programación de los riegos en caña de azúcar Guía metodológica.

Cruz V., J.R.; Torres A., J.S.; Besosa T., R.; Gómez, J.; Pantoja, J.E. 2009. Función de K para mejorar la precisión en la programación de los riegos. p. 289-297. Disponible en www.cenicana.org/biblioteca/catalogo_online.php.

Cruz V., J.R.; Torres A., J.S.; Villegas, F. 2003. Iniciación e interpretación del balance hídrico. Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. (S.F.). Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>. S.A. CAPITULO 2: PRECIPITACIÓN. Recuperado de http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_136_147_89_1257.pdf.

Davinci 2023 (s.f) AppSheet: ¡Crea apps asombrosas sin una sola línea de código!

<https://davinci.tech/blog/appsheet-apps-codeless/>

Franco, R.; Pantoja, J.E. Siembra. En: Técnicaña. Impacto de la siembra a 1.75 m en la productividad de la caña de azúcar en el ingenio Mayagüez, Cali, Técnicaña, 2009. Disponible en

www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIG/home_4/mod_virtuales/modulo1/impacto_siembra.pdf

GAFAG 2016. Recomendaciones sobre los métodos para el acopio de datos fiables.

Proyecto “Clima, Agro y Transferencia del Riesgo”. Lima, Perú. Diciembre 2016.

Disponible en https://www.apeseg.org.pe/estado-del-arte-de-los-seguros-agrarios/biblioteca/informacion-agraria/2016_Recomendaciones-sobre-los-metodos-para-el-acopio-de-datos-fiables.pdf

González, A.; Moteno, S. Siembra. En: SciELO. Estimación del intercambio neto de CO₂ en un cultivo de caña de azúcar durante el ciclo de plantilla, Coahuila, México, Agrociencia vol.46 no.6 Texcoco ago./sep. 2012. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000600005

Guy Sela. Cropaia 2024 (s.f) Manejo de Riego en Caña de Azúcar.

<https://cropaia.com/es/blog/riego-canadeazucar/#:~:text=La%20ca%C3%B1a%20de%20az%C3%BAcar%20es,70%25%20en%20condiciones%20de%20sequ%C3%ADa.>

Iberdrola. (s.f) Que es el low code o programación sin código.

<https://www.iberdrola.com/innovacion/low-code#:~:text=Google%20proporciona%20esta%20plataforma%20de,plataformas%20basadas%20en%20la%20nube>

Procaña 2022. (s.f) Historia de la Caña. <https://procana.org/site/historia-de-la-cana/>

Procaña 2024. (s.f) La variabilidad climática y su impacto en la productividad.

<https://procana.org/site/la-variabilidad-climatica-y-su-impacto-en-la-productividad/>

Tecnicana 2024. (s.f) Top 10 de países productores de caña de azúcar en 2023-2024.

<https://tecnicana.org/2024/04/26/mercados/top-10-de-paises-productores-de-cana-de-azucar-en-2023-2024/?v=056158413026>

Torres A., J. Riegos. En: CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA, 1995. P.193-210.

Torres A., J.S.; Cruz V., J.R.; Villegas T., F. 1996. Avances técnicos para la programación y el manejo del riego en caña de azúcar. (Serie técnica N.º19) Disponible en www.cenicana.org/biblioteca/catalogo_online.php

Torres A., J.S.; Cruz V., J.R.; Villegas T., F. 2004. Avances técnicos para la programación y el manejo del riego en caña de azúcar. (Serie técnica N.º33) Disponible en www.cenicana.org/biblioteca/catalogo_online.php

Viveros, C.A.; Calderón, H. Siembra. En: Cenicaña. El cultivo de la caña de azúcar en la zona azucarera de Colombia, Cali, Cenicaña, 1995. p.131-139

YARA. (s.f) Gestión de suelos y agua en caña de azúcar. <https://acortar.link/DIWXEC>

Apéndices

Apéndice A

Tabla de referencia de la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) de 179 suelos representativos del valle del río Cauca (213,675 ha). Septiembre 2013. (Cenicaña, 2015).

