



AgTech 19043. Digitalización de la Agricultura de Pequeña Escala

Producto 11: Manual de Prácticas de Manejo de Humedad del Suelo

Ricardo Peña, Luis Sandoval, Luis Armando Muñoz, Oscar Estrada, Aquileo González, Wilmer Pineda

2023



Códigos JEL: Q16

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un mecanismo único de cooperación técnica entre países de América Latina, el Caribe y España, que promueve la competitividad y la seguridad alimentaria. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), FONTAGRO, de sus directorios ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por Ricardo Peña, Luis Sandoval, Luis Armando Muñoz, Oscar Estrada, Aquileo González y Wilmer Pineda.

Copyright © 2022 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

FONTAGRO

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org

www.fontagro.org



Tabla de Contenidos

Resumen.....	4
Abstract	5
Introducción	6
El agua en la producción agrícola.....	8
Importancia del agua en la agricultura	8
Movimiento de agua en el suelo.....	9
Estrés hídrico.....	10
Interpretando las gráficas generadas por la aplicación web	13
Suelo de textura arenosa con problemas de exceso de humedad.....	13
Suelo de textura franco-limosa con condición adecuada de humedad	14
Suelo de textura arcillo-limosa con déficit de humedad	14
Interpretación de la gráfica de reporte diario	15
Acciones para controlar el exceso de humedad en suelo.....	17
Construcción o mantenimiento de acequias o zanjas de drenaje	17
Descompactación de suelos.....	17
Siembra en camas o caballones	18
Siembra de materiales tolerantes a exceso de humedad.....	18
Acciones para conservar la humedad en el suelo	19
Cosecha de agua.....	19
Establecimiento de sistemas de riego.....	19
Uso de cultivos de cobertura o coberturas muertas	20
Incorporación de materia orgánica.....	20
Siembra de materiales tolerantes a sequía	21
Establecimiento de cultivos en contorno	21
Barreras vivas	21
Conclusiones.....	23
Anexos	24
Accediendo la aplicación web	24
Visualización de datos	25
Folleto para agricultores	
Instituciones participantes	28



Resumen

La agricultura moderna se enfrenta a una serie de desafíos que requieren soluciones innovadoras y sostenibles para garantizar la seguridad alimentaria, la sostenibilidad ambiental y el bienestar social. En América Latina y el Caribe, los pequeños agricultores desempeñan un papel fundamental en la producción de alimentos, el desarrollo rural y la seguridad alimentaria. Representan una gran proporción de la población agrícola y contribuyen de manera significativa a la economía de la región. Sin embargo, enfrentan desafíos complejos que requieren un enfoque integral, que incluye entre otros, la inversión en infraestructura y tecnología. La mejora de las condiciones de los pequeños agricultores es esencial para lograr una agricultura resiliente, sostenible y equitativa en la región. Para alcanzar este propósito es necesario transformar los sistemas de producción actuales a través de la inclusión y democratización de la tecnología. La agricultura digital desempeña un papel esencial en la seguridad alimentaria al mejorar la eficiencia y la productividad agrícola, reducir las pérdidas, prevenir plagas y enfermedades, optimizar la cadena de suministro y apoyar la resiliencia ante el cambio climático. Esta integración de tecnología y agricultura es fundamental para garantizar un suministro constante y de alta calidad de alimentos en un mundo en constante cambio. El monitoreo y la gestión adecuada de la humedad del suelo son fundamentales para optimizar el rendimiento de los cultivos y evitar problemas como la sequía o el encharcamiento. La humedad del suelo es un factor crucial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que afecta la disponibilidad de agua para las raíces y, por lo tanto, su capacidad para absorber nutrientes. Sin embargo, los pequeños agricultores, comúnmente, no cuentan con herramientas de bajo costo que les permitan monitorear la humedad del suelo y tomar decisiones de manejo, reflejándose en bajos rendimientos. Es así como a través del proyecto Fontagro de **Digitalización de la Agricultura de Pequeña Escala**, cuyo objetivo era mejorar las tecnologías basadas en agricultura climáticamente inteligente para productores de Colombia, Nicaragua y Honduras, se desarrolló un sensor de humedad de suelo de bajo costo, que no requiere conexión remota, lo que lo convierte en una solución tecnológica para pequeños productores y zonas con limitación de acceso a internet. También se desarrolló una aplicación que permite analizar los datos tomados por el sensor y a partir de ellos, tomar decisiones basadas en recomendaciones de manejo propuestas en este documento. La evaluación de estos dos productos mostró que la tecnología es de bajo costo, alto impacto y fácil acceso. Además, se evidenció que existe un nicho mercado que puede ser aprovechado, al mismo tiempo que se le brinda al agricultor una herramienta tecnológica práctica para la toma de decisiones.

Palabras clave: sensor de humedad de suelo, exceso hídrico, déficit hídrico, prácticas climáticamente inteligentes.



Abstract

Modern agriculture faces challenges that require innovative and sustainable solutions to ensure food security, environmental sustainability, and social well-being. Small farmers in Latin America and the Caribbean play a fundamental role in food production, rural development, and food security. They represent a large proportion of the agricultural population and contribute significantly to the region's economy. However, they face complex challenges that require a comprehensive approach, including investment in infrastructure and technology. Improving the conditions of small farmers is essential to achieve resilient, sustainable, and equitable agriculture in the region. To achieve this purpose, it is necessary to transform current production systems by democratizing access to technology. Digital agriculture is essential for food security by improving agricultural efficiency and productivity, reducing losses, preventing pests and diseases, optimizing the supply chain, and supporting resilience to climate change. Integrating technology and agriculture is critical to ensuring a consistent, high-quality food supply in an ever-changing world. Proper monitoring and management of soil moisture is critical to optimizing crop yields and avoiding problems such as drought or flooding. Soil moisture is a crucial factor for the growth and development of plants since it affects the availability of water for the roots and, therefore, their ability to absorb nutrients. However, small farmers commonly do not have low-cost tools to monitor soil moisture and make management decisions, resulting in low yields. Thus, through the Fontagro project for the Digitalization of Small-Scale Agriculture, whose objective was to improve technologies based on climate-smart agriculture for producers in Colombia, Nicaragua, and Honduras, a low-cost soil moisture sensor was developed, which does not require a remote connection, which makes it a technological solution for small producers and areas with limited Internet access. An application was also developed that allows analyzing the data taken by the sensor and, from them, making decisions based on management recommendations proposed in this document. The evaluation of these two products showed that the technology is low-cost, high-impact, and easy to access. In addition, it was evidenced that a market niche can be exploited; at the same time, the farmer is given a practical technological tool for decision-making.

