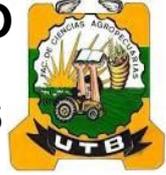




UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



**ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA PESCA Y
VETERINARIA
CARRERA DE AGRONOMÍA**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente practico del examen de carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como
requisito previo para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

Importancia de la implementación de tensiómetros en el manejo del
agua de riego a nivel parcelario.

AUTOR:

Andy Fabricio Verdezoto Paredes

TUTOR:

Ing. Agr. Marlon Víctor Hugo Pazos Roldan, MSc.

Babahoyo - Los Ríos - Ecuador

2024

RESUMEN

Los tensiómetros miden el potencial matricial del suelo, esta herramienta se encuentra cercana a la zona radicular y a una profundidad variante del cultivo a analizar, si la fuerza de extracción es cercana a cero se interpreta que el suelo está saturado no necesita riego, pero si se presentan valores lejanos a cero se debe irrigar logrando así establecer el momento en que necesita agua el cultivo. Esta investigación tiene como objetivo analizar la importancia del uso del tensiómetro en el manejo del agua de riego a nivel parcelario. Este trabajo se desarrolló como una investigación bibliográfica no experimental utilizando la técnica de análisis, revistas, textos actuales, artículos síntesis y resumen de los datos recopilados. Los resultados obtenidos en la investigación demuestran que los tensiómetros y su uso a nivel parcelario muestran ventajas significativas en la determinación del momento oportuno del riego debido a que interviene con varios parámetros, es compacto y los datos obtenidos son in situ (condiciones reales en campo) lo que aumenta su eficiencia. La ecuación de Penman-Monteith usa datos climatológicos y otros parámetros los valores obtenidos son de evapotranspiración del cultivo de referencia el cual permite determinar el cuándo y cuanto irrigar, el tensiómetro nos brinda información real, no necesita de ningún cálculo ni conocimiento simplemente de una lectura. Se concluye que los tensiómetros son herramientas que pueden ser usadas en cualquier sistema de producción, tipo de suelo y cultivo es muy práctica, es de bajo costo, su instalación es fácil y rápida, los valores son comprensibles para el agricultor.

Palabras clave: Agua, potencial matricial, riego, tensiómetros

SUMMARY

Tensiometers measure the soil matrix potential, this tool is located close to the root zone and at a varying depth of the crop to be analyzed, if the extraction force is close to zero it is interpreted that the soil is saturated and does not need irrigation, but if values far from zero are present, irrigation should be carried out, thus establishing the moment when the crop needs water. The objective of this research is to analyze the importance of the use of the tensiometer in irrigation water management at the plot level. This work was developed as non-experimental bibliographic research using the technique of analysis, journals, current texts, articles, synthesis and summary of the data collected. The results obtained in the research show that tensiometers and their use at plot level show significant advantages in determining the timing of irrigation because it intervenes with several parameters, it is compact and the data obtained are in situ (real field conditions) which increases its efficiency. The Penman-Monteith equation uses climatological data and other parameters, the values obtained are of evapotranspiration of the reference crop, which allows determining when and how much to irrigate, the tensiometer provides real information, it does not need any calculation or knowledge, just a reading. It is concluded that tensiometers are tools that can be used in any production system.

Keywords: Water, matrix potential, irrigation, tensiometers.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	II
SUMMARY	III
1.CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.1.Introducción.....	1
1.2.Planteamiento del problema	2
1.3.Justificación.....	3
1.4.Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Líneas de investigación	4
2. DESARROLLO	5
2.1 Marco conceptual.....	5
2.1.1 Riego parcelario	5
2.1.2 Tensiómetros Agrícolas.....	6
2.1.2.1 Partes del tensiómetro agrícola.....	7
2.1.2.2 Localización y profundidad	8
2.1.2.3 Proceso de instalación de los tensiómetros agrícolas	9
2.1.2.4 Lectura de tensiómetros agrícolas.....	10
2.1.3 Ecuación de Penman-Monteith.....	11
2.1.4. Ventajas del uso de tensiómetros agrícolas en las parcelas de riego	12
2.1.5. Diferencias entre el uso del tensiómetro agrícola y el empleo de la ecuación de Penman-Monteith al momento de calcular las necesidades hídricas del cultivo.	14
2.2. Marco metodológico	16
2.3 Resultados	16
2.4 Discusión de resultados	17
3.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	18
3.1. Conclusiones.....	18
3.2. Recomendaciones	18
4.REFERENCIAS Y ANEXOS	19
4.1. Referencias bibliográficas.....	19
4.2. Anexos.....	24

Tabla de Figuras

Figura 1: Partes del tensiómetro.....	8
Figura 2: Instalación del tensiómetro	10

1.CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. Introducción

El agua es el líquido esencial para la producción de alimentos la cual es usada en un 70 % de todo el agua continental del mundo, esta alta demanda se debe a la necesidad de mantener la productividad de los cultivos y garantizar la seguridad alimentaria, la demanda por el líquido incrementa debido a que para el 2050 la población aumentará gradualmente a 2000 millones de personas en el mundo por lo tanto se deben mejorar y multiplicar las áreas productivas mismas que deben tener un mayor potencial de productividad y adaptabilidad ya que el cambio climático se hace presente día a día (IICA 2021).

El 81,1 % del agua es destinada para el regadío en Ecuador representando un consumo muy alto en comparación al uso mundial por lo cual se puede interpretar que existe un uso irracional del agua en regadíos (Yara 2022). De la superficie cultivada a nivel nacional 1 millón 252 mil hectáreas representan el 26,5 % de superficie nacional cuentan con sistemas de riego, los cultivos con mayores sistemas de riego pertenecen a la agroindustria exportadora de las flores y ciertos frutales (INEC 2022).

Los tensiómetros son instrumentos que miden el potencial hídrico del suelo, es decir este instrumento mide la fuerza que deben realizar las raíces para extraer el agua, si dicha acción es cercana a cero se interpreta que el suelo está saturado no se necesita regar pero si se presentan valores lejanos a cero y cercanos a 100 se debe suministrar de agua al cultivo, los valores mostrados en el vacuómetros son interpretados en centibares o kilopascales dichos parámetros facilitan el manejo del agua logrando mejorar la eficiencia de los distintos sistemas de regadíos usados en los cultivos (Baeza *et al.* 2020).