Símbolo	Nombre	Subgrupo	LARA (mm)	
			2-4 meses	4-10 meses
			(0.6 m)	(0.80 m)
AF	Alto Miraflores	Udic Haplustolls	29	55
AG	Aranjuez	Entic Endoaquerts	57	82
AL	Alfaguara	Udic Haplustepts	51	64
AM	Amaime	Typic Ustifluvents	48	74
AR	Argelia	Vertic Argiustolls	50	60
AS	Asombro	Udertic Haplustalfs	50	74
AY	Arroyo	Udertic Haplustolls	49	76
BA	Basuro	Aeric Endoaquepts	58	74
BB	Brisas	Aquic Haplustepts	58	83
BC	Baltica	Aquic Argiustolls	48	58
BH	Bahía	Fluventic Eutrudepts	52	78
BL	Ballesteros	Typic Endoaquerts	58	72
BR	Britania	Typic Haplustolls	53	72
BT	Balta	Aquertic Haplustolls	50	83
BU	Burriá	Typic Endoaquerts	56	78
CA	Catorce	Aeric Endoaquerts	52	81
CB	Ceibal	Udertic Haplustalfs	50	74
CC	Cachimbilito	Fluventic Hapludolls	59	78
CD	Chontaduro	Typic Haplustolls	55	72
CE	Cerrito	Entic Haplustolls	36	48
CH	Chundular	Entic Haplustolls	43	56
CI	Cali	Cumulic Haplustolls	41	61
CK	Coke	Fluventic Haplustepts	45	65
CL	Canelo	Fluvaquentic Endoaquepts	60	80
CM	Chamburo	Fluvaquentic Haplustolls	52	77
CN	Cantarina	Pachic Vertic Haplustolls	58	80
CO	Corozo	Fluventic Eutrudepts	62	81
CT	Corintias	Typic Haplusterts	55	79
CU	Cuprecia	Aquic Hapluderts	51	91
DD	Diana	Typic Argiustolls	39	47
DL	Delicias	Udic Haplustepts	57	75
DP	Delpalo	Udifuventic Haplustepts	51	67

Símbolo	Nombre	Subgrupo	LARA (mm)	
			2-4 meses	4-10 meses
			(0.6 m)	(0.80 m)
DS	Desbaratado	Aquertic Haplustolls	50	86
EB	El Blanco	Udic Haplustolls	51	81
EE	Esperanza	Fluventic Haplustolls	49	72
EG	Egipto	Chromic Vertic Endoaqualls	65	78
EL	Escalita	Fluventic Haplustolls	52	79
EM	Esmeralda	Cumulic Haplustolls	55	69
EO	El Alto	(Ultic) Hapludalfs	32	41
ES	Esnea	Typic Haplusterts	50	70
EZ	Escocia	Fluvaquentic Haplustolls	58	79
FF	Río Fraile	Fluvaquentic Endoaquolls	43	67
FL	Florida	Entic Haplustolls	37	50
FO	La Floresta	Vertic Endoaquepts	69	90
FP	Felipeto	Aquic Argiudolls	61	81
FR	Franciscano	Aquic Haplustolls	49	64
GA	Guachené	Humic Dystrudepts	55	77
GB	Guabito	Aquic Haplustepts	56	64
GD	Guadual	Fluvaquentic Haplustolls	51	71
GH	Guachal	Pachic Haplustolls	52	72
GI	Guacará	Fluventic Haplustolls	52	74
GL	Galpón	Typic Calcisterts	54	71
GN	Génova	Entic Haplustolls	30	38
GO	Guabal	Vertic Haplustepts	50	60
GR	Granadita	Ustic Haplohumults	43	52
GU	Guadualito	Fluvaquentic Haplustolls	55	75
GV	Genovés	Pachic Haplustolls	46	66
GY	Guayabo	Fluventic Eutrudepts	69	84
HC	Ciénaga Honda	Fluvaquentic Endoaquepts	54	71
HE	Hacienda el Rhin	Fluventic Endoaquepts	58	82
HR	Hormiguero	Udifluventic Haplustepts	48	67
HV	Villas	Aquertic Eutrudepts	63	76
IE	Inés	(Udic) Pachic Haplustolls	65	89
IG	Ingenio	Aquic Haplustepts	57	76
IN	India	Udic Haplustepts	55	70
IS	Isabela	Aquertic Haplustolls	58	75
IT	Italia	Typic Argiustolls	48	67
JA	Jamaica	Fluventic Haplustepts	64	85
JE	Jerusalén	Entic Udic Haplusterts	55	61
JG	Japiogrande	Fluventic Eutrudepts	67	86
JJ	Japiodos	Fluvaquentic Endoaquepts	55	82
JN	Juanchito	Vertic Endoaquepts	54	67