Keywords: soil moisture sensor, water excess, water deficit, climate-smart practices.



Introducción

La humedad del suelo es un factor crucial en la agricultura y en la salud general de los ecosistemas terrestres. El agua es un recurso vital para el crecimiento de las plantas y la vida en la tierra, y la cantidad adecuada de humedad en el suelo es fundamental para garantizar el desarrollo saludable de las plantas y la sostenibilidad de los ecosistemas.

La humedad del suelo se refiere a la cantidad de agua presente en el suelo en relación con su capacidad máxima de retención de agua. La cantidad de humedad en el suelo varía según diversos factores, como la precipitación, la evaporación, la transpiración de las plantas, el tipo de suelo y la topografía del terreno. El conocimiento de la humedad del suelo es esencial para los agricultores, ya que les ayuda a comprender y predecir los patrones de crecimiento de las plantas, la distribución de la vegetación y los cambios en los ciclos del agua.

Una de las formas más comunes de medir la humedad del suelo es a través de sensores de humedad. Estos dispositivos se colocan en el suelo a diferentes profundidades y miden la cantidad de agua presente en forma de contenido de humedad volumétrica. Estos datos se utilizan para monitorear las condiciones del suelo, determinar los momentos óptimos para la siembra y el riego, y evitar la sobreexplotación de los recursos hídricos.

La humedad del suelo desempeña un papel crucial en el crecimiento de las plantas. Cuando el suelo está demasiado seco, las plantas pueden experimentar estrés hídrico, lo que reduce su capacidad de absorber los nutrientes necesarios para su desarrollo. Esto puede resultar en una disminución en el crecimiento, la floración y la producción de frutos. Por otro lado, un exceso de humedad en el suelo puede llevar a condiciones de encharcamiento, donde las raíces de las plantas sufren falta de oxígeno y pueden pudrirse, lo que también afecta negativamente su crecimiento. Además, el impacto en las plantas, la humedad del suelo influye en la calidad del agua subterránea. Cuando el suelo está demasiado seco, el agua de riego o la lluvia puede infiltrarse rápidamente, arrastrando consigo los nutrientes y pesticidas aplicados, lo que puede provocar la contaminación del agua subterránea. Por otro lado, un suelo excesivamente húmedo puede dar lugar a la lixiviación de los nutrientes, lo que reduce su disponibilidad para las plantas y puede causar desequilibrios en los ecosistemas acuáticos.

La información sobre la humedad del suelo también es valiosa para predecir la ocurrencia de sequías y el riesgo de incendios forestales. Los períodos prolongados de sequía pueden tener un impacto devastador en la agricultura, la flora y la fauna, y pueden desencadenar incendios forestales que pueden destruir vastas áreas de vegetación. Al monitorear y comprender la humedad del suelo, los científicos y los gestores de recursos naturales pueden anticipar y mitigar los efectos de la sequía y los incendios.

El proyecto Fontagro de **Digitalización de la Agricultura de Pequeña Escala** ha desarrollado una



solución tecnológica de bajo costo, robusta, y de alta usabilidad para el manejo de la humedad del suelo, que permite llevar la revolución de la agricultura 4.0 y digital a todos los agricultores de América Latina y El Caribe. La solución tecnológica consiste en un dispositivo que permite medir humedad de suelo, con capacidad de tomar datos hasta por seis meses en campo, y sin necesidad de conexión inalámbrica o al internet, lo que permite que sea utilizado en zonas con limitado o nulo acceso a internet e incluso sin acceso a energía eléctrica.

Como complemento a la solución tecnológica desarrollada, se creó una aplicación web de visualización de los datos colectados en campo por el dispositivo. Esta aplicación web es completamente gratuita, y así como el dispositivo, no necesita de conexión a internet para funcionar, luego de que ha sido precargada en un dispositivo, ni requiere de la instalación de ningún otro software. Una vez accedida la aplicación web a través de cualquier navegador, solo se requiere insertar la memoria microSD del dispositivo de humedad de suelo, y seleccionar el archivo csv de la misma, a través de la aplicación. La aplicación automáticamente generará un reporte gráfico y tabulará los datos recolectados por el dispositivo, que puede ser visualizado en dispositivos móviles y computadoras, o guardado como archivo pdf para su impresión y registro.

Este documento es parte de la serie de materiales que forman parte del ecosistema de la solución tecnológica, y tiene dos objetivos: (1) instruir al usuario en el uso de la aplicación web, y (2) presentar un conjunto de prácticas climáticamente inteligentes de manejo de humedad de suelo. El conjunto de prácticas no es exhaustivo, pero si apropiado para el uso e inmediata implementación por agricultores de pequeña y mediana escala.



El agua en la producción agrícola

Importancia del agua en la agricultura

El agua desempeña un papel fundamental en la producción agrícola, dado que es requerida en todas las etapas del ciclo de vida de los cultivos, desde la germinación de las semillas hasta la producción de alimentos. Adicionalmente, es esencial para el bienestar de las comunidades rurales.

Una adecuada disponibilidad de agua durante la germinación es clave en el proceso de imbibición de la semilla y la activación de los procesos metabólicos de esta etapa. Además, el agua es necesaria para el transporte de nutrientes desde el suelo hacia las raíces de las plantas, lo que garantiza un crecimiento saludable y una adecuada absorción de nutrientes.

Durante la etapa de crecimiento de los cultivos, el agua desempeña un papel vital en la fotosíntesis, proceso mediante el cual las plantas convierten el dióxido de carbono y el agua en carbohidratos empleando la energía solar. Durante la fotosíntesis, el agua ayuda a regular la apertura y cierre de los estomas, pequeños poros en las hojas a través de los cuales las plantas toman dióxido de carbono y liberan oxígeno. Sin un suministro adecuado de agua, las plantas pueden experimentar el cierre de sus estomas, lo que reduce la capacidad de fotosíntesis y afecta negativamente su crecimiento y rendimiento. Además, el agua es esencial para regular la temperatura de las plantas. A través de la transpiración, las plantas liberan agua en forma de vapor a través de sus hojas, lo que ayuda a enfriarlas y evitar el sobrecalentamiento. Este proceso es particularmente importante en climas cálidos y secos, donde las altas temperaturas pueden ser perjudiciales para las plantas. El agua actúa como un sistema de enfriamiento natural y protege a las plantas de posibles daños causados por el calor excesivo.

La disponibilidad de agua afecta directamente el rendimiento de los cultivos. La falta de agua puede provocar estrés hídrico en las plantas, lo que resulta en un crecimiento deficiente, menor producción de cultivos y pérdida de calidad. Por otro lado, el suministro adecuado de agua en cantidad y calidad óptimas puede aumentar la producción de cultivos y mejorar su calidad.

