

INFILTROMETRO DE FLOTADOR EN SATURACIÓN

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se enmarca en el campo de dispositivos para la cuantificación la longitud de infiltración de agua en suelos, específicamente en aplicaciones relacionadas con la agricultura, la hidrología, la gestión de recursos hídricos e ingeniería civil.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La medición de la infiltración de agua en el suelo es fundamental para evaluar su capacidad de absorción, beneficiando sectores como la agricultura, la hidrología, el medio ambiente y la ingeniería civil. La velocidad de infiltración influye en el diseño de sistemas de riego y drenaje, fosas sépticas, rellenos sanitarios, represas y canales de distribución de agua. Además, es crucial para la gestión del suelo y el agua, ya que permite controlar la erosión y estimar la escorrentía superficial.

Una correcta medición de la infiltración permite optimizar la aplicación de fertilizantes y agroinsumos en la agricultura, evaluar la capacidad de absorción del suelo en proyectos de construcción y mitigar impactos ambientales en la gestión de recursos hídricos.

El monitoreo preciso de la infiltración es esencial en la planificación urbana y la construcción. En ingeniería, conocer la tasa de infiltración permite diseñar sistemas de drenaje más eficientes, prevenir inundaciones y mejorar la estabilidad del suelo en carreteras, edificios y otras infraestructuras. Además, en el ámbito medioambiental, esta medición contribuye a reducir la contaminación de aguas subterráneas y a evaluar la efectividad de medidas para restaurar ecosistemas naturales.

El modelo de Horton es considerado uno de los estudios más influyentes en la infiltración del agua en el suelo, fue propuesto por Robert E. Horton en 1933, su trabajo sentó las bases para la hidrología moderna. Dicho modelo describe cómo la tasa de infiltración disminuye exponencialmente con el tiempo desde un valor inicial elevado hasta alcanzar una tasa constante o de equilibrio, reflejando el comportamiento típico del suelo conforme se satura.

Esta formulación ha sido fundamental en el desarrollo de métodos de cálculo y predicción en ingeniería hidráulica y gestión de recursos hídricos, y ha sido ampliamente adoptada en modelos computacionales de escorrentía y diseño de infraestructuras. A pesar de sus simplificaciones, el modelo de Horton sigue siendo una referencia esencial para la interpretación de los datos obtenidos con dispositivos como el infiltrometro de flotador en saturación propuesto en esta invención.

En cuanto al Método de Porchet que es el método utilizado aplicar el modelo de Horton se ha catalogado como otro enfoque clásico para medir la infiltración de agua en suelos. Este método se basa en la medición del tiempo que tarda el agua en descender en un hoyo o hueco en el suelo. Se calcula la velocidad de infiltración en función de la variación del nivel de agua que desciende a lo largo del suelo en el tiempo. El método de Porchet es especialmente útil en estudios de campo

debido a su facilidad de uso, aunque puede presentar limitaciones en suelos muy permeables o muy compactos.

Actualmente, existen diversos métodos y dispositivos patentados para medir la infiltración de agua en el suelo, como los infiltrómetros de anillo simple y doble, que requieren mediciones manuales. Sin embargo, la variabilidad del suelo dificulta la implementación de sistemas de riego adecuados, ya que cada tipo de suelo tiene diferentes capacidades de retención y transmisión de agua. Aunque existen tecnologías avanzadas para optimizar el riego, su alto costo y complejidad dificultan su adopción por pequeños agricultores. Además, la gestión del riego en tiempo real sigue siendo un reto, ya que integrar sensores de humedad y sistemas automatizados con modelos predictivos de infiltración aún presenta desafíos técnicos.

Los dispositivos existentes suelen requerir equipamiento auxiliar costoso, operaciones manuales extensivas o técnicas de instalación complejas que dificultan su uso en campo por personal no especializado. Por lo tanto, existe una necesidad técnica no resuelta de contar con un dispositivo portátil, económico, de fácil instalación, y que permita medir simultáneamente o alternar entre flujos verticales y horizontales de infiltración, con precisión y sin alterar las condiciones naturales del suelo.

