

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS:

**Efecto de retenedores de humedad en la evaporación del agua
edáfica en una región semiárida de Ayacucho, Perú. 2023**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTADO POR:

Bach. Alex Sebastian TINEO OCHANTE

ASESORA:

Ph.D. Marhleni CERDA GÓMEZ

AYACUCHO - PERÚ

2024

Dedicatoria

A Dios, por darme la oportunidad de llegar a

A mis padres, Alex y Juliana, que
me apoyaron y me incentivaron a
continuar con mis estudios

Agradecimientos

A mi querida alma mater “Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga”, institución que me permitió desarrollarme académicamente.

A la Facultad de Ciencias Agrarias, y en especial a los docentes de la Escuela Profesional de Agronomía, que compartieron sus conocimientos y experiencias en las aulas, laboratorios y en los centros experimentales.

A todos los maestros que tuve la oportunidad de conocer, en especial a la Dra. Marhleri Cerda Gómez, que me brindó su asesoría en el desarrollo de la presente tesis.

A todos mis compañeros de estudios que me acompañaron durante el desarrollo de esta hermosa carrera que es la Ingeniería Agronómica.

Índice

Dedicatoria	2
Agradecimientos	3
Resumen	9
Abstract	9
INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO I.....	11
MARCO TEÓRICO	11
1.1. ANTECEDENTES	11
1.1.1. Internacional.....	11
1.1.2. Nacional	16
1.1.3. Local.....	17
1.2. BASES TEÓRICAS	18
1.2.1. Relación suelo-agua-planta	18
1.2.2. Agua edáfica.....	18
1.2.3. Tipos de agua edáfica.....	19
1.2.4. Estados de humedad del suelo.....	20
Capacidad de Campo (CC).....	21
Punto de Marchitez Permanente (PMP)	21
1.2.7. Fuerzas de retención del agua edáfica.....	23
Potencial gravitacional (ψ_g).....	26
Potencial de presión (ψ_p).....	26
Potencial mátrico (ψ_m)	26
Potencial de solutos (ψ_s) o potencial osmótico(ψ_o)	26
1.2.6. Lámina de agua	28
1.2.7. Evaporación del agua del suelo.....	29
1.2.8. Retenedores de humedad.....	29
1.2.9. Características de los hidroretenedores	30
1.2.10. Acolchado (mulch).....	31
1.2.11. Hidrogel.....	33
1.2.12. Diatomitas	35
1.2.13. Zeolitas.....	37
CAPÍTULO II.....	39
METODOLOGÍA	39
2.1. Condiciones.....	39

2.1.1. Ubicación	39
2.1.2. Características climáticas	41
2.1.3. Características del suelo	41
2.2. Variables	43
2.2.1. Variable independiente:.....	43
2.2.2. Variables dependientes:.....	43
2.3. Medición de variables dependientes	43
2.3.1. Evaporación del agua del suelo	43
2.3.2. Índice Reas	44
2.4. Población y muestra	44
2.5. Materiales y equipos.....	44
2.6. Diseño experimental.....	45
2.7. Descripción de tratamientos	45
2.8. Unidad experimental (U.E.)	46
2.9. Instalación y conducción del experimento	47
2.10. Procesamiento de datos	48
2.11. Experimento complementario	48
2.11.1. Variables del experimento complementario.....	49
2.11.2. Tratamientos del experimento complementario	49
CAPÍTULO III	51
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
3.1. De la influencia de los retenedores de humedad en la evaporación del agua.....	51
3.2. De la influencia de los retenedores de humedad en el índice de reducción de la evaporación del agua del suelo (Reas).....	54
3.3. Del experimento complementario	58
CAPÍTULO IV	61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
4.1. Conclusiones	61
4.2. Recomendaciones.....	61
REFERENCIAS	62
ANEXO	69

Índice de Tablas

Datos geográficos de la ubicación del experimento	39
Análisis de suelo de Pampa del Arco	42
Dimensión e indicadores de las variables	43
Lista de materiales y equipos	44
Tratamientos: retenedores de humedad y testigo	46
Variables del experimento complementario	49
Tratamientos del experimento complementario	49
Promedio de lámina de agua edáfica evaporada diaria expresada en mm para todos los tratamientos	51
Análisis de Varianza para la evaporación del agua edáfica en diferentes fechas del experimento	53
Prueba de Tukey del efecto de los distintos tratamientos en la evaporación del agua edáfica en distintas fechas del experimento	53
Reducción de la evaporación del agua del suelo (Reas) para los retenedores respecto al testigo. Pampa del Arco, 2770 msnm.	55
Análisis de varianza para la reducción de la evaporación del agua edáfica	56
Prueba de Tukey para la reducción de la evaporación del agua edáfica	56
Evaporación del agua edáfica expresada en lámina de agua (mm/día)	58

Índice de Figuras

Estados de humedad del suelo	22
Límites de capacidad de campo y punto de marchitez	23
Fuerza de succión según el contenido volumétrico de agua.....	24
Relación entre el espesor de las capas y la tensión con la que se encuentran retenidos en las superficies de los constituyentes sólidos.....	25
Esquema de una curva de retención de agua de un suelo.....	27
Ubicación geográfica del experimento	40
Vista satelital de la ubicación del experimento	40
Evaporímetro de balanza	47
Distribución de los tratamientos	48
Distribución de los tratamientos del experimento complementario	50
Evaporación diaria del agua edáfica durante el experimento	52
Reducción de la evaporación del agua del suelo (Reas) para los retenedores respecto al testigo. Pampa del Arco, 2770 msnm (día 1 al 5 del experimento).....	55
Reducción de la evaporación del agua del suelo (Reas) para los retenedores respecto al testigo. Pampa del Arco, 2770 msnm (día 1 al 14 del experimento).....	57
Evaporación diaria del agua edáfica en tratamientos sin y con cobertura vegetal	59
Evaporación diaria del agua edáfica en tratamientos con y sin cobertura vegetal para cuatro niveles de humedad inicial	59
Comparativa gráfica de la evaporación de agua edáfica en suelos con y sin cobertura vegetal (día 01)	60