En la mayoría de las regiones de Latinoamérica, se practica una agricultura dependiente de las lluvias. Sin embargo, la variabilidad de estas causada por el cambio climático ha venido afectando la producción agrícola. Cualquier desviación de los patrones normales de lluvia puede afectar la producción agrícola de varias maneras. La falta de lluvias o sequías prolongadas puede resultar en la escasez de agua en el suelo y, en consecuencia, afectar los procesos fisiológicos de la planta. Por otro lado, las lluvias excesivas o las inundaciones pueden tener consecuencias igualmente perjudiciales para los cultivos. Las fuertes lluvias pueden saturar el suelo y provocar el encharcamiento de las raíces, lo que dificulta la absorción de oxígeno y nutrientes y puede llevar al ahogamiento de las plantas. Dicha situación resalta la importancia de realizar prácticas de



conservación de la humedad o de control del exceso de esta en el suelo.

Además de su importancia en el crecimiento de los cultivos, el agua también desempeña un papel esencial en otros aspectos de la agricultura, como la producción ganadera y el bienestar de las comunidades rurales. El agua es necesaria para satisfacer las necesidades básicas de las comunidades rurales, relacionadas con su salud, bienestar y seguridad alimentaria. Sin un suministro adecuado de agua no es posible lograr un desarrollo humano sostenible.

Movimiento de agua en el suelo

El movimiento del agua en el suelo es un proceso fundamental en el ciclo hidrológico y desempeña un papel crucial en la disponibilidad de agua para las plantas. El agua se mueve a través del suelo de varias formas, que incluyen la infiltración y la permeabilidad.

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra en el suelo desde la superficie, es decir, se refiere al movimiento del agua en forma vertical. La cantidad de agua que puede infiltrarse depende de la porosidad del suelo, que está determinada por la textura y la estructura del suelo. Los suelos arenosos tienden a tener una alta tasa de infiltración, ya que tienen espacios porosos de mayor tamaño, mientras que los suelos arcillosos tienen una menor tasa de infiltración debido a su mayor microporosidad. Por otra parte, la permeabilidad en el suelo se refiere a su capacidad para permitir o transmitir el flujo de agua en condiciones de suelo saturado; y también está influenciada por la textura del suelo, su estructura y porosidad. La materia orgánica y la compactación del suelo también afectan la permeabilidad y la infiltración. Estos dos parámetros influyen en la capacidad de drenaje del suelo, la gestión del riego y la disponibilidad de agua.

Es importante destacar que el movimiento del agua en el suelo está influenciado por varios factores, como la pendiente del terreno, la vegetación, la temperatura, la precipitación y la interacción entre el suelo y el agua. Estos factores pueden afectar la tasa de infiltración, la velocidad de percolación y el flujo subsuperficial en un área determinada.

La disponibilidad de agua para la planta dependerá de cuánta agua sea capaz de retener el suelo después de un aguacero o un riego. Para ello, el agua suministrada debe ser suficiente para reabastecer la capacidad de retención de agua del suelo, y depende a su vez, de la facilidad con que el agua se mueva dentro de este. Los suelos pueden almacenar diferente cantidad de agua dependiendo fundamentalmente de sus propiedades físicas básicas que son la textura y la estructura, y en ello también influye de manera particular el contenido de materia orgánica.

La capacidad de retención de agua del suelo es caracterizada mediante las constantes de humedad, las cuales, son valores que representan diferentes estados de contenido de humedad y ayudan a describir las características del agua en el suelo. La humedad del suelo se expresa como un porcentaje del peso (humedad gravimétrica) o volumen total del suelo (humedad



volumétrica). A continuación, se presentan las constantes de humedad más comunes:

1. Punto de saturación: es la cantidad de agua presente en el suelo cuando todos los espacios porosos están llenos de agua. Representa la máxima cantidad de agua que puede almacenar un suelo, sin permitir la presencia de agua libre. En este estado, no hay aire presente en los poros del suelo, lo que limita la disponibilidad de oxígeno para las raíces de las plantas. Esta condición puede causar estrés hídrico, deficiencias nutricionales, pudriciones radiculares y disminución de la actividad microbiana benéfica, comúnmente aeróbica.
2. Capacidad de campo: es el contenido de humedad en el suelo después de que ha drenado el exceso de agua bajo la influencia de la gravedad. En este estado, el suelo está bien drenado y contiene la cantidad máxima de agua que las plantas pueden acceder fácilmente.
3. Punto de marchitez permanente: es el nivel de humedad en el suelo en el cual las plantas no pueden extraer suficiente agua para sostener su crecimiento y desarrollo. En este punto, el suelo retiene agua en los poros más pequeños conocidos como microporos, pero en una cantidad tan baja que las plantas no pueden acceder a ella.

Estas constantes de humedad en el suelo son puntos de referencia útiles para comprender el comportamiento del agua en el suelo y para fines de riego y manejo agrícola. Es importante tener en cuenta que las constantes de humedad pueden variar según el tipo de suelo, la textura, la estructura y las condiciones climáticas.

El entendimiento del movimiento del agua en el suelo es esencial para la gestión del agua en la agricultura, la conservación del suelo y la gestión de los recursos hídricos en general.

Estrés hídrico

Se refiere a una condición en la cual las plantas experimentan una falta de agua suficiente para satisfacer sus necesidades fisiológicas normales. Ocurre cuando la demanda de agua por parte de la planta excede la cantidad de agua disponible en el suelo o cuando las condiciones ambientales dificultan la absorción de agua por parte de las raíces de las plantas. El estrés hídrico puede ser causado por diferentes factores, como la falta de precipitaciones, un suministro insuficiente de agua de riego o altas temperaturas que aumentan la evaporación.

El estrés hídrico tiene varios efectos negativos en las plantas, uno de los principales es el cierre de los estomas, las plantas para evitar la pérdida excesiva de agua a través de la transpiración cierran los estomas, pequeñas aberturas en las hojas que regulan el intercambio de gases y la transpiración. Sin embargo, este cierre reduce la capacidad de las plantas para absorber dióxido



de carbono necesario para la fotosíntesis, lo que ralentiza su crecimiento y reduce la producción de energía.