Las herramientas y ecuaciones son complementos que permiten realizar un manejo del agua de riego de manera eficiente este manejo comprende de actividades iniciales como es el análisis de las necesidades hídricas del cultivo en conjunto de las condiciones ambientales presentes todo lo mencionado forma parte de un programación de riego el mismo que debe dar respuesta a las interrogantes del cómo, cuándo y cuánto regar, los tensiómetros forman parte de la resolución

esto debido a que están instaladas en la zona radicular y una profundidad variante al cultivo al ser analizado este equipo nos permite determinar el momento oportuno del riego brindando de manera eficiente regadío a los cultivos.

1.2. Planteamiento del problema

Los cultivos son grandes demandantes de un considerable porción de agua continental en el mundo dependiendo de sus procesos productivos, es crucial el determinar las necesidades hídricas como punto inicial para estas exigencias que no pueden ser omitidas debido a su grandes efectos hacia el cultivo ocasionando pérdidas significativas ya que no solo se reduce en un cierto porcentaje su rendimiento en el peor de los casos podría perderse totalmente el cultivo por un deficiente manejo del líquido tan esencial (Gómez *et al.* 2024).

Los componentes del manejo del agua de riego son cruciales debido a que son indispensables el desarrollo de actividades como la revisión de los requerimientos hídricos mismos que van a depender de las condiciones ambientales, suelo y fenología del cultivo, dentro de la problemática del manejo del agua se encuentra el desconocimiento de los agricultores del momento en el que deben proporcionar agua a sus cultivos para un eficiente desarrollo, ante tal desconocimiento los agricultores llegan a cometer errores a la hora de implementar regadíos a sus cultivos que más tarde tendrán efectos negativos en su rentabilidad y el medio ambiente (Sánchez 2023).

La deficiente disponibilidad y el manejo inadecuado del agua destinada para el regadío en los cultivos son problemáticas importantes debido a que se está explotando el recurso tan esencial para la vida de todos los seres vivos, los cultivos nos brinda los alimentos que tanto necesitamos consumir, por lo cual es necesario tomar acciones acertadas sobre el uso del agua en los regios ya que es donde más se consume y si no adoptamos tecnologías como el tensiómetro para identificar el momento en que se debe proporcionar el agua que necesita el cultivo se estaría desaprovechando de herramientas que podrían mejorar la eficiencia de los regadíos (Garza 2023).

El desconocimiento de los agricultores de la disponibilidad de herramientas que aportan al manejo adecuado del agua destinada para el regadío en los cultivos

son problemáticas importantes debido a que se está explotando el recurso con menor porcentaje en el planeta y con mayor demanda, los cultivos nos brindan los alimentos que tanto necesitamos consumir para el desarrollo normal y saludable de nuestras actividades cotidianas.

1.3. Justificación

La investigación radica en brindar la información necesaria a los agricultores sobre la importancia del tensiómetro para un manejo adecuado del riego como un instrumento que permite establecer el momento oportuno de irrigación al adoptar herramientas ante el uso del agua de riego obtendremos buenos resultados ya que se realiza un eficiente suministro y disponibilidad de los recursos hídricos a los cultivos, obteniendo una mayor productividad y rentabilidad lo cual interesa al agricultor al momento de adoptar una propuesta técnica para su producción agrícola.

El tensiómetro es una tecnología que permiten a los técnicos y hasta el mismo agricultor interpretar su medición en tiempo real, con una fácil instalación y monitoreo sobre la humedad presente en el suelo que es importante en la producción agrícola, esta herramienta juega un papel importante al momento del regadío ya que nos permiten establecer el momento en el que debemos suministrar el agua al cultivo para conseguir el máximo rendimiento y calidad de los productos agrícolas que hoy en día son valorados por los consumidores además de contribuir a la conservación del agua un líquido esencial para todos los seres vivos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar la importancia de la implementación de tensiómetros en el manejo del agua de riego a nivel parcelario.

1.4.2. Objetivos específicos

- Fundamentar las ventajas del uso de tensiómetros agrícolas en las parcelas de riego.
- Establecer la diferencia entre el uso del tensiómetro agrícola y el empleo de la ecuación de Penman-Monteith al momento de calcular las necesidades hídricas del cultivo.

1.5. Líneas de investigación

La presente investigación está enfocada dentro de los dominios de la Universidad Técnica de Babahoyo de Recursos agropecuarios, ambiente, biodiversidad y biotecnología. El enfoque principal de este estudio se centra en la: “Importancia de la implementación de tensiómetros en el manejo del agua de riego a nivel parcelario”. En este contexto, la línea específicamente se aborda el Desarrollo agropecuario, agroindustrial, sostenible y sustentable y en la Sublíneas de Conservación de suelos y agua.

2. DESARROLLO

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Riego parcelario

Los primeros registros del riego en agricultura se remontan al año 6000 a.C. en Egipto y en Mesopotamia (Irak e Irán en la actualidad), sus pobladores utilizaban los patrones de riada del Nilo o del Tigris y Éufrates, respectivamente, el objetivo del riego es proveer de agua a los cultivos, en cantidad adecuada para evitar daños que repercutan en la disminución del rendimiento, los productores deben entonces obtener respuestas a los siguientes aspectos: cómo, cuánto y cuándo regar (Costa 2022).

El riego parcelario es el conjunto de sistemas y técnicas utilizadas para suministrar agua de manera eficiente en las parcelas divididas individualmente, es muy importante de la distribución del área agrícola para proporcionar a los cultivos reciban la cantidad adecuada de agua para su optimizar la producción y productividad de los cultivos, la tecnificación del riego no es únicamente el mejoramiento de la infraestructura o evitar el riego por inundación, es un proceso de construcción social, en donde los principales protagonistas son los beneficiarios del riego, es decir los usuarios y organizaciones de agricultores que usan el agua para el riego (Rendon 2013).