Índice de Anexos

1. Tabla de registro diario de los pesos de cada tratamiento con sus repeticiones	69
2. Tabla de pérdida de agua acumulada durante el experimento	73
3. Tabla de registro de porcentaje de humedad de los tratamientos	74
4. Tabla de lámina de agua evaporada de los tratamientos y sus repeticiones	75
5. Tabla de índice Reas acumulada con sus promedios.....	76
6. Análisis de la Varianza y prueba de Tukey para la evaporación de agua de cada fecha del experimento	76
7. Análisis de varianza y prueba de Tukey para el índice Reas para cada fecha del experimento	81
8. Anexo fotográfico.....	87

Resumen

Uno de los principales problemas de las regiones semiáridas es la escasez de agua, que perjudica directamente la actividad agrícola, reduciendo los rendimientos. En este contexto los retenedores de humedad brindan una alternativa, de favorecer a la retención de humedad en el suelo, por lo que es importante conocer su eficiencia. Con el objetivo de evaluar la influencia de retenedores de humedad en la evaporación del agua edáfica y en la reducción de evaporación de agua del suelo (Reas) se realizó el presente trabajo, utilizando una metodología sencilla consistente en el empleo de recipientes plásticos conteniendo 4 kg de suelo a los que se aplicaron como tratamientos: mulch vegetal (2,5 t ha⁻¹), zeolita (0,5 t ha⁻¹), diatomita (0,5 t ha⁻¹) e hidrogel (250 kg ha⁻¹) además de un testigo; cada uno con tres repeticiones. Se evaluó la evaporación diaria en lámina de agua en milímetros y el índice Reas en porcentaje durante dos semanas, posteriormente se realizaron los respectivos Análisis de Varianza (ANVA). Los resultados evidencian la eficiencia del mulch, el cual aporta un índice Reas de 42%, siendo mayor que el resto de tratamientos, como la diatomita con 6.17%, la zeolita con 4.94% y el hidrogel con 3.91%.

Palabras clave: mulch, diatomita, zeolita, hidrogel, retenedores de humedad

Abstract

One of the main problems in semi-arid regions is water scarcity, which directly harms agricultural activity, reducing yields. In this context, moisture retainers provide an alternative to favor soil moisture retention, so it is important to know their efficiency. With the objective of evaluating the influence of moisture retainers on soil water evaporation and on the reduction of soil water evaporation (Reas), the present study was carried out using a simple methodology consisting of the use of plastic containers containing 4 kg of soil to which the following treatments were applied: vegetable mulch (2.5 t ha⁻¹), zeolite (0.5 t ha⁻¹), diatomite (0.5 t ha⁻¹) and hydrogel (250 kg ha⁻¹), in addition to a control; each with three replicates. The daily evaporation in water sheet in millimeters and the Reas index in percentage were evaluated during two weeks, and the respective analysis of variance (ANVA) was carried out. The results show the efficiency of the mulch, which provides a Reas index of 42%, higher than the rest of the treatments, such as diatomite with 6.17%, zeolite with 4.94% and hydrogel with 3.91%.

Keywords: mulch, diatomite, zeolite, hydrogel, moisture retainers

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad y accesibilidad del agua son factores clave que afectan la productividad de los cultivos, por cuanto la escasez de agua es una complicación grave en agricultura a nivel global, y en áreas semiáridas como Pampa del Arco, Ayacucho, resulta agudo, debido a la escasa precipitación (550 mm al año), elevada radiación y temperatura, que determinan elevada evaporación (1345 mm al año) alcanzando un índice de aridez de 0,4, que permitió de acuerdo a los estándares internacionales, clasificar como una región semiárida.

La escasez de agua limita el crecimiento de los cultivos y reduce sus cosechas de manera significativa. Por cuanto contribuir a un mayor uso del agua en estas áreas, es importante considerar emplear ciertos insumos básicamente retenedores de humedad como hidrogeles, biochar, residuos orgánicos y polímeros superabsorbentes que ayuden a retener el agua en el suelo. Sin embargo, es fundamental conocer las características de los diversos productos disponibles en el mercado que ayude a tomar decisiones adecuadas y convenientes en suelos agrícolas, así como la eficiencia de los mismos. La elección del tipo de retenedor depende de las condiciones específicas del suelo, clima, así como las necesidades de los cultivos.

Para la determinación de la tasa de evaporación del agua desde el suelo, existe una metodología sencilla, desarrollada en el Área de Suelos de la Escuela Profesional de Agronomía de la UNSCH (Tineo, Fernández, Cabrera y Girón, 2019), inventiva que se emplea en la presente investigación.