El déficit hídrico permanente o por prolongados periodos de tiempo en el suelo puede generar marchitez de las plantas. Esto se debe a la pérdida de turgencia, que es la presión interna que las células de las plantas ejercen sobre sus paredes celulares. Así mismo, si el déficit hídrico no es tan prolongado, puede darse una reducción del crecimiento y rendimiento, dado que, el estrés hídrico limita el crecimiento de las plantas al inhibir la división y expansión celular. Esto puede provocar una disminución en el tamaño de las hojas, el desarrollo de raíces superficiales y la reducción de la producción de flores y frutos. En última instancia, el estrés hídrico puede disminuir el rendimiento de los cultivos y afectar la calidad de los productos agrícolas. Y, por último, puede generar mayor susceptibilidad a enfermedades y plagas, debido a que las plantas bajo estrés hídrico son más vulnerables a estas. El estrés debilita su sistema inmunológico, lo que dificulta su capacidad para defenderse contra patógenos y organismos dañinos. Además, el estrés hídrico puede alterar el equilibrio de nutrientes en las plantas, lo que las hace más propensas a sufrir deficiencias nutricionales y enfermedades relacionadas.

El estrés hídrico también puede ocurrir por un exceso de agua en el suelo, lo que se conoce como estrés hídrico por exceso o anegamiento. Esta condición se produce cuando el suelo se satura de agua y no puede drenar adecuadamente, lo que resulta en un ambiente desfavorable para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Algunos efectos del estrés hídrico por exceso de agua son los siguientes: la falta de oxígeno, ocasionada por el exceso de agua en el suelo, lo que dificulta la disponibilidad de oxígeno para las raíces de las plantas. Las raíces necesitan oxígeno para llevar a cabo la respiración y la producción de energía. Cuando el suelo está saturado de agua, se reduce el espacio de aire entre las partículas del suelo y el oxígeno se vuelve limitado, lo que puede llevar a la asfixia radicular y dañar el sistema radicular de las plantas. Por otra parte, la reducción de la actividad radicular, provocada por exceso de agua puede inhibir el crecimiento y desarrollo de las raíces. Las raíces pueden volverse débiles y frágiles, lo que dificulta su penetración en el suelo y la absorción de nutrientes y agua; puede igualmente, disminuir la capacidad fotosintética de la planta, dado que, el exceso de agua puede limitar la capacidad de las plantas para llevar a cabo la fotosíntesis de manera eficiente. El agua en exceso puede afectar la estructura de las hojas y reducir la disponibilidad de dióxido de carbono necesario para el proceso de fotosíntesis. Por último, el exceso de agua, también, aumenta el riesgo de enfermedades, ya que crea un ambiente propicio para el desarrollo de hongos y bacterias patógenas.

Es importante destacar que el impacto del estrés hídrico puede variar según el tipo de planta, su etapa de crecimiento y las condiciones ambientales. Los agricultores deben estar preparados para hacer frente al estrés hídrico mediante prácticas de riego eficientes, selección de cultivos tolerantes a la sequía o al exceso de agua, mejoramiento del suelo a través del aumento de la



materia orgánica y de la microbiota benéfica, y el monitoreo constante de las condiciones hídricas. Algunas de estas prácticas de manejo de la humedad del suelo son discutidas más adelante.

Interpretando las gráficas generadas por la aplicación web

Suelo de textura arenosa con problemas de exceso de humedad

En la figura 1, de la aplicación web, se puede observar los tres puntos característicos de humedad que se presentan en un suelo: a) punto de marchitez permanente, el cual está representado por la línea de color rojo, por debajo de la cual (franja roja), representaría que hay un déficit de humedad; b) capacidad de campo, que está representado por la línea verde y representa la cantidad máxima de agua que las plantas pueden acceder fácilmente. La franja verde por debajo de esta línea correspondería al rango humedad deseable, en el cual se encuentra el contenido de agua del suelo que es realmente utilizable por la planta y; c) punto de saturación, que está representado por el color azul y nos indica que hay un exceso de humedad.

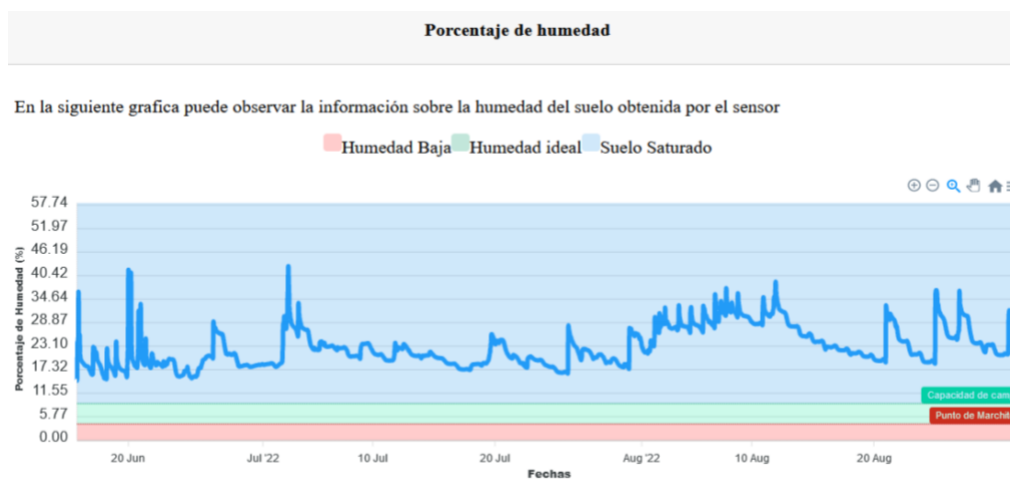


Figura 1. Gráfica tomada de la aplicación. Representa un suelo de textura arenosa con problemas de exceso de humedad.

En la gráfica se observa que, durante el tiempo que el sensor estuvo instalado, el suelo se encontró en estado de saturación o con exceso de agua, lo cual puede ser perjudicial para la mayoría de los cultivos, dado que, como ha sido explicado previamente, bajo estas condiciones los suelos presentan déficit de oxígeno, causando reducción en la absorción de la mayoría de nutrientes de las plantas y aumento en el suelo en la disponibilidad de hierro (Fe) y manganeso (Mn), los cuales en exceso pueden ser tóxicos para las plantas. Otras consecuencias como pudriciones radiculares pueden darse como resultado de condiciones prolongadas de exceso de humedad.

Conociendo esta información tomada del sensor, debemos de tomar acciones para bajar el



contenido de humedad del suelo, aplicando una o más de las acciones presentadas en este manual, por ejemplo, la elaboración de zanjas de drenaje, siembra en camas o caballones, usar cultivos resistentes al exceso de humedad, entre otros.

Suelo de textura franco-limosa con condición adecuada de humedad

En la Figura 2, se observa que el contenido de humedad del suelo durante el tiempo que el sensor estuvo instalado fue ideal, fluctuando dentro de la franja verde que representa el rango deseable o al agua aprovechable por la planta. A pesar de ello, es importante resaltar la importancia de conservar nuestros suelos a través de prácticas de manejo sostenible, tales como mantener el suelo con cobertura o protegido la mayoría del año, preferiblemente con raíces vivas de manera permanente, minimizar la alteración del suelo y aumentar la materia orgánica y la microbiota benéfica.