La patente ES2533927A1 describe un infiltrómetro que realiza mediciones de infiltración en terrenos forestales, agrícolas, pastizales, jardines y campos deportivos de césped, es un dispositivo de anillo simple y de carga variable que permite realizar ensayos de infiltración en todo tipo de terrenos. Adicionalmente ampara un método de instalación y un método de medición para la filtración de agua en el terreno por medio del infiltrómetro inundador. Aunque efectivo, presenta limitaciones en cuanto a la automatización y la medición de la velocidad de flujo en múltiples direcciones.

La patente ES2382973B1 describe un infiltrómetro de disco de gran autonomía capaz de medir directamente los valores de tasa de infiltración, es adaptable y con este se pueden realizar varias medidas simultáneas en puntos diferentes y alternativamente, permitiendo realizar medidas de larga duración en un punto y cuya medida es independiente de la posición relativa entre el depósito y el tubo de mariotte del infiltrómetro. Adicionalmente cuenta con un procedimiento de medida de la tasa de infiltración en un suelo empleando el infiltrómetro de disco. Su diseño no permite medir simultáneamente las velocidades verticales y horizontales del agua, lo cual restringe su aplicación en estudios más complejos de infiltración y dispersión del agua en el subsuelo.

La patente colombiana 15108809 se refiere a un dispositivo para la cuantificación de la infiltración de agua en el suelo que permite un hincado uniforme, preciso y nivelado previo al desarrollo de las pruebas de infiltración, un elemento flexible con escala y una proporción en sus dimensiones, que lo hace ajustable según las características hidrofísicas del suelo y la especie vegetal asociada al suelo. Adicionalmente cuenta con un método para la instalación, registro y la consolidación de resultados. La patente no abarca la capacidad de medir flujos de agua en múltiples direcciones.

Por su parte las patentes CN103743660A, US10739242B2, WO2019153782, CN103776747A y CN104897544A proponen innovaciones en dispositivos y métodos para medir la tasa de infiltración de agua en el suelo bajo diversas condiciones y aplicaciones. Sin embargo, a pesar de las diferencias en diseño y metodología, La patente CN103743660A se enfoca en la tasa de infiltración inicial con un medidor de tipo anillo, mientras que la US10739242B2 introduce un infiltrómetro de carga

descendente con monitoreo en tiempo real. La WO2019153782 utiliza un sistema de rastreo isotópico para evaluar coeficientes de permeabilidad en suelos arenosos, y la CN103776747A simula condiciones de lluvia natural mediante un sistema de goteo ajustable. Finalmente, la patente CN104897544A optimiza la medición en campo con un instrumento de doble anillo antievapaporación. A pesar de sus aportes significativos en precisión, eficiencia y adaptabilidad, la rapidez del flujo de agua es un factor crítico, como en estudios hidrológicos y de gestión de recursos hídricos.

Los artículos de investigación publicados con referente a la temática abordada, presentan diferentes enfoques para la medición de la infiltración del agua en el suelo y la determinación de la conductividad hidráulica, utilizando tecnologías innovadoras y accesibles. El "Infiltrómetro de litosfera" propone un dispositivo automatizado de bajo costo con piezas impresas en 3D y componentes electrónicos estándar, diseñado para ser utilizado tanto por investigadores experimentados como por usuarios sin experiencia técnica. Su diseño robusto permite una nivelación rápida y la medición en tiempo real de la tasa de infiltración y la conductividad hidráulica, con la capacidad de descargar datos vía Wi-Fi. Por otro lado, el estudio del "Modelado numérico de infiltrómetros de doble anillo" se enfoca en la validación de ecuaciones matemáticas (Philip y Parlange) para suelos heterogéneos y anisotrópicos, determinando condiciones óptimas para la precisión de las mediciones de la conductividad hidráulica saturada bajo diferentes combinaciones de diámetros de anillo y condiciones de suelo, contribuyendo a una mejor aplicación de los infiltrómetros de doble anillo en escenarios complejos.

En comparación, ambos estudios comparten el objetivo de mejorar la precisión y accesibilidad de las mediciones de infiltración en suelos, pero divergen en sus métodos y aplicaciones. Mientras que el "Infiltrómetro de litosfera" se centra en la automatización y accesibilidad del dispositivo de medición, el "Modelado numérico" profundiza en la interpretación de los datos mediante modelos matemáticos avanzados. De manera similar, el "Sistema Arduino y sensor ultrasónico" y el "Infiltrómetro de anillo simple automatizado" también apuestan por la automatización y la reducción de costos mediante el uso de microcontroladores Arduino y sensores ultrasónicos, ofreciendo una alternativa práctica y económica a los métodos tradicionales. Los artículos consultados demuestran una tendencia hacia la democratización de las herramientas de medición de la infiltración del agua en suelos, combinando innovación tecnológica con metodologías científicas robustas, permitiendo un uso más amplio y preciso en estudios de suelo, manejo de riego y modelado ambiental.