Se evaluó la influencia de cuatro retenedores de humedad (tres de origen natural y uno sintético) en la evaporación del agua desde el suelo, así como en el índice “Reducción relativa de la evaporación del agua del suelo” (Reas) y contrastarlos respecto de un suelo sin retenedor, habiéndose planteado los objetivos siguientes:

1. Evaluar la influencia de retenedores de humedad en la evaporación del agua edáfica, en una región semiárida de Ayacucho, 2023.
2. Evaluar la influencia de retenedores de humedad en el índice de reducción de la evaporación del agua del suelo, en una región semiárida de Ayacucho, 2023.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. Internacional

Barón et al. (2007) evaluaron el uso de hidrogeles en aplicaciones forestales, para lo cual utilizaron como muestra tres hidrogeles sintetizados mediante la técnica de polimerización en suspensión inversa (PSI) y un hidrogel comercial como muestra comparativa. En su investigación concluyeron que,

Definitivamente se establece la opción de los hidrogeles como alternativa válida para la conservación de recursos hídricos y de suelo, se disminuye el consumo de agua, los suelos mejoran sus propiedades de liberación y retención y se logra mayor producción y resistencia de las especies en condiciones hostiles.

La alteración de la curva de retención de humedad por parte de los hidrogeles es benéfica desde todo punto de vista, ya que en el intervalo de trabajo de las plantas, los suelos liberan mayor cantidad de agua significando alivio energético para las plantas, por lo que estas pueden emplear esa energía en funciones de crecimiento o formación de frutos, entre otras actividades; adicionalmente, se libera menos cantidad de agua gravitacional (no aprovechable), aumentando la cantidad de agua útil en el suelo. (p. 10)

Zribi et al. (2011) en su investigación sobre los efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas, la cual consistió en una revisión bibliográfica sobre el acolchado orgánico e inorgánico, encontraron que:

Los materiales de acolchado reducen significativamente la evaporación de agua y promueven la conservación de agua en el suelo en relación a suelos desnudos. La eficiencia de los distintos materiales en la reducción de la evaporación directa de agua del suelo depende fundamentalmente de las propias características del material utilizado pero parece ser ambiente-dependiente, ya que un buen número de trabajos indican que el acolchado plástico debido a su impermeabilidad es el más eficaz, pero otros trabajos concluyen que, bajo ciertas condiciones como la temperatura de suelo elevada, algunos acolchados orgánicos pueden ser más eficientes que el plástico. (p.6)

Yañez y Pedroza (2012) evaluaron retenedores de humedad edáfica y su impacto en el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz en la Comarca Lagunera, México, con el objetivo de identificar el efecto de diferentes dosis de biocomposta e hidrogel, como fuentes de retención de humedad en el suelo, en el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz forrajero, para lo cual utilizaron el diseño de bloques al azar en un arreglo de parcelas divididas, concluyendo lo siguiente:

La aplicación de hidrogel incrementó en promedio un 20.8 % más el contenido de humedad en el suelo, lo cual repercutió en un incremento significativo de la altura de planta, grosor de tallo, ancho y largo de las hojas, así como un mayor volumen del sistema radicular; en tanto que, la biocomposta no produjo ningún efecto en el crecimiento y desarrollo del cultivo. Los resultados anteriores respecto al hidrogel, representa una tecnología pertinente y propia de ser aplicada en la región, por el ahorro de agua que ello significa en la agricultura y el incremento en la productividad de forraje. (p.4)

Yañez et al. (2014) en su investigación realizada en el distrito de Mapimí, estado de Durango, México, evaluaron el impacto del compost y el hidrogel en la retención de humedad edáfica y en el crecimiento de maíz, utilizando un sistema de bloques al azar en parcelas divididas con diferentes dosis de hidrogel (0, 12.5 y 25 kg. ha⁻¹) y compost (0 y 20 tn. ha⁻¹), logrando concluir que,

El hidrogel en cualquiera de las dosis aplicadas (12.5 y 25 kg ha⁻¹) aumentó la altura, espesor del tallo y largo y ancho de la hoja bandera del maíz, principalmente de 74 a 96 días después de la siembra. El contenido de humedad del suelo fue mayor en las tres profundidades del suelo medidas (15, 30 y 60 cm) en los tratamientos con hidrogel que en el tratamiento control sin hidrogel, con efecto más evidente aplicando 25 kg ha⁻¹, que es más constante para manteniendo la humedad del suelo en el tiempo. El volumen de la raíz también fue significativamente mayor cuando se aplicó hidrogel en alguna de las dosis ensayadas con relación al control. El crecimiento y desarrollo de las plantas no se vieron afectados por el compost. (p. 14)

Gómez (2015) investigó el efecto de distintos mulchings sobre la humedad y temperatura del suelo, estado hídrico, incidencia de malezas y crecimiento de un cultivo en implantación de mandarina nova en concordia, entre ríos, en la ciudad de Esperanza, provincia Santa Fé, Argentina, mencionando en sus conclusiones lo siguiente:

Los mulchings permiten incrementar entre 16 y 96% la humedad volumétrica del suelo a los 10 cm de profundidad durante la primavera y el verano, alcanzándose los mayores valores con la cobertura de chip de eucalipto. (p.44)

Cruz et al. (2016) evaluaron la captación de humedad y el uso de retentores de humedad en el establecimiento de buffel en el distrito de Mapimí, estado de Durango, México, mediante el uso de cuatro dosis de hidrogel: 0, 5, 10 y 15 kg ha⁻¹ y dos dosis de vermicomposta: 0 y 40 t ha⁻¹. El efecto de la dosis de hidrogel fue independiente del efecto de la dosis de vermicomposta, respecto a la retención de humedad en el suelo y el crecimiento y desarrollo de la planta. Sus resultados los llevaron a concluir que,