La agricultura de regadío que consiste en el suministro de importantes cantidades de agua a los cultivos mediante diversos métodos artificiales de riego como actividad productiva, la agricultura requiere inversiones de capital y una cuidada infraestructura hídrica: canales, acequias, aspersores, que exige, a su vez, un desarrollo técnico avanzado, la clasificación más común de los métodos de riego, se establece de acuerdo con la forma como el agua es esparcida o distribuida sobre el suelo, dependiendo de las características topográficas, los tipos de cultivo, la disponibilidad del recurso hídrico, los costos y la posibilidad de acceder a tecnologías con altos requerimientos de inversión, entre otros factores (García 2023).

2.1.2 Tensiómetros Agrícolas

Un tensiómetro es una herramienta valiosa para la gestión del riego en su propiedad, puede ayudarle a aplicar la cantidad correcta de agua en el momento adecuado, esto puede aumentar el rendimiento y la calidad y, en muchos casos, se puede reducir la cantidad de riego aplicado, el tubo indicador de vacío de agua los tensiómetros proporcionan una medida de la disponibilidad de agua para el cultivo, se comportan como una raíz de planta artificial y constan de un tubo con una copa de cerámica porosa en un extremo y un medidor en el otro, el tubo entre el medidor y la copa se llena con agua y se sella con una tapa (Delgado 2023).

El tensiómetro es un instrumento que mide la fuerza que realizan las raíces de las plantas para extraer el agua del suelo, consta de una capa porosa de cerámica que se conecta a un tubo hueco transparente con una columna de agua, la presión se registra con un manómetro de vacío el principio de funcionamiento: la cápsula de cerámica es la encargada de permitir el equilibrio de fluidos entre el tensiómetro y el suelo, cuando el suelo comienza a secarse, se incrementa la presión del agua dentro del tensiómetro y se aleja de 0, en el caso contrario, disminuye la tensión y la lectura del manómetro tiende a 0 (Grasso *et al.* 2022).

Los tensiómetros deben colocarse en el campo en varios lugares e incluir regiones superior, media e inferior del campo, una regla general es instalar los tensiómetros en la fila de plantas donde se concentran las raíces y absorben la mayor cantidad de agua, en parcelas con riego por goteo se coloca el tensiómetro ligeramente dentro de la hilera de plantas, más cerca de la zona de humectación, pero no inmediatamente debajo de la cinta de goteo y en campos con riego por aspersión se deben colocar los tensiómetros dentro del patrón mojado, en cada ubicación se deben instalar los tensiómetros a dos o más profundidades (Luke 2004).

La profundidad mínima debe ser de un tercio a la mitad de la profundidad de la zona efectiva de la raíz, la segunda profundidad debe estar justo debajo o en la profundidad de enraizamiento efectiva para el cultivo, por ejemplo, los tensiómetros instalados a una profundidad de 15 cm y 30 cm para las fresas permiten monitorear la humedad en la zona de la raíz activa y debajo de la zona de raíz primaria, los tensiómetros se han convertido en una herramienta de mucha utilidad en el manejo

de riego, pero es indispensable calibrarlos en el sitio de uso para poder tomar en cuenta las condiciones particulares de suelo del lugar de medición, generalmente los usuarios del tensiómetro no calibran el aparato y las lecturas del manómetro tienen poca utilidad (Calvache 2016).

2.1.2.1 Partes del tensiómetro agrícola

Según Proaño *et al.* (2004), los tensiómetros agrícolas están compuestos por diferentes partes estas son:

Tapa: Su función es proteger a la herramienta de cualquier tipo de factores externos que se presentan en el campo y que podrían ingresar por la parte superior

Deposito cilíndrico: Tiene la función de almacenar cierta cantidad de agua, misma que nos sirve para remplazar el agua perdida durante su lectura y calibración.

Tapón de Neopreno: Su función es sellar herméticamente entre el depósito de agua y el tubo dicho sellado hermético crea un vacío en el tubo del tensiómetro cuando existe un déficit de agua en el suelo y nos proporciona la lectura de la fuerza ejercida en la punta cerámica que se encuentra a una cierta profundidad.

Manómetro: El manómetro es la parte que nos detalla las lecturas de la tensión de humedad este viene graduado en una escala de 0 – 100 centibares, al presentarse menos humedad en el suelo y sale mayor cantidad de agua del tensiómetro se presenta un aumento de la lectura, pero si presentan una mayor humedad presente en el suelo la lectura se reduciría.

Cuerpo o tubo: Es aquella parte que se la llena con la solución líquida que se utilice puede ser agua común y cumple la función de crear el vacío por poco o exceso de agua en el suelo.

Punta de Cerámica: Es la parte que permite la entrada o salida del agua desde el tensiómetro al suelo y viceversa, para que esta parte tenga un correcto funcionamiento debe conservarse en un buen estado que debe estar sin deformaciones, rajaduras y sin obstrucciones.

En la **Figura 1**, se detallan las partes del tensiómetro agrícola.



Figura 1: Partes del tensiómetro

Fuente: Monje (2019)

2.1.2.2 Localización y profundidad de instalación

La localización de los tensiómetros y la profundidad de la instalación en el predio son parámetros importantes para obtener una lectura eficiente por lo cual deben tomar los siguientes factores son: profundidad del sistema radicular, tipo de variabilidad del suelo, naturaleza de la topografía (Mora 2018).

La punta cerámica del tensiómetro debe ser instalada en la zona cerca del sistema radicular de las plantas en crecimiento también es de igual importancia que el tensiómetro se localice donde pueda ser alcanzado por el agua de riego y por la lluvia, para plantas con sistema de raíz superficial menos de 45 cm de profundidad tales como hortalizas y plantas ornamentales bastara con la instalación de un solo tensiómetro a una profundidad equivalente a $\frac{3}{4}$ partes de la profundidad de las raíces de la planta, evaluando el desarrollo de las plantas para usar el tensiómetro adecuado (Villablanca *et al.* 2015).

En el caso de plantas con raíces profundas, es necesario utilizar dos tensiómetros en cada estación uno más superficial a $\frac{1}{4}$ de la profundidad de las raíces de la planta y el otro a $\frac{3}{4}$, en los huertos frutales se recomienda colocar los

tensiómetros de 30 a 45 cm el superficial y de 60 a 90 centímetros el profundo (Mora 2018).