Es crucial equilibrar el uso eficiente del agua, la productividad agrícola y la sostenibilidad ambiental, especialmente en zonas con estrés hídrico. Para ello, se necesitan dispositivos precisos que midan la longitud de infiltración de agua en el suelo, optimizando el riego, reduciendo la lixiviación de nutrientes y mejorando la eficiencia en sectores agrícolas y urbanos.

La presente invención propone un dispositivo compacto, ligero y económicamente accesible para la medición precisa de la longitud de infiltración de agua en cualquier tipo de suelo así este cuente con condiciones ambientales adversas, ofreciendo alta precisión en la toma de datos en campo y un diseño que facilita su transporte e instalación en diversos terrenos. Adicionalmente, permite medir la velocidad del agua en direcciones verticales y horizontales, su aplicación se enfoca en la optimización del riego, el ahorro de agua, la mejora de la salud del suelo y la prevención de la erosión, proporcionando información crítica para la toma de decisiones en tiempo real para agricultores y gestores de recursos hídricos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

La infiltración es el proceso por el cual el agua de la superficie terrestre penetra en el suelo, dependiendo de factores como la textura, estructura y humedad previa del terreno. Su tasa se mide en pulgadas, centímetros o milímetros y varía en función del tiempo (horas, minutos o segundos) según las necesidades del usuario. Cuando la precipitación o el riego superan la capacidad de infiltración del suelo, se genera escorrentía, lo que puede provocar erosión, pérdida de nutrientes y desperdicio de agroinsumos.

Los suelos con buena porosidad, como los limosos y humíferos, facilitan la infiltración y la retención de humedad, mientras que los arcillosos, debido a sus partículas finas y compactas, presentan una infiltración más lenta, lo que puede derivar en saturación y anegamiento. Estos aspectos son clave no solo en la agricultura, sino también en la construcción, la gestión del agua urbana y la mitigación de desastres naturales.

Para analizar cómo el agua penetra en distintos tipos de suelo bajo condiciones controladas, se emplean herramientas como infiltrómetros, parcelas de escurrimiento y simuladores de lluvia. Estos estudios son esenciales en la gestión del riego agrícola, ya que permiten determinar la cantidad de agua necesaria para los cultivos sin desperdiciar recursos. Además, la infiltración influye en la estabilidad del suelo y en su capacidad para absorber y filtrar contaminantes, desempeñando un papel fundamental en el ciclo hidrológico y la conservación del agua. Modelos matemáticos y ecuaciones predictivas, como las propuestas por Horton, han sido validadas durante décadas para estimar la infiltración y ayudar en el diseño de estrategias sostenibles para el manejo del suelo y del agua.

La velocidad de infiltración, expresada comúnmente en cm/h o mm/h, mide la capacidad del suelo para absorber agua desde la superficie hacia su interior. Inicialmente, esta velocidad es alta en suelos secos, pero disminuye conforme los poros del suelo se saturan. Sin embargo, la medición de la infiltración presenta diversas dificultades que afectan la precisión y representatividad de los datos. Los métodos tradicionales, como los infiltrómetros y las parcelas de escurrimiento, pueden alterar las condiciones naturales del suelo, generando resultados poco realistas.

Por ejemplo, los infiltrómetros de doble anillo tienden a sobrestimar la infiltración al minimizar el flujo lateral del agua, mientras que los simuladores de lluvia requieren un alto nivel de control y no siempre reproducen fielmente las condiciones naturales de precipitación. Además, los datos obtenidos en experimentos locales no siempre pueden escalarse con precisión a modelos regionales o globales.