El contenido de humedad edáfica fue significativamente mayor cuando se aplicó hidrogel independientemente de la dosis aplicada, lo cual repercutió en una mayor emergencia de plántula, mayor altura, peso de materia seca por planta y cobertura vegetal. Un menor efecto se identificó al aplicar la vermicomposta tanto en contenido de humedad en el suelo, como de la respuesta en el crecimiento y desarrollo del pasto. (p. 13)

Yañez et al. (2018) evaluaron la influencia de rastrojos de maíz e hidrogel en la sobrevivencia de dos especies de pastos, en el distrito San Luis del Cordero, estado de

Durango, México utilizando parcelas grandes con dosis de rastrojo de maíz (0 y 10 t ha⁻¹), parcelas medianas con dosis de hidrogel (0, 10 y 20 kg ha⁻¹) y parcelas chicas con dos especies de pastos, llegando a concluir que,

La aplicación de rastrojo incrementó en un 16.9 % el contenido de humedad del suelo, lo cual incrementó significativamente la producción de biomasa aérea. Las dosis de hidrogel sólo influyeron en un mejor porcentaje de establecimiento y un mayor contenido de humedad edáfica durante los primeros 15 días de realizado el trasplante, sin ningún efecto posterior durante la fase de crecimiento y desarrollo de los pastos. (p. 14)

Al- Othman et al. (2020) en su investigación sobre el efecto del acolchado y del riego por goteo subterráneo sobre el estado hídrico del suelo en ambientes áridos, realizada en Arabia Saudí, utilizaron un diseño por bloques completamente al azar en un sistema de riego SDI fabricado por ellos mismos, con dos profundidades de riego y 3 tratamientos (sin mulch y dos mulchs distintos) y concluyeron que:

Se descubrió que la inclusión de mantillo en la superficie del suelo mejora la capacidad de retención de agua del suelo. El sistema SDI redujo la cantidad de agua requerida cuando la línea de goteo se cubrió con PTW. Por lo tanto, se recomienda que la metodología de un sistema SDI proporcione un método útil para tratar el suelo a través de la instalación de un D1, a 15 cm y cubriendo el suelo con PTW donde no se requiere un costo adicional. Tal tratamiento proporcionará una zona activa de suelo a las raíces de los cultivos de hortalizas. Por lo tanto, creemos que la estrategia de tratamiento del suelo descrita en el presente estudio podría restaurar altos niveles de recursos hídricos en la tierra arcillosa de las granjas de Arabia Saudita a un costo significativamente bajo. (p.10)

Zhen Li y Smiths (2020) investigaron sobre el efecto de la capa superior del suelo sobre la humedad y la evaporación dinámica del mismo, para lo cual utilizaron una combinación de simulaciones numéricas y experimentos de evaporación. Sus resultados muestran que,

La tasa de evaporación y cerca de la superficie La humedad del suelo puede verse afectada significativamente por la capa superior del suelo capa. El alcance del

efecto depende de las capas, secuencia, espesor y propiedades de las dos capas. Sin embargo, cuando es significativo, el efecto de la capa superior del suelo debe evaluarse y considerarse en el modelado hidrológico para obtener predicciones más confiables. (p.13)

Caires et al. (2021) en su investigación sobre la retención de agua en sustratos con hidrogel, influencia de las características del material y nivel de fertilización; utilizaron tres formas de hidrogel en diferentes dosis para evaluar su efecto en la retención del agua edáfica y concluyeron que:

La adición de hidrogel promueve mejoras en la capacidad de retención de agua de los sustratos, sin embargo, está influenciada por la composición y la presencia de fertilizantes químicos. Cuanto mayor sea el sustrato CE, menor será el potencial de hidratación del hidrogel. La forma de aplicación del hidrogel, seco o prehidratado, no influye en la capacidad de retención de agua en los sustratos. El hidrogel aplicado sobre el sustrato, una vez deshidratado, mantendrá su capacidad de rehidratación. (p.15)

Nascimento et al. (2021) en su investigación sobre las limitaciones de temperatura en el uso de hidrogeles sobre leptosoles en una región semiárida de Brasil, evaluaron el efecto de la temperatura del suelo sobre los atributos físicos del suelo enmendado con un hidrogel de acrilamida-co-acrilato de potasio, mediante un experimento de laboratorio en un esquema $(4 \times 4) \times 4$; cuatro temperaturas del suelo (30, 45, 65 y 105 °C), cuatro tiempos de exposición (40, 70, 100 y 130 días) con cuatro repeticiones; y concluyeron que:

El hidrogel aumentó la humedad del suelo a capacidad de campo, de 0,14 a 0,19 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ a 45 °C y 56 días. A los 40 días, se observó un punto de marchitez mínimo (0,05 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) a 92 °C. En general, la humeada del suelo a capacidad de campo aumentó, mientras que el punto de marchitez disminuyó, proporcionando un mejor almacenamiento de agua en el suelo. El agua disponible para las plantas fue hasta tres veces mayor en el suelo con hidrogel en un rango de temperatura de 30 a 105 °C. En todos los tratamientos, independientemente de la temperatura y el tiempo de exposición, la densidad aparente y la porosidad del suelo mejoraron en comparación con el control sin enmiendas. Esto constituye una ventaja en el uso del hidrogel como acondicionador del suelo. Incluso con la interacción de factores

abióticos que actúan sobre el hidrogel, existen efectos beneficiosos sobre la capacidad de almacenamiento de agua, la densidad aparente del suelo y la porosidad del suelo. (p.1)