Símbolo	Nombre	Subgrupo	LARA (mm)	
			2-4 meses	4-10 meses
			(0.6 m)	(0.80 m)
JO	Joya	Fluventic Haplustepts	55	74
JP	Josepilla	Fluventic Haplustepts	53	76
JR	Jordán	Typic Haplustolls	49	88
JU	Jamundí	Chromic Epiaquepts	64	91
KA	Cañas	Fluventic Eutrudepts	55	72
KB	Cabal	Aeric Fluvaquepts	54	69
KC	Caloto	Typic Palehumults	52	75
KG	Cartaguito	Vertic Haplustalfs	50	60
KJ	Cascajal	Aeric Endoaquepts	49	87
KK	Cachimbo	Udic Ustifluvents	43	63
KL	Calamar	Vertic Argiustolls	42	65
KM	Cámbulos	Udertic Haplustolls	59	78
KN	Canaima	Typic Hapluderts	69	79
KP	Campiña	Fluventic Eutrudepts	60	80
KS	Castillo	Udertic Haplustepts	52	71
KT	Corinto	(Udic) Humic Dystrustepts	56	79
KZ	Corozal	Fluvaqueptic Endoaquepts	48	77
LA	Limar	Fluventic Haplustepts	42	61
LC	La Cabaña	Typic Calciustolls	53	70
LG	Laguneta	Vertic Endoaquolls	46	72
LH	La Habana	Udic Haplustepts	56	75
LI	Lisboa	Cromic Haplusterts	59	66
LL	La Luisa	Sodic Endoaquepts	65	75
LM	Loma	Vertic Hapludalfs	45	70
LO	Lomitas	Fluvaqueptic Endoaquepts	48	62
LR	La Flor	Typic Endoaquepts	54	82
LS	La Selva	Vertic Haplustolls	49	75
MA	Margarita	Vertic Haplustepts	56	78
MC	Margarita Cruz	Typic Ustipsamments	17	23
MF	Miraflores	(Ustic) Palehumults	51	61
MI	Micoarmel	Udifluventic Haplustepts	51	72
MJ	Machín	Fluventic Dystrudepts	55	73
MK	Mónaco	Typic Endoaquepts	57	85
ML	Manolo	Udifluventic Haplustolls	47	63
MN	Manuelita	Fluventic Haplustolls	55	75
MO	Morgan	Fluventic Haplustolls	45	58
MS	Marsella	Typic Haplustepts	48	73
NA	Nariño	Typic Haplustolls	56	70
NI	Nilo	Aquertic Hapludalfs	46	54
NJ	Naranjos	Inceptic Haplustalfs	49	68