La medición de la infiltración no solo es relevante en la agricultura, sino también en la construcción, donde permite diseñar sistemas de drenaje efectivos y prevenir inundaciones o problemas de estabilidad del terreno. En entornos urbanos, la infiltración controlada se aplica en infraestructuras verdes como jardines de lluvia y pavimentos permeables, que ayudan a gestionar el agua pluvial y reducir el riesgo de inundaciones. En la gestión de cuencas hidrográficas, comprender mejor la infiltración permite desarrollar estrategias para la recarga de acuíferos, la conservación del agua y la protección de ecosistemas sensibles. En ingeniería civil, se considera la infiltración al evaluar la estabilidad de taludes y la capacidad de carga del suelo en proyectos de infraestructura.

La infiltración es un proceso clave en múltiples sectores, desde la agricultura hasta la gestión ambiental y la construcción. El desarrollo de nuevas tecnologías que permitan medir y gestionar la infiltración con mayor precisión y sin alterar las condiciones naturales del suelo representa una

oportunidad significativa para optimizar el uso del agua y los agroinsumos, mejorar la sostenibilidad ambiental y reducir costos operativos.

El dispositivo propuesto es una innovadora herramienta y metodología diseñada para medir la velocidad del agua en direcciones vertical y horizontal, lo que resulta fundamental para evaluar la capacidad de absorción del suelo, optimizar la eficiencia de los sistemas de riego y analizar el comportamiento de los flujos subterráneos. Su funcionamiento se basa en un sistema aberturas que, que permiten la medición precisa de la velocidad del agua en ambas direcciones.

Su estructura compacta y modular facilitará su adaptación a las diversas condiciones ambientales del suelo y requisitos específicos para investigaciones en campo. Además, permite alternar de manera eficiente entre la medición de la velocidad de infiltración vertical y horizontal del agua en el suelo.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La figura 1 muestra una vista en perspectiva de una realización del dispositivo infiltrómetro de flotador en saturación de acuerdo con la invención, con un corte frontal para poder representar como está construido el dispositivo en su interior, permitiendo una visualización de la probeta y el flotador.

La figura 2 muestra una vista a las piezas internas de la probeta y el flotador que componen el dispositivo infiltrómetro de flotador en saturación.

La figura 3 ilustra un corte a la vista frontal de una realización del dispositivo infiltrómetro de flotador en saturación de la invención.

La figura 4 muestra una vista lateral del cilindro, el sistema de orificios de orificios y la tapa superior sin la regla cilíndrica del infiltrómetro de flotador en saturación.

La figura 5 muestra una vista en perspectiva de una realización del dispositivo infiltrómetro de flotador en saturación de acuerdo con la invención introducido en la tierra, con el corte frontal para poder representar como está construido el dispositivo en su interior, permitiendo una visualización de la probeta y el flotador.

La figura 6 ilustra una vista en perspectiva de una realización del dispositivo infiltrómetro de flotador en saturación de acuerdo con la invención introducido en la tierra junto con el esquema de conexión al software y curva de infiltración generada automáticamente, la figura cuenta con un corte frontal para poder representar como está construido el dispositivo en su interior.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un dispositivo modular y compacto, conformado por múltiples piezas que se ensamblan en una unidad funcional, destinado a la medición precisa y directa de la longitud de infiltración del agua en el suelo. Su funcionamiento se basa en la interacción de componentes específicos, cada uno con una función técnica definida, orientada a garantizar la fiabilidad y exactitud de las mediciones obtenidas. El diseño práctico del dispositivo facilita su

implementación in situ, permitiendo realizar múltiples pruebas durante una misma jornada de campo, y está construido con materiales resistentes a la corrosión para asegurar su durabilidad en diversas condiciones ambientales.

La invención permite realizar mediciones continuas en tiempo real, lo cual resulta especialmente útil en estudios prolongados o en situaciones donde el acceso permanente al equipo es limitado. La recopilación sistemática de datos posibilita análisis comparativos y la elaboración de informes detallados sobre el comportamiento del agua en distintos tipos de suelo.

El dispositivo incluye un cilindro (1) con un sistema de orificios (7) dispuestas simétricamente a lo largo y ancho de su superficie, lo que permite la entrada de agua desde diferentes direcciones del entorno, simulando un flujo más natural y representativo del comportamiento real del agua en el suelo. Esta capacidad de análisis multidireccional mejora la representación del flujo real en condiciones naturales, superando las limitaciones de dispositivos que solo evalúan unidireccionalmente. El diseño favorece así una mayor eficiencia operativa y reduce el margen de error frente a otros métodos de medición convencionales.