Torri et al. (2021) investigaron el efecto de las zeolitas sobre ciertas propiedades de un suelo enmendado con biosólidos en Buenos Aires, Argentina, utilizando diferentes dosis de zeolitas para enmendar suelos, logrando concluir que:

La incorporación de 30 % (P/P) de zeolitas incrementó significativamente los valores de pH y CE en el suelo testigo y en el suelo enmendado con biosólidos. Estos resultados constituyen la principal limitante de la aplicación conjunta de biosólidos y zeolitas, ya que cambios bruscos de pH afectan la disponibilidad y absorción de nutrientes, mientras que valores altos de CE dificultan la absorción de agua por parte de las raíces. Sin embargo, en suelos con buen drenaje las sales podrían lavarse con el tiempo. De esta manera, esta tecnología podría aplicarse junto con un sistema de riego que asegure la movilización vertical de las sales por debajo de la zona rizosférica. (p.8)

1.1.2. Nacional

Mijahuanca y Oliva (2021) estudiaron el nivel de retención de agua por poliacrilato de potasio en vivero de plantones de café en San Ignacio, Cajamarca, mediante diferentes dosis del mismo aplicadas a 100 plantones de café, divididos en 5 grupos; logrando concluir que:

La eficiencia fue óptima para retener la humedad del suelo con los tratamientos de poliacrilato de potasio en los plantones de café en vivero bajo las condiciones de operación utilizadas. Se observó que al aumentar la dosis de los tratamientos esto influyó en obtener mayores valores en los parámetros fisicoquímicos del suelo. (p.29)

Bardales y Carrillo (2021) evaluaron un sistema de tratamiento con diatomita para la retención de agua de los suelos arenosos en el Huerto San Antonio, Ica, mediante el uso de maceteros con diferentes dosis de diatomita para mejorar la retención de agua edáfica; y concluyeron que:

La adición del 4% en peso de diatomita es un nivel adecuado de dosis para la retención de agua de suelos arenosos produciendo un mayor rendimiento de masa

seca y mayor altura de la planta, debido a la mejora en las propiedades físicas del suelo. (p.42)

1.1.3. Local

Cerda (2019) evaluó el efecto de niveles de diatomita en propiedades físicas de suelos, en laboratorio, Ayacucho; mencionando lo siguiente:

El contenido de humedad a capacidad de campo en los suelos franco arenoso (Fr.A.) y franco arcillo arenoso (Fr.Ar.A.) de Luricocha, muestra diferencia altamente significativa para suelos y niveles de diatomita; el mayor contenido de humedad a capacidad de campo se observa en el suelo Fr.Ar.A., respecto del arenoso, en razón al mayor contenido de arcilla, materia orgánica que determinan una porosidad total de mayor capacidad de retención de agua. (p.3)

Tineo et al. (2019) elaboraron un modelo de evaporímetro de balanza para medir la evaporación del agua en suelos, trabajo en el cual también evaluaron la influencia del mulch en la evaporación de agua edáfica, mencionando que:

El contenido de humedad en el suelo influye en la tasa de evaporación del agua en un suelo, siendo las pérdidas mayores en suelos con mayores contenidos de humedad. De igual forma, la cobertura vegetal (mulch) influye en las tasas de evaporación del agua en un suelo, contribuyendo en la reducción de la evaporación según la cantidad de material empleado. (p.6)

Tineo (2021) en su trabajo sobre fuentes y niveles de mulch para reducir la evaporación del agua del suelo, en Pampa del Arco. Ayacucho, concluye que:

La evaporación del agua en suelos sin mulch es significativamente superior a la evaporación en suelos con mulch; la reducción de la evaporación del agua del suelo (Reas) por aplicación de mulch es ligeramente superior en los suelos con mulch a base de residuos de los cortes de grass, que en los suelos con mulch de rastrojos de trigo. (p.18)

1.2. BASES TEÓRICAS

1.2.1. Relación suelo-agua-planta

Génova et al. (s.f.) se refiere a la relación suelo-agua-planta como “el flujo continuo de agua entre el suelo y la atmósfera se manifiesta primero en estado líquido por las distintas estructuras celulares y tisulares de la raíz, tallo y hojas. En los espacios intercelulares del mesófilo foliar se produce la evaporación a expensas de energía calórica disponible y en equilibrio con el medio externo, para finalmente pasar las barreras que ofrecen la mayor resistencia, las estomas, ya a favor del gradiente de presión de vapor creado entre el aire y la interfase agua-aire celular, producido principalmente por la radiación solar directa y difusa, que genera el poder evaporante de la atmósfera, motor del flujo” (p.26).