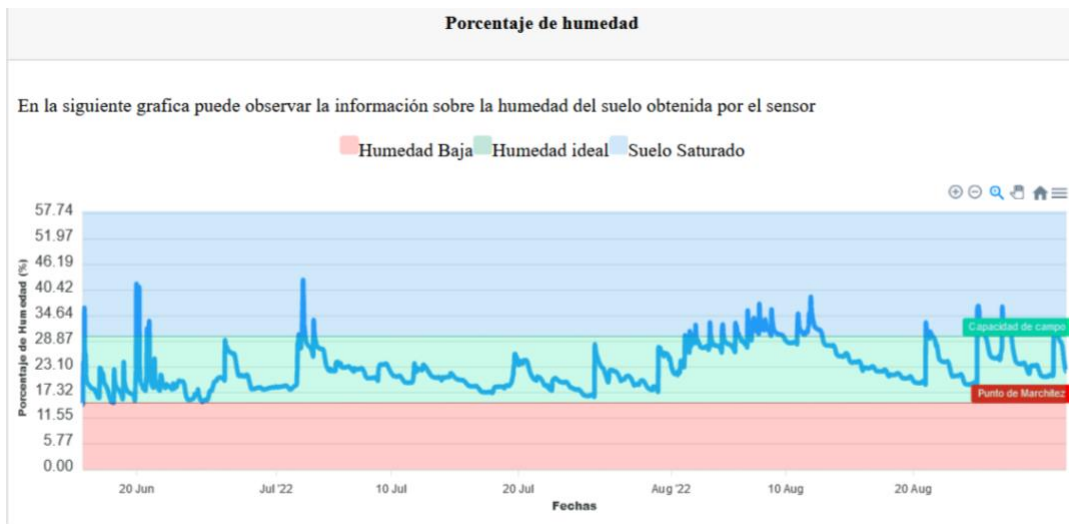


Figura 2. Gráfica tomada de la aplicación. Representa un suelo de textura franco limoso con una condición adecuada de humedad.

Suelo de textura arcillo-limosa con déficit de humedad

En la Figura 3, se puede observar el comportamiento del sensor en un suelo de textura arcillo limoso, bajo el mismo periodo de tiempo; destacándose que, el suelo se encontró bajo déficit de humedad la mayoría del tiempo, es decir, por debajo de la línea roja que representa el punto de marchitez permanente. Esta situación puede afectar drásticamente el rendimiento de los cultivos al reducir la tasa fotosintética y afectar la mayoría de las funciones vitales de la planta. Bajo condiciones de déficit hídrico, son afectados prácticamente todos los procesos fisiológicos de la planta. Bajo estas condiciones, se deben tomar medidas para mejorar el abastecimiento de agua a los cultivos y la capacidad de retención de agua del suelo. Algunas de las acciones sugeridas son presentadas en este manual, por ejemplo, el uso de cultivos de cobertura o coberturas muertas,

uso de cultivos tolerantes a sequía, incorporación de materia orgánica, entre otros.

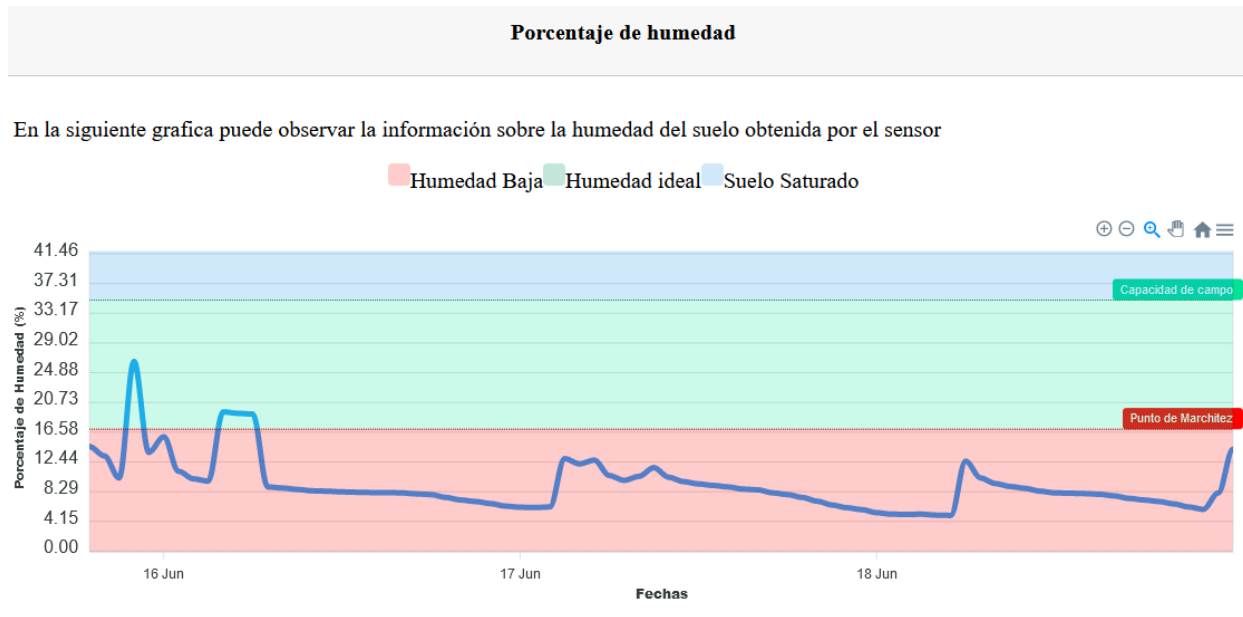


Figura 3. Gráfica tomada de la aplicación. Representa un suelo de textura arcillo limoso bajo una condición de déficit de humedad.

Interpretación de la gráfica de reporte diario

La aplicación despliega un segundo tipo de gráfica (Figura 4). En ella se reportan los datos de manera diaria, agrupándolos a través de diagramas de cajas y bigotes. Estos tipos de diagramas nos permiten conocer cómo se distribuyen los datos dentro de una variable, en este caso cada caja representa la variación de la humedad de cada día, tomando en cuenta que el sensor realiza lecturas cada hora. Como ejemplo, en la Figura 4, podemos ver el diagrama de cajas del día 2 de julio del año 2022, allí, se puede observar que, durante ese día, la humedad del suelo llegó a un punto máximo de 42.74% y un punto mínimo de 18.36% y la mediana fue de 27.73%. La mediana es el valor central o intermedio de un grupo de datos, cuando estos están ordenados de menor a mayor. Un ejemplo de esto sería, que la mediana de 5, 8, 13, 15 y 17 es 13. Los cuartiles, lo que hacen es separar los datos en cuartos (25%), el cuartil inferior, también conocido como el primer cuartil (Q1) o el percentil 25, es el valor que divide el conjunto de datos en un 25% de los valores más bajos y un 75% de los valores más altos y el cuartil superior, también conocido como el tercer cuartil (Q3) o el percentil 75, es el valor que divide el conjunto de datos en un 75% de los valores más bajos y un 25% de los valores más altos.