Símbolo	Nombre	Subgrupo	LARA (mm)	
			2-4 meses	4-10 meses
			(0.6 m)	(0.80 m)
NM	Nima	Entic Haplustolls	45	60
NP	Nuevo Pichichí	Typic Haplusterts	41	62
OR	Oriente	Pachic Haplustolls	45	64
OV	Ovejera	Fluvaquentic Haplustolls	40	68
PA	Palmiche	Pachic Haplustolls	54	72
PB	Porce Blum	Fluventic Haplustolls	50	75
PC	Pichichí	Vertic Argiustolls	41	62
PH	Pasoancho	Pachic Haplustolls	39	51
PI	Piedras	Chromic Haplusterts	51	71
PK	Potoco	Typic Fluvaquents	76	109
PL	Palmira	Pachic Haplustolls	50	70
PM	Palmeras	Vertic Haplustolls	53	76
PN	Pindo	Vertic Argiustolls	58	80
PO	Potrerrillo	Chromic Hapluderts	52	80
PP	Palmas	Fluventic Haplustolls	35	40
PR	Párraga	Fluventic Haplustolls	58	69
PT	Palmirita	Cumulic Haplustolls	50	70
PW	Puente Esclavos	(Udic) Humic Dystrustepts	53	82
PX	Palmito	(Udic) Pachic Haplustolls	61	72
QM	Quinamayó	Fluvaquentic Eutrudepts	49	80
RA	Rafaela	Fluvaquentic Endoaquolls	61	85
RD	Arrendo	Fluvaquentic Eutrudepts	55	72
RE	Real	Aquic Haplustepts	45	61
RF	Refugio	Entic Haplusterts	57	76
RI	Retiro	Petrocalcic Haplusterts	65	81
RJ	Río de Janeiro	Chromic Endoaquerts	50	66
RL	Río Paila	Fluventic Haplustolls	50	73
RP	Rancho Pato	Chromic Hapluderts	57	82
RR	Rita	Pachic Argiustolls	56	72
RS	Río Teta	Aquic Eutrudepts	52	74
RT	Ricaurte	Vertic Haplustolls	50	75
SA	Samán	Fluventic Haplustepts	47	87
SC	San Camilo	Typic Haplusterts	47	70
SE	Santa Elena	Entic Haplustolls	55	78
SG	San Jorge	Aquic Eutrudepts	54	71
SH	Santa Rosa	Entic Haplusterts	56	75
SK	Sinaí	Udic Haplustolls	56	86
SL	Sillero	Typic Hapludalfs	65	90
SM	San Marcos	Fluventic Haplustepts	40	61
SN	San Nicolás	Oxic Dystrudepts	58	79

Símbolo	Nombre	Subgrupo	LARA (mm)	
			2-4 meses	4-10 meses
			(0.6 m)	(0.80 m)
SP	San Pablo	Typic Calcisterts	47	63
SR	San Rafael	Entic Haplusterts	48	64
SS	San Lorenzo	Fluventic Haplustolls	55	85
ST	Santa Rita	Cumulic Haplustolls	45	67
SU	La Suiza	Vertic Endoaquolls	53	72
TB	Tibet	Chromic Endoaquerts	59	79
TE	Tesoro	Entic Haplustolls	44	64
TF	Tiftón	Vertic Eutrudepts	50	66
TI	Trinidad	Aquic Haplustepts	36	43
TL	Taula	Udic Haplusterts	69	94
TM	Timba	(Anthraquic) Dystrudepts	54	73
TR	Troja	Udic Haplustolls	51	74
TT	Tortugas	Aquertic Hapludalfs	52	84
TU	Tupia	Fluventic Haplustepts	44	73
VB	Viterbo	Aquic Hapludolls	50	78
VC	Victoria	Udertic Haplustepts	54	69
VG	Vega	Typic Ustifluents	48	83
VH	Vista Hermosa	Aeric Endoaquerts	67	85
VI	Villa	Typic Haplustepts	51	70
VM	Villa Linda	Typic Hapludolls	60	86
VP	Villa Paz	Typic Udifluents	58	80
VS	Villa Stella	Typic Dystrudepts	54	73
YM	Yumbo	Vertic Haplustepts	45	60
ZC	Zanjón Cochinito	Vertic Endoaquepts	61	84
ZJ	Zanjón Rosario	Vertic Endoaqualfs	55	84
ZP	Zanjón de Piedra	Fluvaquentic Endoaquolls	59	79
ZR	Zanjón Rozo	Fluvaquentic Endoaquepts	62	83

Nota. Se muestra la tabla de referencias de la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) para los diferentes tipos de suelo, *Fuente.* Cenicña 2013.

Apéndice B

Validación del balance hídrico

la validación del balance hídrico obtenido por los cálculos de la aplicación móvil se realiza mediante la evaluación de humedad subjetiva al tacto en muestras de suelo sacados de calicatas en diferentes puntos del terreno con medidas de 50 cm de profundidad por sistema radicular de la plantación, esta validación permite comparar las prioridades en la programación del riego aportadas por la aplicación con relación al campo.



Nota. Se muestra el monitoreo de humedad en campo y la evaluación del índice de crecimiento, durante todo el ciclo del cultivo de la variedad (CC 05-430) en la suerte 011 de la Suiza. *Fuente.*

Autoría Propia.