Respecto al movimiento del agua edáfica, Dorronsoro (2020) afirma que “el agua presente en el suelo experimenta la influencia de dos fuerzas contrapuestas. Por un lado, las fuerzas de succión actúan para retener el agua en los poros, mientras que la gravedad busca desplazarla hacia capas más profundas. En consecuencia, si las fuerzas de succión son predominantes, el agua queda retenida, pero si la fuerza gravitatoria es más intensa, el agua se desplaza hacia abajo” (p. 3)

1.2.2. Agua edáfica

Silva et al. (2015) señala que “la condición hídrica del sistema suelo se describe a través del contenido y energía libre del agua, siendo estos factores los que afectan directamente el comportamiento vegetal. Las propiedades físicas del suelo como densidad aparente, textura y porosidad, entre otras, están relacionadas con la productividad de los cultivos porque modifican el almacenamiento de agua en suelo y su movimiento” (p. 8)

Al respecto, Gil (2020) menciona que “el término humedad edáfica es una forma de indicar la cantidad de agua presente en el perfil del suelo, a una dada profundidad, estrato u horizonte, en un momento determinado. Tradicionalmente ha sido expresada de dos maneras: Humedad gravimétrica (en relación a la masa) y Humedad volumétrica (en relación al volumen).” (p. 1)

Silva et al. (2015) también menciona que “el contenido de agua del suelo puede ser expresado en términos gravimétricos (w) y/o volumétricos (θ). El contenido gravimétrico es la masa de agua por una unidad de masa de suelo seco. Es el método más

simple de medición del agua en el suelo. Su valor se determina secando la muestra de suelo a 105 °C hasta peso constante (alrededor de 24 horas). La determinación gravimétrica del contenido de agua está compuesta por dos mediciones independientes: la masa de suelo húmedo o total (Mt) y la masa de suelo seco (Ms), combinadas de la siguiente forma:

$$w = \frac{M_w}{M_s}$$

Donde Mw es la masa de agua del suelo, que se calcula con la siguiente expresión:

$$M_w = M_t - M_s$$

El contenido volumétrico de agua del suelo (θ) se expresa en términos de volumen de agua (Vw) por volumen de suelo (Vt). Puede ser calculado a partir del contenido gravimétrico de agua y la densidad aparente (Da) del suelo.

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} = W Da$$

En un balance hídrico, las entradas y salidas de agua del suelo se expresan en términos de altura de agua por lo que el contenido de agua en el suelo es conveniente expresarlo en términos de altura de agua (h) o columna de agua. Esto se logra multiplicando el contenido volumétrico de humedad y la profundidad del suelo:

$$h = \theta \times \text{profundidad}$$

Por ejemplo, si un suelo tiene 100 cm de profundidad y un contenido volumétrico de agua de 0,3 cm³ /cm³, la altura o columna de agua que contiene es de 30 cm” (p. 9)

1.2.3. Tipos de agua edáfica

Páches (s.f.) clasifica el agua en función de su utilidad de la siguiente manera:

Agua higroscópica

“El agua higroscópica o molecular es el agua absorbida directamente de la humedad del aire. En este tipo de agua las moléculas se adhieren alrededor las partículas del suelo formando capas de espesor muy fino. La fuerza de succión necesaria que hay que aplicar para para poder captar esta agua es mayor a 31 atm. Puesto que el poder de succión de las raíces de las plantas no es suficiente para

extraer esta película de agua del suelo, esta porción de agua no está disponible ni asimilable para las plantas” (p.8)

Agua capilar

“El agua capilar corresponde a aquella contenida en los tubos capilares del suelo que es retenida debido a la tensión superficial del agua. Dentro de esta fracción encontramos dos tipos. El primero corresponde al agua capilar no absorbible. Esta agua ocupa los poros más pequeños del suelo ($< 0.2 \mu\text{m}$) y está fuertemente retenida. No es absorbible por las plantas porque se requiere una fuerza de succión demasiado grande, de 31-15 atm. El segundo tipo corresponde al agua capilar absorbible por las plantas. Esta aparece almacenada en poros de 0.2 a 8 mm y pueden ser asimiladas por las raíces puesto que la fuerza de succión necesaria es de 15 a 1 atm. Esta fracción correspondería a la reserva hídrica del suelo”. (p. 8)

Agua gravitacional

“Corresponde al agua que está ocupando los macroporos del suelo, saturándolos o no. Esta fracción de agua no está retenida en el suelo y se mueve impulsada por la fuerza de la gravedad hacia capas más profundas (subsuelo) pudiendo alcanzar el nivel freático. Desde el punto de vista del movimiento del agua a través de los macroporos existe dos tipos. El primero es de flujo lento, para poros de 8 a 30 mm de diámetro y el segundo de flujo rápido, para poros mayores de 30 mm. Esta fracción de agua puede ser temporalmente utilizada por las plantas siempre y cuando se encuentre en el estrato del crecimiento de las raíces de las plantas” (p. 9)

1.2.4. Estados de humedad del suelo

De los diferentes tipos de agua mencionados anteriormente, surgen dos conceptos clave desde una perspectiva práctica: la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP).

James et al. (1982) define la disponibilidad del agua edáfica como “la diferencia entre el contenido de humedad a capacidad de campo (CC), y el contenido de humedad en marchitez permanente (CMP)” (p. 15)

Capacidad de Campo (CC)

Silva et al. (2015) indica que “es el contenido de agua de un suelo, después que ha sido mojado abundantemente y se ha dejado drenar libremente, evitando las pérdidas por evapotranspiración. Corresponde aproximadamente al contenido de agua del suelo a una tensión o potencial mátrico del agua de -0,33 bares. Normalmente este contenido de agua se toma alrededor de 24 a 48 horas después de un riego o lluvia abundante, teniendo la precaución de cubrir el suelo con un plástico para evitar la evaporación” (p. 10)

Sela (2024) añade que es “el contenido de humedad del suelo después de que se ha detenido el drenaje. Los poros grandes, que no pueden retener el agua contra la gravedad, están llenos de aire. Por definición, es el contenido de agua retenido en el suelo a -0.33 bar. Esto se considera la condición de humedad ideal para las plantas porque el agua en esta condición está fácilmente disponible. Sin embargo, en ciertos suelos, mantener la capacidad del suelo en el campo puede resultar en deficiencia de oxígeno al sistema radicular o en el desarrollo de enfermedades del tallo y las raíces.” (p. 1)