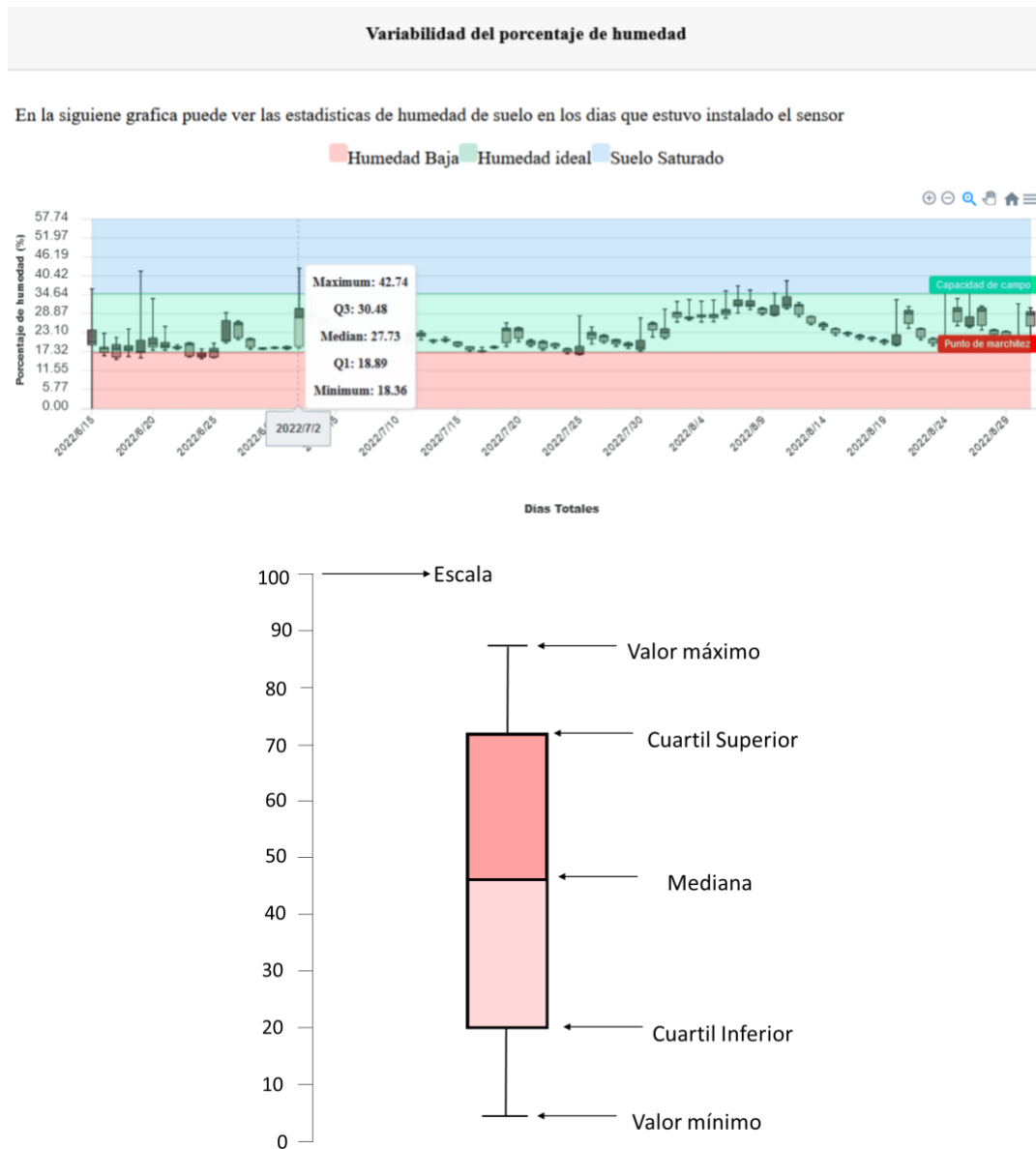


Figura 4. Gráfica de reporte diario tomada de la aplicación y diagrama típico de cajas o bigotes.

Las secciones a continuación le presentan una colección de prácticas sugeridas para el manejo de humedad de suelo, ya sea para manejar el exceso, o retener humedad.



Acciones para controlar el exceso de humedad en suelo

Construcción o mantenimiento de acequias o zanjias de drenaje

La función del drenaje es eliminar el exceso de agua mejorando la aireación del suelo, la exploración radicular y el acceso a los nutrientes por la planta. Es recomendable elaborar acequias o zanjias, o realizar mantenimiento a las existentes, que permitan evacuar el exceso de agua y/o disminuir el nivel freático.

En su construcción es necesario considerar que, el tamaño del canal o zanja depende de la precipitación de la zona, la pendiente del terreno y el nivel freático del lote y que este no debe provocar problemas de erosión o sedimentación.



Descompactación de suelos

La mayor parte de la compactación que afecta la producción agrícola es generada por el constante paso de las ruedas de la maquinaria agrícola, y el uso de arados de discos con cierta inclinación o ángulo de corte que causan en el suelo lo que se conoce como “piso de arado”.

Comúnmente, la compactación del suelo trae como consecuencia un menor movimiento de agua en el suelo y por consiguiente la aparición de encharcamientos y presencia de costras sobre la superficie del suelo. En este caso, es necesario realizar descompactación del suelo mediante uso de cinceles, ya sea con maquinaria o con tracción animal. El implemento utilizado debe penetrar 10 cm por debajo de la capa que se pretende romper. La labor debe realizar en suelo ligeramente húmedo a húmedo, o cuando la consistencia de este es ligeramente friable a friable.





Siembra en camas o caballones

La siembra en camas ayuda a mejorar el manejo del agua y el drenaje del lote. Para la elaboración de camas o caballones, se debe preparar el terreno previamente; las camas pueden realizarse de manera manual usando azadón o con maquinaria, mediante un surcador, caballoneador o encamadora. Se debe tener en cuenta la dirección de la pendiente del terreno para permitir un mejor drenaje. La altura de las camas puede ser entre 20 - 30 cm.