Mediante el uso de una estación la cual está compuesta por dos tensiómetros instalados a menor y mayor profundidad, el técnico o el agricultor pueden conocer las condiciones de humedad de toda la zona radicular, los tensiómetros deben ser instalados en un sitio representativo del campo a ser regado debido a que diferentes tipos de suelo tienen diversas tasas de infiltración y capacidad de retención de agua, pero si el terreno tiene considerables áreas de suelos con características diferentes, se recomienda la instalación de una estación para cada tipo de suelo, si el terreno es plano, uniforme y el sistema de riego es permanente sería suficiente para 8 hectáreas, en suelos con características diferentes se deben instalar una estación cada 0,5 hectáreas (Manhub 2018).

2.1.2.3 Proceso de instalación de los tensiómetros agrícolas

Según Briceño *et al.* (2012) mencionan los distintos procesos correspondientes a la instalación de un tensiómetro agrícola se detallan a continuación:

1. Se rellena el tensiómetro completamente con agua destilada y se coloca la zona de la cápsula porosa en un recipiente con agua destilada a un nivel que la cubra totalmente, sin la tapa superior (para saturar la cápsula) durante 24 horas.
2. Al transportar el instrumento hay que proteger la punta de cerámica de la sequedad del aire con un paño húmedo o similar.
3. Con una barrena se hace un hoyo en el suelo del tamaño aproximado al largo y ancho del tensiómetro.
4. Se introduce un puñado de tierra suelta en el fondo y se coloca el tensiómetro presionando cuidadosamente.
5. Se rellena con tierra alrededor dejando un pequeño alto para evitar empozamiento que interfieran en las lecturas, dejar al menos 3 cm de espacio entre la superficie de la tierra y la base del tensiómetro,
6. De vez en cuando puede que el tensiómetro necesite ser llenado con agua, usualmente, bajo condiciones regadas, el tensiómetro se llena por sí mismo cuando el agua de riego se aplica al campo.

7. Si el suelo es blando y está recién regado puede introducirse directamente al suelo presionándolo suavemente para no dañarlo.
8. Una vez instalado, se agrega agua destilada sólo si es necesario, para rellenar y dar ligeros golpes para extraer las burbujas de aire del interior.

El más superficial de los tensiómetros es el que indica el agua disponible para el cultivo; el más profundo orienta sobre las pérdidas y la evolución de la humedad a lo largo del perfil y se dispone de forma que alcance la profundidad del cultivo y algo más distanciado del emisor, es recomendable que el primero este situado a 10 cm del emisor (Villablanca *et al.* 2015).

En la **Figura 2**, se detallan el proceso, forma correcta e incorrecta de la instalación de un tensiómetro.

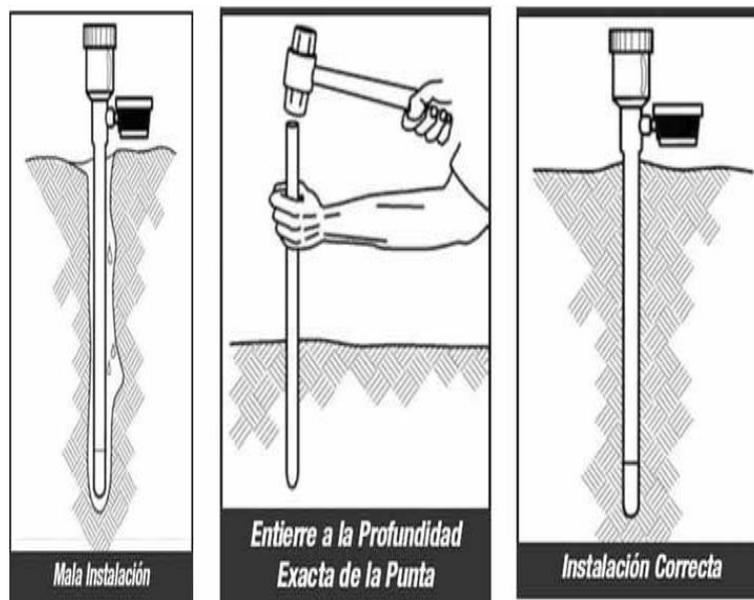


Figura 2: Instalación del tensiómetro

Fuente: Fitonatura (2021)

2.1.2.4 Lectura de tensiómetros agrícolas

Según Traxco (2009), las lecturas del tensiómetro a iniciar y terminar los ciclos de riego son:

Lecturas 0-10 cb: Indican un suelo saturado, pueden ser normales por un período de 24 horas posteriores a un riego, si perduran, indican un exceso de humedad que puede dar lugar a la asfixia de las raíces.

Lecturas 10-20 cb: Indican que la humedad está a la disposición de la planta con un esfuerzo mínimo, se suspenden los riegos por aspersion para evitar pérdidas tanto de agua como de fertilizantes.

Lecturas 30-60 cb: En esta gama de lecturas está asegurada una buena oxigenación de las raíces, en zonas cálidas y cuando se trate de regar tierra muy arenosa con poco poder de retención.

Lecturas de 30 a 45 cb: Se recomienda iniciar los riegos

Lecturas de 70 cb y más: Indican que la planta padece estrés y se acerca al punto de marchitamiento.

El número de tensiómetros por parcela puede limitarse a cuatro agrupados en dos estaciones de medida, por un lado, asegurar la validez de las lecturas; pues al tener dos controles la similitud de las lecturas validará el estado de humedad del suelo, mientras que la disparidad indicará algún defecto en uno de los dos tensiómetros; y por otro, controlar la homogeneidad de la distribución del agua de riego, si se limitase el número de tensiómetros, se dejará una sola estación, manteniendo sus dos tensiómetros para que puedan compararse (Fueyo 1998).

2.1.3 Ecuación de Penman-Monteith

Se impulsó el uso de la fórmula de Penman en 1948 para estimar la evapotranspiración en superficie líquida y la evapotranspiración en superficies con vegetación, esta fórmula, modificada en 1965 por Monteith y denominada fórmula de Penman-Monteith, ha tenido una relevancia extraordinaria en las investigaciones sobre balance energético, balance hídrico, requerimientos de agua, programas de irrigación, entre otras aplicaciones, desplazando la diversidad de formulaciones utilizadas para estimar la evapotranspiración simultáneamente, el término evapotranspiración potencial, ETP, es reemplazado por el de evapotranspiración de referencia, ETo (Guevara 2006).