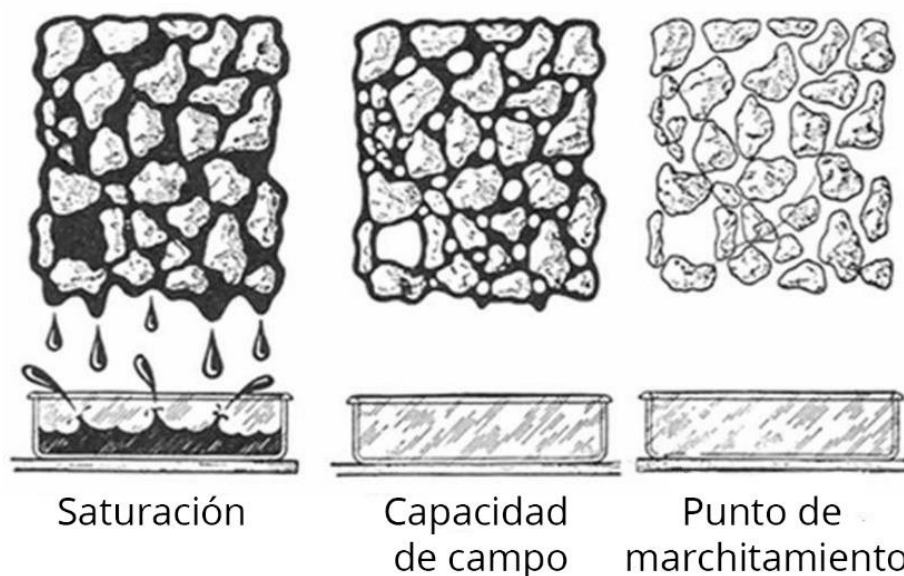
Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Silva et al. (2015) menciona que “es el contenido de agua de un suelo al cual la planta se marchita y ya no recobra su turgencia al colocarla en una atmósfera saturada durante 12 horas. Por convención corresponde al contenido de agua a una tensión o potencial mátrico de -15 bares” (p. 10)

Sela (2024) también añade que es “el contenido de humedad del suelo en el que las plantas no pueden absorber el agua. En este contenido de humedad, el agua está retenida fuertemente en los poros del suelo y no está disponible para las plantas. Por definición, este es el contenido de agua del suelo a una tensión de -15 bar.” (p. 1)

Figura 1.1.

Estados de humedad del suelo



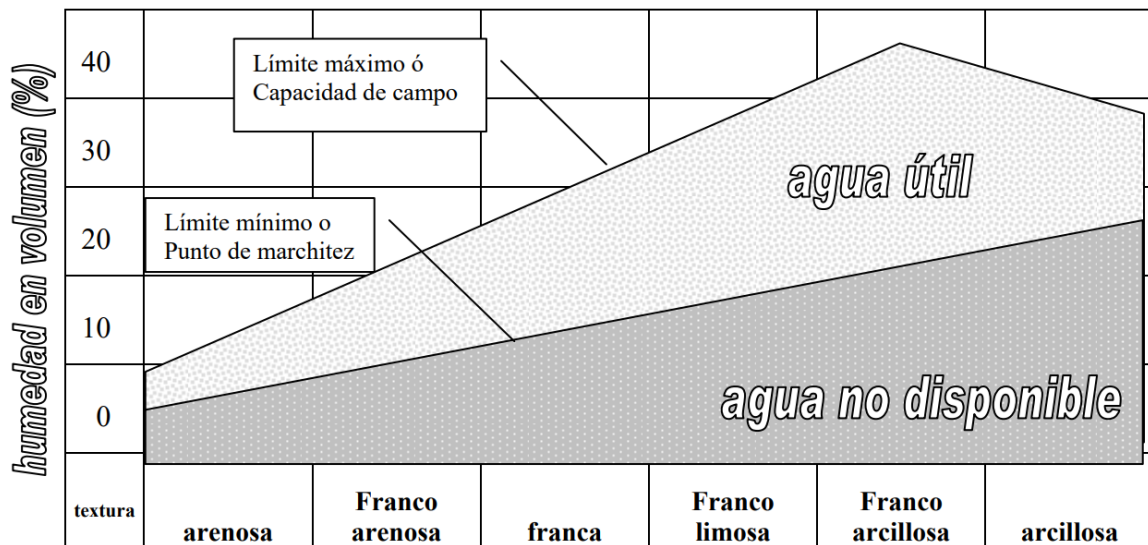
Nota. Obtenido de TerraCottem (2021)