Siembra de materiales tolerantes a exceso de humedad

Una medida para disminuir el impacto de los altos niveles de humedad en el suelo sobre el desarrollo de los cultivos es la siembra de materiales tolerantes al exceso de humedad. Estos genotipos pueden mantener una alta productividad al resistir durante una mayor cantidad de tiempo situaciones climáticas críticas como lluvias intensas, encharcamiento, e incluso inundaciones.



La utilización de materiales tolerantes al exceso de humedad puede incluso reducir la necesidad de la construcción de drenajes en los lotes, lo que se traduce en una disminución de la complejidad del sistema productivo y de los costos de producción asociados a este. Si bien estos materiales tienen un

costo mayor, el ahorro en las labores de adecuación del lote es superior. Si en la región se cuenta con oferta de genotipos con esta característica, su siembra se convierte en una herramienta clave de mitigación de las condiciones de humedad extrema del suelo.



Acciones para conservar la humedad en el suelo

Cosecha de agua

Esta técnica es útil para contrarrestar el déficit hídrico en zonas áridas o en épocas secas. La cosecha de agua es comúnmente utilizada para riego y consumo animal y humano, dependiendo de la calidad de agua. Se realiza captando el agua derivada de la lluvia que corre por la superficie del terreno.



Las cosechas de agua para agricultura consisten en aprovechar las pendientes existentes en el terreno, realizando una especie de laguna o estanque para su recolección. Los sitios de recolección pueden ser revestidos en arcilla o con un plástico o membrana para evitar la infiltración y pérdida del agua.

Establecimiento de sistemas de riego

En zonas donde es posible establecer infraestructuras de riego, la adecuada elección de un sistema eficiente de acuerdo con las características del suelo y las condiciones climáticas, y la ejecución oportuna de esta labor en los momentos críticos de baja humedad en el mismo, es una estrategia altamente efectiva para minimizar los efectos del déficit hídrico sobre el desarrollo de los cultivos, especialmente en regiones donde no hay una adecuada distribución de las lluvias durante el ciclo agrícola y los suelos tienen poca capacidad de retención de agua.



Conocer el comportamiento general del clima, así como los requerimientos hídricos del cultivo y la capacidad de retención de humedad del suelo permite hacer una correcta planificación de los riegos, brindándole a la planta el agua necesaria para su correcto desarrollo en los momentos oportunos, sin desperdiciar este recurso, al tiempo que se disminuyen los gastos que esta labor conlleva.



Uso de cultivos de cobertura o coberturas muertas



La cubierta vegetal es fundamental para proteger el suelo del impacto de las gotas de lluvia, así como para reducir la pérdida de agua del suelo por evaporación y aumentar la infiltración y retención de humedad. Las coberturas pueden ser vivas o muertas, ambas favorecen el aumento de la humedad en el suelo; adicionalmente, favorecen la acumulación de materia orgánica, la actividad de los microorganismos y por ende la salud del suelo.

El porcentaje de agua de lluvia que se infiltra en el suelo depende de la cantidad de cobertura y porcentaje de suelo cubierto. Como coberturas vivas, comúnmente se han utilizado plantas leguminosas que adicionalmente fijan nitrógeno, sin embargo, las gramíneas han demostrado un gran potencial, dado que sus residuos no se descomponen tan rápidamente en comparación a las leguminosas, dada su relación carbono/nitrógeno más alta, permitiendo mantener el residuo por más tiempo en el suelo. Los residuos de cosecha son un ejemplo de coberturas muertas.

Incorporación de materia orgánica

La incorporación de fuentes de materia orgánica como los estiércoles de animales, abonos orgánicos como el compost, lombricompost o bocashi, o incluso los mismos residuos de cosecha, pueden con el tiempo mejorar la agregación del suelo, su porosidad, la actividad microbiana y por ende su capacidad de infiltración y retención de agua, a su vez que favorece la salud del suelo.

La materia orgánica se puede incorporar al suelo como enmienda al momento de la preparación; sin embargo, las coberturas vegetales mencionadas anteriormente, son también una muy buena fuente de materia orgánica. Por lo tanto, mantener el suelo cubierto sumado a adiciones de materia orgánica, son una estrategia de manejo de suelos que provee grandes beneficios para mantener la humedad del suelo.





Siembra de materiales tolerantes a sequía



Una alternativa para mitigar los efectos de la baja disponibilidad de agua en el suelo para los cultivos es la siembra de materiales que presentan tolerancia a la sequía. Estos genotipos muestran una mayor eficiencia en el uso del agua disponible, lo que significa que los cultivos pueden crecer y desarrollarse con bajos niveles de humedad en el suelo, logrando así mejores rendimientos que los que se pueden obtener en las mismas condiciones climáticas con materiales que no son tolerantes.

En zonas donde se cuenta con sistema de riego, la siembra de genotipos tolerantes a la sequía también reduce la cantidad necesaria de aplicaciones, pudiendo destinar el recurso hídrico a otros cultivos que tengan mayor requerimiento de agua, mejorando la sostenibilidad de la agricultura. Si se cuenta con la disponibilidad de este tipo de materiales, deben ser tenidos en cuenta como herramienta para disminuir el impacto de la baja disponibilidad de agua en los lotes.

Establecimiento de cultivos en contorno

Es una práctica que consiste en establecer un cultivo en hileras de forma transversal a la pendiente siguiendo las curvas a nivel. Una curva a nivel es una línea en la cual todos los puntos se encuentran a la misma altura, esto se hace para impedir que el agua corra con velocidad en la pendiente. Esta es una práctica que contribuye a la disminución de la erosión del suelo, reduciendo las escorrentías y mejorando la infiltración y la retención de humedad del suelo.



Barreras vivas

Es una práctica que consiste en el establecimiento de árboles o arbustos en el sentido contrario a la pendiente, cuyo beneficio es la reducción de la erosión, de la velocidad de los vientos, de la evapotranspiración, y un aumento en la retención de humedad del suelo. Puede ser una actividad complementaria a los cultivos en contorno.



Las especies usadas van a variar dependiendo de la región, sin embargo, las que más comúnmente se usan son: zacate de limón, pasto napier, piña, caña de azúcar, izote, gandul, malanga, pacaya valeriana. Es importante darle mantenimiento para que la especie usada no perjudique al cultivo que vayamos a establecer.