Según Allen *et al.* (2006), la ecuación de Penman-Monteith incorpora aspectos termodinámicos y aerodinámicos con lo que ha demostrado ser un método muy preciso para estimar la ETo en cualquier lugar, sin embargo, la mayor limitante para el uso de este modelo es que requiere una gran cantidad de datos

meteorológicos, limitando su uso en lugares donde estos no se encuentran disponibles. La fórmula del método de la FAO 56 P-M es la siguiente:

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

Donde

ET_o: Evapotranspiración del cultivo de referencia [mm día⁻¹]

R_n: Radiación neta en la superficie del cultivo [MJ m⁻² día⁻¹],

G: Flujo del calor de suelo [MJ m⁻² día⁻¹],

T: Temperatura media del aire a 2 m de altura [°C],

u₂: Velocidad del viento a 2 m de altura [ms⁻¹],

e_s: Presión de vapor de saturación [kPa],

e_a: Presión real de vapor [kPa],

e_s - e_a: Déficit de presión de vapor [kPa],

Δ: Pendiente de la curva de presión de vapor [kPa°C⁻¹],

γ: Constante psicrométrica [kPa°C⁻¹] .

El método Penman-Monteith se incorporó a los modelos de simulación de cultivos agroclimáticos CropWat v 8.0 y Aqua-Crop para calcular las necesidades de agua de los cultivos, el rendimiento esperado y el porcentaje de reducción del rendimiento en función de las condiciones climáticas o meteorológicas locales, la metodología FAO 56 Penman-Monteith (P-M) es la más utilizada para determinar la evapotranspiración de referencia (ET_o) la cual es necesaria junto con el coeficiente de cultivo (k_c) para estimar los requerimientos hídricos de los cultivos importantes para obtener una mayor productividad y calidad de alimentos (Villazón *et al.* 2021).

2.1.4. Ventajas del uso de tensiómetros agrícolas en las parcelas de riego

La eficiencia en el uso de recursos hídricos son de las ventajas más notorias en esta herramienta porque se evitan pérdidas al momento de realizar riegos inadecuados siendo clave debido que al momento de realizar un manejo correcto

del agua a nivel parcelario se logran mantener las condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo permitiéndoles disponer de manera eficiente los nutrientes y disminuyendo la presencia de las plagas, los tensiómetros son aparatos de estructura simples y rudimentarias de fácil uso, complementan criterios acerca de cuándo se requiere reponer el riego para mantener el balance entre agua y aire (Portal frutícola 2019).

Los tensiómetros nos facilitan la conservación de agua y suelos debido a que nos permite establecer el momento oportuno del riego el cual disminuye el uso inadecuado del agua y por la tanto alterar de manera significativa a las propiedades físico y químicas del suelo, Según Carrillo (2002), menciona las siguientes ventajas del uso de los tensiómetros a nivel de parcelas:

- ✓ Ahorro de agua debido a la disminución de riegos innecesarios o excesivos.
- ✓ Reducción en los costos de operación del sistema de riego
- ✓ Conservación del agua y suelos.
- ✓ Funciona en todos los cultivos y tipos de suelo.
- ✓ Brinda mayor efectividad en la programación de riego debido a que nos indica el momento en que debemos suministrar agua al cultivo.
- ✓ Satisfacer las necesidades hídricas del cultivo de manera eficiente.
- ✓ Se reduce la presencia de enfermedades ocasionadas por la humedad excesiva o deficiente.
- ✓ Aumento de la productividad y calidad de los frutos a cosechar.
- ✓ Reducción de la contaminación ambiental y conservación de recursos.

El uso apropiado de tensiómetros permite eliminar incertidumbres al momento de programar su riego y usualmente resulta en una reducción en el costo del mismo, se puede explicar que al humedecer el suelo es como una esponja la misma que si está saturada no retendrá más solo retendrá el agua necesaria por lo cual herramientas como el tensiómetro nos permiten descubrir ese momento pero a diferencia de la esponja los suelos tardan más en absorber el agua, pero funcionan bajo el mismo principio al presentarse un exceso de agua se desperdicia por percolación profunda o escorrentía además de que el agua desperdiciada llega a contener minerales contaminan las agua subterráneas (Fitonatura 2021).

La experiencia obtenida en dos o tres ciclos de riego, indicará la cantidad de agua mínima necesaria para asegurar una penetración a la zona inferior radicular, también se ahorra agua en estas situaciones, cuando el suelo se comienza a regar y aún hay una cantidad de humedad considerable, el agua penetra más rápidamente en suelos húmedos que en suelos secos, por lo tanto, se requiere menos agua para humedecer la parte inferior del sistema radicular (Manhub 2018).

2.1.5. Diferencias entre el uso del tensiómetro agrícola y el empleo de la ecuación de Penman-Monteith al momento de calcular las necesidades hídricas del cultivo.

El cálculo de las necesidades hídricas del cultivo permiten determinar cuál es la cantidad de agua máxima o mínima requerida por el cultivo, el tensiómetro es una herramienta que nos permite determinar el momento oportuno del riego y la ecuación de Penman-Monteith nos detalla la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) debido a que recoge una gran mayoría de datos climáticos, pero dichos datos son ingresados a un software llamado Cropwat ofrecido por la FAO que contiene la ecuación facilitando el cálculo y los valores obtenidos del sistema, es la cantidad de agua perdida y que debe reponerse para suplir las necesidades hídricas del cultivo (CIATA 1998).

La ecuación de Penman-Monteith demuestra mayor uso en cultivos grandes o en programas regionales de sistemas de riego debido a que necesita de datos climáticos reales obtenidos de estaciones meteorológicas que cubren ciertos kilómetros a la redonda por lo cual no podría ser usado en cultivos tan lejanos a la estación en comparación a los tensiómetros que se destina a las áreas específicas medianas o pequeñas, también son usadas mayormente en sistemas de producción bajo invernaderos brindando información real de la humedad contenida en el suelo (Contreras 2015).