Cuenta con tapa superior (4) removible con un orificio centrado para la conducción de una regla cilíndrica (2) y varios orificios circulares que permiten la circulación del flujo del agua, está diseñada con material plástico o metálico, con escala centimétrica, acoplada a un flotador circular (3) ubicado en su extremo inferior. Este diseño garantiza que la regla cilíndrica (2) permanezca en posición vertical durante el proceso de medición, permitiendo lecturas precisas del nivel de agua a medida que se produce la infiltración. Para asegurar la alineación del sistema, el dispositivo en la parte superior por uno de sus bordes incorpora un sistema de nivelación integrado (5) que facilita su instalación vertical sobre suelos de diferentes texturas y pendientes, reduciendo errores causados por inclinaciones.

La precisión del sistema se ve incrementada mediante la integración de un sensor lumínico (6) ubicado en la parte superior del dispositivo por uno de sus bordes frontales, capaz de detectar variaciones en la posición de la regla cilíndrica (2) a lo largo del tiempo. Este sensor registra automáticamente el descenso del nivel de agua dentro del cilindro (1), eliminando la necesidad de observación directa continua y mejorando la eficiencia del trabajo en campo, especialmente en condiciones ambientales adversas. Este enfoque automatizado aporta ventajas significativas para la recopilación de datos en condiciones de campo adversas.

El diseño del dispositivo contempla la resistencia a la corrosión mediante el uso de materiales adecuados, lo que permite su uso repetido y prolongado en diferentes entornos. Además, el diseño modular del sistema facilita su transporte, montaje, desmontaje y mantenimiento, sin necesidad de herramientas especializadas ni personal técnico avanzado.

Otra de las características innovadoras de la presente invención es la integración con un programa informático complementario, destinado al registro manual de los datos obtenidos mediante el dispositivo. El cual cuenta con una interfaz gráfica que permite al usuario ingresar valores de tiempo, nivel de agua y condiciones del suelo. A partir de estos datos, el sistema calcula automáticamente la tasa de infiltración (en cm/h o mm/h), genera curvas de infiltración en tiempo real —incluyendo modelos matemáticos como el de Horton— y permite la exportación de la información en formatos compatibles con hojas de cálculo (.CSV) e informes técnicos (.PDF), facilitando su análisis y documentación.

Adicionalmente se cuenta con un método para medir la velocidad de infiltración del agua en suelos utilizando un dispositivo específico, que comprende las etapas de instalación vertical del dispositivo mediante su sistema de nivelación integrado, llenado del cilindro con agua hasta un nivel aforado, captura de datos temporales a partir de los cambios lumínicos detectados por un sensor o mediante un cronómetro auxiliar, y determinación de la velocidad de infiltración con base en las variaciones del nivel de agua registradas a lo largo del tiempo.

Cada componente de la invención ha sido concebido para enfrentar los desafíos prácticos que suelen presentarse durante las mediciones de infiltración, como suelos irregulares, inclinados o con diferentes texturas. Gracias a su diseño modular, el dispositivo es de fácil montaje, uso y mantenimiento, sin requerir herramientas especializadas ni personal técnico avanzado.

Si bien su aplicación principal se enfoca en la agricultura donde permite optimizar los sistemas de riego mediante datos precisos sobre la capacidad de absorción del suelo, el dispositivo también es altamente útil en hidrología, gestión de recursos hídricos y estudios ambientales. Asimismo, permite el análisis del comportamiento de flujos subterráneos, lo cual resulta crucial para la conservación del agua y la prevención de procesos erosivos.

En síntesis, la presente invención ofrece una solución integral para la medición de la infiltración del agua en el suelo, combinando portabilidad, precisión, automatización y adaptabilidad. Entre sus principales ventajas técnicas se encuentran su capacidad de medir flujos en direcciones vertical y horizontal; su sistema de lectura precisa mediante regla cilíndrica (2) con un flotador circular (3); la automatización por sensor lumínico (6); la instalación nivelada garantizada; la resistencia a condiciones ambientales adversas; y su facilidad de transporte, uso repetido y operación sin personal especializado. Estas características convierten al dispositivo en una herramienta innovadora, accesible y eficaz para su uso en escenarios reales de campo, tanto en contextos agrícolas como en investigaciones ambientales y de ingeniería del agua.