Conclusiones

- La humedad del suelo es un factor crítico para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Al monitorear y mantener una humedad óptima en el suelo, se proporcionan las condiciones ideales para que las raíces absorban agua y nutrientes, lo que promueve un crecimiento saludable de las plantas. Esto se traduce en un mejor rendimiento de los cultivos, mayor calidad de los productos y una mayor resistencia a enfermedades y estrés ambiental.
- La medición de la humedad en el suelo permite determinar cuándo y cuánta agua debe aplicarse a los cultivos. Esto ayuda a evitar el riego excesivo o insuficiente, lo que puede tener un impacto negativo en el crecimiento y rendimiento de las plantas. Un riego adecuado mejora la eficiencia en el uso del agua y optimiza otros recursos como mano de obra y combustible para bombeo.
- El uso de sensores de humedad del suelo también es una estrategia efectiva para reducir las pérdidas de los cultivos debido al exceso de agua. Estos sensores proporcionan información valiosa que permite monitorear efectivamente situaciones de excesos de humedad en el suelo, optimizando el crecimiento de los cultivos, a la vez que le ahorra tiempo y esfuerzo a los agricultores. Al utilizar esta tecnología, se puede lograr un manejo más inteligente y sostenible del agua en la producción agrícola.
- Son muchas las actividades o acciones que se pueden realizar para gestionar la humedad del suelo. Sin embargo, el aumento de la materia orgánica en los suelos es un aspecto transversal, es decir que, trae beneficios tanto durante periodos de déficit hídrico, como en situaciones de exceso de humedad. La materia orgánica desempeña un papel fundamental en la retención y disponibilidad de la humedad del suelo al mejorar la agregación de este y su actividad microbiológica, lo que a su vez repercute en una aumentada retención de humedad, pero también en una mejor infiltración.
- Darles acceso a los pequeños agricultores a tecnologías simples y de bajo costo como los sensores de humedad desarrollados, es una forma de democratizar el conocimiento y reducir las brechas sociales, a la vez que buscar aumentar la productividad en zonas con acceso limitado a tecnología y asistencia técnica.



Anexos

Accediendo la aplicación web

La aplicación web no requiere instalación ni software complementario para operar, y puede ser accedida utilizando el hipervínculo o código QR a continuación. Si planea usar la aplicación fuera de línea, recuerde accederla a su dispositivo al menos una vez, antes de desconectarse del internet.

<https://tufincastats.open-aeps.org>





Visualización de datos

Los pasos a continuación le ayudarán a visualizar los datos recolectados por el dispositivo.

Paso 1. Retiro de la memoria de dispositivo

Para poder visualizar los datos recolectados por el dispositivo se debe retirar la memoria microSD del dispositivo. Por favor siga el video instruccional para el retiro de la memoria.

Paso 2. Inserción de la memoria en el dispositivo móvil

Inserte la memoria microSD en el computador o dispositivo móvil donde desea visualizar los datos. Si su computador no cuenta con ranura microSD, utilice el adaptador de tarjeta de memoria proporcionado. Si usará una tableta o teléfono, inserte la memoria microSD como si fuera a cargar fotos o música en el dispositivo.

Paso 3. Carga de datos

En la aplicación web de visualización de datos, haga clic en el botón Seleccionar datos, busque la memoria microSD en el dispositivo, y seleccione el único archivo que aparece. Una vez seleccionado el archivo haga clic en continuar. La aplicación cargará automáticamente la visualización de los datos.

Paso 4. Personalización del reporte



En la esquina superior derecha de la aplicación web encontrará un menú que le permitirá personalizar el reporte. Para personalizar, agregue el nombre del agricultor y nombre de la finca. Si desea mantener el reporte anónimo, deje las casillas correspondientes en blanco.



La opción de Filtrar datos le permitirá escoger un período de tiempo deseado de toda la serie disponible en el archivo, y finalmente, en la opción de Acerca de, podrá conocer más detalles del proyecto de Digitalización de Agricultura de Pequeña Escala.

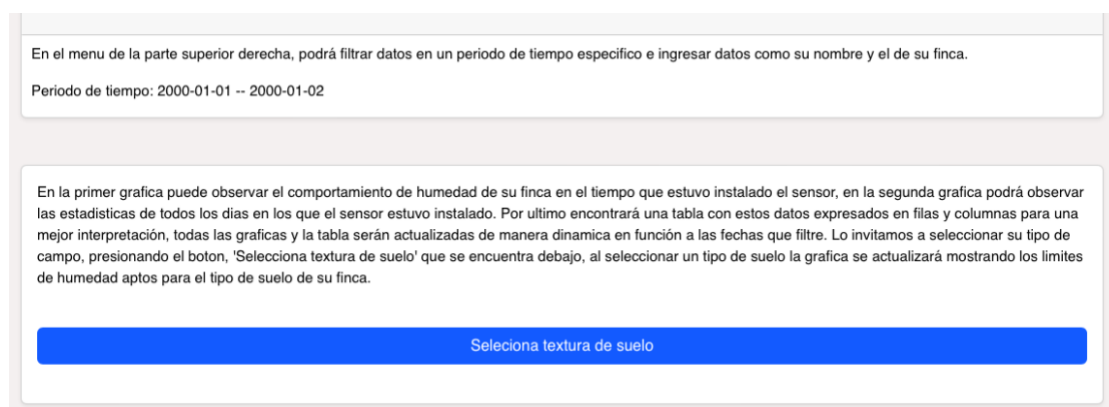


Paso 5. Seleccione una textura de suelo

El segundo bloque de contenido del visualizador le permitirá escoger una textura de suelo, y ajustará automáticamente los puntos de marchitez permanente y saturación de campo en las gráficas. Si no conoce la textura de suelo donde estuvo instalado el sensor, haga uso de la metodología Rasta, u otra, para determinar la textura de suelo.

Este hipervínculo lo llevará a una copia digital del manual Rasta:

https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/69682/RASTA_2011.pdf?sequence=2&isAllowed=y





Paso 6. Interprete los datos

Las gráficas le permitirán visualizar el comportamiento del contenido de humedad de suelo del cultivo de forma volumétrica. La primera gráfica le presenta los datos como una serie de tiempo, mientras que la segunda los agrega diariamente. Cuando la humedad de suelo se encuentra en el color rojo, entonces el cultivo requirió riego, mientras que cuando se encuentra en color azul había exceso de humedad. El rango deseable es el color verde, que representa un contenido de agua en el suelo utilizable por la planta.

Paso 7. Conclusiones y acción

No es extraño que durante el ciclo del cultivo haya momentos con déficit o exceso de humedad, pero si deberá prestar atención cuando de forma consistente se presenta uno de los dos escenarios (déficit o exceso). Si concluye que existe un problema de humedad de suelo, tome acción para el próximo ciclo de cultivo, ya sea mediante prácticas de manejo de exceso de humedad o de conservación de humedad.



Instituciones participantes



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



www.fontagro.org

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org