El costo si hacemos uso de Cropwat que facilita la obtención de datos de evapotranspiración del cultivo de referencia puede ser menor en comparación a los tensiómetros, pero si hacen uso software particulares llegan a tener costos elevados, pero no se realiza mantenimiento en comparación del tensiómetro que se debe realizar un monitoreo constante y brindarle mantenimiento oportuno para no afectar a los resultados (Orbe y Ramos 2020).

La ecuación de Penman-Monteith se basa principalmente en obtener datos referenciales y que son comparados en una tabla establecida con valores de cada cultivo se determina si necesitara o no riego de acuerdo además se toman en cuenta la etapa fenológica del cultivo al contrario los tensiómetros proporcionan valores reales sobre la fuerza que realizan las raíces para extraer el agua contenida en el suelo dicha fuerza es reflejada en el vacuómetros con medida de centibares que van de 0 a 100 y existen escalas que nos indican si el suelo está saturado, en capacidad de campo o deficiente de agua (PRISMAB 2023).

Las lecturas en centibares, indican la tensión con la que está retenida el agua en el suelo, mientras que mediciones sucesivas permiten determinar con qué velocidad el cultivo está extrayendo el agua y con qué velocidad el suelo se está secando, estimando la frecuencia más adecuada para el riego, un tensiómetro entrega buenos resultados en riego por goteo y en suelos arenosos (suelos), mientras que en riego por inundación y en suelos arcillosos no tiene mucha exactitud de acuerdo a experiencias previas (Portal frutícola 2019).

La evaluación de las necesidades de agua de los cultivos es un componente crucial de la gestión del riego, ya que garantiza que los cultivos reciban la cantidad adecuada de agua para un crecimiento y un rendimiento óptimos sin uso excesivo ni desperdicio, es importante desarrollar una comprensión de las necesidades de agua del cultivo para que pueda desarrollarse y convertirse en un cultivo saludable (Farmbrite 2024).

El método Penman-Monteith es un cálculo ampliamente utilizado y es un enfoque muy apreciado y utilizado para estimar la evapotranspiración (ET), específicamente la evapotranspiración de referencia (ET_0), se considera uno de los métodos más precisos para estimar la ET porque incorpora varios factores climáticos, como la temperatura, la humedad, la velocidad del viento y la radiación solar, el método Penman-Monteith es recomendado a menudo por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y otras organizaciones agrícolas y medioambientales por su robustez y precisión (Contreras 2015).

2.2. Marco metodológico

Para el presente documento se reúne información de documentos actuales artículos de investigación, bibliotecas virtuales y sitios web para ayudar a presentar las opiniones e ideas de los actores que permitan desarrollos de investigación.

Se identificaron temas relevantes en la Importancia de la implementación de tensiómetros en el manejo del agua de riego a nivel parcelario. Este trabajo se desarrolló como una investigación bibliográfica no experimental utilizando la técnica de análisis, revistas, textos actuales, artículos, síntesis y resumen de los datos recopilados.

2.3 Resultados

Los tensiómetros y su uso de nivel parcelario muestran ventajas significativas en la determinación del momento oportuno del riego debido a que esta herramienta interviene con varios parámetros, es práctico y compacto, si la instalación se realiza correctamente los datos proporcionados son eficaces logrando determinar el momento en el que se debe suministrar de agua al cultivo para su eficiente desarrollo y producción.

La ecuación de Penman-Monteith hace uso de datos climatológicos mensuales y el resultado obtenido es el valor de la evapotranspiración del cultivo de referencia por lo cual es un valor supuesto que luego debe ser interpretado y verificado en tablas referenciales del cultivo el cual se concluye en el cuándo y cuánto regar, el tensiómetro nos brindan información real, la interpretación de los valores son fáciles debido a que no se necesita de un cálculo ni conocimiento simplemente de una capacitación y comparación de valores establecidos en tablas referenciales lo cual permiten al agricultor establecer el momento oportuno del riego.

2.4 Discusión de resultados

Las ventajas del tensiómetro a nivel parcelario son la facilidad de instalación, su bajo costo, la interpretación de valores no requieren de mucho conocimiento, proporcionan valores reales de las condiciones de la humedad contenida en el suelo por lo cual permite determinar el momento en que necesita verdaderamente o no agua el cultivo contribuyendo al ahorro de la misma, concuerdo con lo dicho por Mundo riego (2023), las principales ventajas de los tensiómetros son obtener una lectura directa de la fuerza de tensión que realiza el sistema radicular para extraer agua del suelo, muestran valores exactos de medición, son de fácil instalación y de bajo costo, no necesitan de electricidad, no requieren de calibración previa y la posibilidad de automatización de lecturas.

Los tensiómetros son un instrumento de medición directa y la ecuación de Penman-Monteith es de medición indirecta, el tensiómetro es una herramienta que miden a tiempo real, son de bajo costo, no necesitan de datos climáticos a diferencia de la ecuación de Penman-Monteith los valores obtenidos de evapotranspiración permiten determinar cuándo y cuanto debe suministrarse agua al cultivo de acuerdo a lo mencionado por Guevara (2006), la fórmula de Penman-Monteith es ampliamente recomendada como estándar para estimar la evapotranspiración de referencia con validez mundial por proveer resultados más consistentes para el uso real del agua pero sus datos tienen cierta complejidad de análisis.

3.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

Los tensiómetros son herramientas muy útiles en cualquier sistema de producción, tipo de suelo y cultivo, esta herramienta es práctica, su instalación es fácil y rápida, la interpretación de valores es comprensible para el agricultor, son de bajo costo, además proporcionan datos reales y del día a día en el campo.

Los tensiómetros realizan la lectura in situ (condiciones reales de campo), obteniendo valores fáciles de interpretar misma que comparados con tablas referenciales de acuerdo a suelo y cultivo logran facilitar el cálculo de las necesidades hídricas solo por interpretación la cual es fácil para el productor y técnico, al contrario, la ecuación de Penman-Monteith lo hace de manera supuesta y basándose en datos climáticos dificultando en especial al productor debido a su complejidad de cálculo.

3.2. Recomendaciones

Usar los tensiómetros como una herramienta complementaria a la programación de riego en la parte técnica y en la parte empírica como un indicador practico para el productor con el fin de determinar el momento en que debe irrigar el cultivo.

Emplear el número de tensiómetros en base a la superficie a regar, en áreas donde los suelos son uniformes y de bajo a moderado valor se deben instalar una estación compuesta por un tensiómetro profundo y un poco profundo cada 1 a 2 hectáreas, pero si el terreno es plano, uniforme y el sistema de riego es permanente cada 8 hectáreas, en suelos muy variables o cultivos de alto valor es aconsejable instalar una estación cada 0,5 hectáreas.

4.REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. Referencias bibliográficas

Allen; R, Pereira; L, Raes, D; Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. 56 p.

Baeza, R; Cánovas, G; López, F; Contreras, J. 2020. Uso de Tensiómetros Manuales y Electrónicos para la Gestión del Riego. (en línea). Consultado 12 may. 2024. Disponible en <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/341bbbd5-9403-4e30-bf4f-855945132330>

Briceño, M; Álvarez, F; Barahona, U. 2012. Manual de riego y drenaje. (en línea). Consultado 8 jun. 2024. Disponible en https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_5_Manual_de_Riego_y_Drenaje..pdf

Calvache, A. 2016. Manejo del agua: Principios fundamentales. (en línea). Consultado 8 jun. 2024. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/303691521_MANEJO_DEL_AGUA_PRINCIPIOS_FUNDAMENTALES

Carrillo, R. 2002. El uso de tensiómetros en Colombia para el control del riego. (en línea). Consultado 12 jun. 2024. Disponible en http://www.drcalderonlabs.com/Investigaciones/Uso_de_Tensiometros_en_Colombia_para_Control_de_Riego.htm

CIATA (Centro de Investigación Aplicada y Tecnología Agroalimentaria, España). 1998. Manejo del riego con tensiómetros. (en línea). Consultado 15 jun. 2024. Disponible en <http://www.serida.org/pdfs/270.pdf>

Costa, L. 18 ago. 2022. Origen del riego. (en línea, blog). Consultado 6 jun. 2024. Disponible en <https://aueriego.com/?id=origen-del-riego&in=292>

Contreras, J. 2015. Análisis comparativo de cuatro modelos de evapotranspiración de referencia en la microcuenca del río Quinuas. Cuenca – Ecuador. Tesis Ing. Agr. Universidad de Cuenca. Facultad de Ciencias Químicas. 56 p.

- Consultado 15 jun. 2024. Disponible en <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21725/1/tesis.pdf>
- Delgado, S. 29 jun. 2023. Tensiómetro Irrrometer: ¿Qué es y para qué sirve? (en línea, Blog). Consultado 7 jun. 2024. Disponible en <https://prismab.com/blog/tensiometro-irrometer-que-es-y-para-que-sirve/>
- Farmbrite 23 may. 2024. Mejores prácticas para administrar las necesidades de riego y agua en su granja. (en línea, blog). Consultado 22 jun. 2024. Disponible en <https://www.farmbrite.com/post/best-practices-for-irrigation-management>
- Fitonatura. 28 ene. 2021. Como usar los tensiómetros para medir la humedad del suelo. (en línea, blog). Consultado 22 jun. 2021. Disponible <https://fitonaturaweb.com/tensiometros-y-humedad-del-suelo/>
- Fueyo, M. 1998. Manejo del riego con tensiómetros. (en línea). Consultado 7 jun. 2024. Disponible en <http://www.serida.org/pdfs/270.pdf>
- García, A. 2 ago. 2023. La agricultura de regadío es garantía de seguridad alimentaria. (en línea, blog). Consultado 7 jun. 2024. Disponible en <https://www.iagua.es/blogs/alfonso-exposito-garcia/agricultura-regadio-es-garantia-seguridad-alimentaria>
- Garza, D. 7 jul. 2023. Consecuencias de un mal sistema de riego. (en línea, blog). Consultado 20 may. 2024. Disponible en <https://www.vigaferretera.com/blog/consecuencias-de-un-mal-sistema-de-riego/#:~:text=En%20resumen%2C%20un%20mal%20sistema,para%20minimizar%20estos%20efectos%20adversos.>
- Guevara, J. 2006. La fórmula de Penman-Monteith FAO 1998 para determinar la evapotranspiración de referencia, ETo. (en línea). Revista Terra nueva etapa, Venezuela. 22 (31): 31 - 72. Consultado 7 jun. 2024. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/721/72103103.pdf>
- Gómez, Y; Tornes, N; Guerrero, A. 2024. Programación del riego mediante tensiómetros en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). (en línea). Revista granmense de desarrollo local. 8(2): 17 - 30. Consultado 20 may.

2024. Disponible en <https://revistas.udg.co.cu/index.php/redel/article/view/4380/10808>
- Grasso, R; Berrueta, C; Gustavo, J; Alzugaray, J. 2022. ¿Cuándo y cuánto regar? Manejo del riego con tensiómetros. (en línea). Revista INIA (69): 78 – 81. Consultado 7 jun. 2024. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16541/1/Revista-INIA-69-Junio-2022-15.pdf>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, México). 2021. El agua para la agricultura de las américas. (en línea). Ciudad de México, México. 78 p. Consultado 12 may. 2024. Disponible en <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/6148/BVE17109367e.pdf?sequence=1>
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Ecuador). 2022. Módulo de Información Ambiental y Tecnificación Agropecuaria. (en línea). 32 p. consultado 20 may. 2024. Disponible en https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Modulo_Ambiental_2022/PPT_MOD_AMB_ESPAC_2022_04.pdf
- Intagri. s.f. Uso de sensores de humedad para definir riego (en línea, blog). Consultado 10 jul. 2024. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/uso-de-sensores-de-humedad-para-definir-riego>
- Luke, G. 2004. Tensiómetros – preparación e instalación. (en línea). Consultado 7 jun. 2024. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Neil-Lantzke/publication/268271479_Tensiometers_-_preparation_and_installation/links/552c63b30cf21acb0920d29b/Tensiometers-preparation-and-installation.pdf
- Manhub, A. 2018. Tensiómetro su uso en la planificación de riego. (en línea). Consultado 15 jun. 2024. Disponible en <https://s3.wp.wsu.edu/uploads/sites/2166/2018/01/Tensiometer-Use-in-Scheduling-Irrigation.pdf>

- Mundo riego. 15 mar. 2023. Tensiómetros y lisímetros de succión. (en línea, blog). Consultado 28 jun. 2024. Disponible en <https://mundoriego.es/tensiometros-y-lisimetros/>
- Mora, M. 2018. El tensiómetro. (en línea). Consultado 15 jun. 2024. Disponible en <https://es.scribd.com/document/394939961/154613813-TENSIOMETRO-INFORME-doc-doc>
- Monje, M. 2 dic. 2019. Sensores para la agricultura de regadío (I). (en línea, blog). Consultado 17 jun. 2024. Disponible en <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/sensores-agricultura-regadio-i>
- Orbe, L; Ramos, V. 2020. Evaluación hidrológica - Hidráulica y Optimización de sistema de riego “Virgen de las Nieves” comunidad compañía obraje del cantón Colta – Provincia del Chimborazo mediante el uso de Watergems y Cropwat. Quito – Ecuador. Tesis Msc. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. 187 p.
- Portal frutícola. 10 oct. 2019. El tensiómetro agrícola: Guía de instalación, manejo y lectura para riego. (en línea, blog). Consultado 22 jun. 2024. Disponible en <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/10/10/el-tensiometro-agricola-guia-de-instalacion-manejo-y-lectura-para-riego/>
- PRISMAB. 7 dic. 2023. Las funciones de un tensiómetro digital en agricultura (en línea, blog). Novelda – España. Consultado 15 jun. 2024. Disponible en <https://prismab.com/blog/las-funciones-de-un-tensiometro-digital-en-agricultura/>
- Proain. 16 jun. 2023. La importancia de medir la huella hídrica en la agricultura. (en línea, blog). Consultado 10 jul. 2024. Disponible en <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/la-importancia-de-medir-la-huella-hidrica-en-la-agricultura>
- Proaño, J; Del Cioppo, J; Correa, M. 2004. El tensiómetro. (en línea). Consultado 15 jun. 2024. Disponible en <https://es.slideshare.net/slideshow/el-tensiometro-rd2/63690443>
- Rendon, L. 2013. La tecnificación del riego parcelario. (en línea). Consultado 6 jun. 2024. Disponible <https://camaren.org/documents/tecnificacionriego.pdf>

- Sánchez, D. 2023. Estimación de los requerimientos hídricos de los cultivos del sistema de riego zapotillo, provincia de Loja. Loja, Ecuador. (en línea). Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional de Loja. Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. 125 p. Consultado 20 may. 2024. Disponible en <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/26014/1/Diego%20Alcivar%20Sanchez%20Alejandro.pdf>
- Traxco. 20 ago. 2009. Tensiómetro Irrrometer, indica cuándo regar. (en línea, blog). Consultado 7 jun. 2024. Disponible en <https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/tensiometro-irrometer-indica-cuando-regar>
- Veto. 11 nov. 2020. Tensiómetros, tips para su instalación, interpretación de sus mediciones y mantenimiento (en línea, blog). Consultado 10 jul. 2024. Disponible en <https://blog.veto.cl/2020/11/02/tensiometros-tips-para-su-instalacion-interpretacion-de-sus-mediciones-y-mantenimiento/>
- Villazón, J; Noris, P; Vázquez, M; Ranses, J. 2021. Balance hídrico del suelo como herramienta para la planificación de labores en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín. *Idesia (Arica)* 39(4): 97-101.
- Villablanca, A; Cajias, E; Allende, M. 2015. Uso e instalación de tensiómetros. (en línea). Consultado 15 jun. 2024. Disponible en <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/4575/NR40242.pdf?sequence=1>
- Yara. 1 mar. 2022. El fertirriego reduce en 31% el uso del agua en la agricultura. (en línea, blog). Consultado 12 may. 2024. Disponible en <https://n9.cl/ns2om>

4.2. Anexos



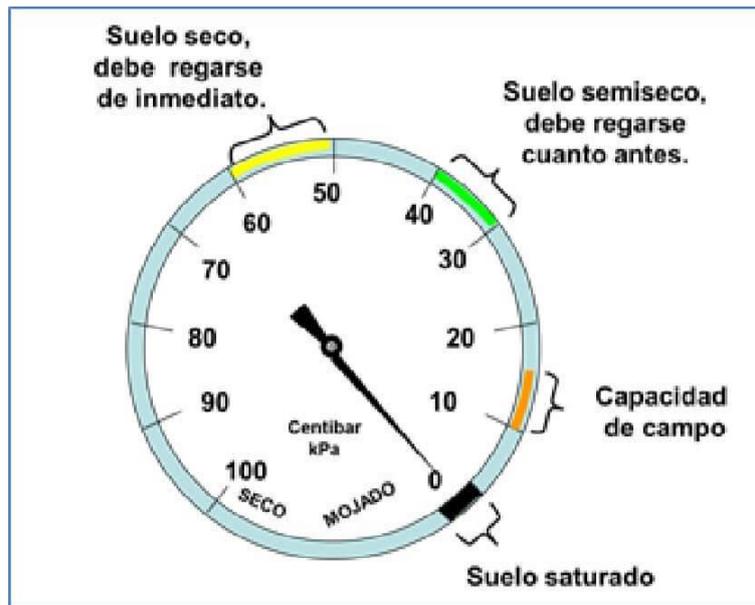
Anexo 1. Uso de tensiómetros en un cultivo de maíz con riego por goteo

Fuente: (Proain 2023).



Anexo 2. Ejemplo de las distancias y profundidad de los tensiómetros

Fuente: (Veto 2020).



Anexo 3. Interpretación de las tensiones de humedad del suelo.

Fuente: (Intagri s.f.).



Anexo 4. Operario realizando registro diario de la lectura del vacuómetro

Fuente: (Baeza *et al.* 2020).