Desde la posición de Gil (2020), la disponibilidad de agua edáfica es “el agua utilizable, o potencialmente extractable por las plantas. Su determinación requiere conocer el límite máximo (LMAX) y el límite mínimo (LMIN) de agua en el perfil, en la zona de crecimiento radical. El límite máximo o superior, se refiere al contenido de agua que un suelo puede retener luego haber sido plenamente humedecido y la variación del almacenaje en la zona de raíces se vuelve prácticamente nula. Este término también es conocido como capacidad de campo, se puede obtener un situ preferentemente, o estimado a través de valores de humedad equivalente que figuran en las cartas de suelo. A campo puede determinarse delimitando una pequeña superficie (1-5 m²) con bordos y regar en forma abundante hasta casi saturar el perfil de interés, (también, puede enterrarse hasta 15 cm un tambor de 200 litros sin fondo para agilizar la operación). Finalizado el riego se tapa la superficie con una lámina de polietileno negro para evitar pérdidas por evaporación. Se deja drenar entre 3 a 7 días (dependiendo del tipo de suelos) hasta que supuestamente el suelo llega al equilibrio. Se procede el muestreo del suelo a las profundidades de interés para el cálculo gravimétrico de la humedad. El límite mínimo o inferior, se refiere al contenido de agua en el suelo a partir del cual las plantas dejan de extraer agua y manifiestan síntomas de marchitez parcial o total como resultado del estrés hídrico. El límite máximo está muy relacionado con las propiedades físicas del suelo,

como la textura, la estructura y la materia orgánica, y fundamentalmente con las características que presente el espacio poroso del suelo. Al límite mínimo hay que agregarle además las características de crecimiento y comportamiento que presente el vegetal. El límite mínimo puede estimarse tomando como referencia el punto de marchitez permanente del suelo (p.m.p.) a partir de las curvas de retención hídrica” (p. 6-7)

Figura 1.2.

Límites de capacidad de campo y punto de marchitez



Nota. Obtenido de Gil (2020)

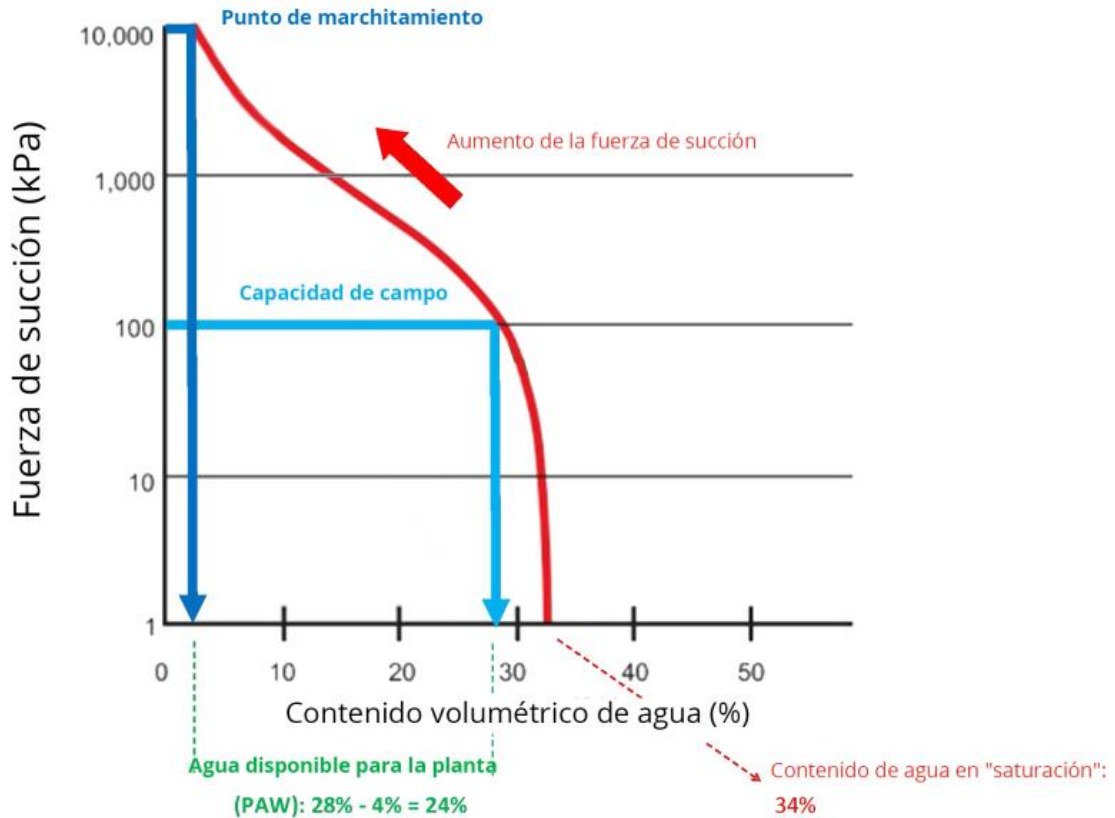
1.2.7. Fuerzas de retención del agua edáfica

El portal Terracotem (2021) menciona que “la relación entre el contenido de agua en el suelo y la "fuerza" con la que se retiene el agua puede trazarse en un gráfico: la curva de retención de agua (curva pF) o la característica de humedad del suelo. El término científicamente correcto para esa "fuerza" es el "potencial matricial". En potenciales cercanos a cero, un suelo está cerca de la saturación. La mayor parte del agua se mantiene en el suelo por fuerzas capilares. A medida que disminuye el potencial matricial, la unión del agua se hace más fuerte. El punto en el que el exceso de agua se ha drenado se denomina "capacidad de campo". Llega un momento en el que, con un potencial matricial muy bajo, el agua está fuertemente ligada en el más pequeño de los poros, en los puntos de contacto entre los granos y como una película alrededor de las partículas: el agua ya no está disponible para la planta. Esto se llama "punto de marchitamiento". El volumen

de agua entre la "capacidad de campo" y el "punto de marchitamiento" se denomina "agua disponible para la planta" o PAW.” (p. 1)

Figura 1.3.

Fuerza de succión según el contenido volumétrico de agua

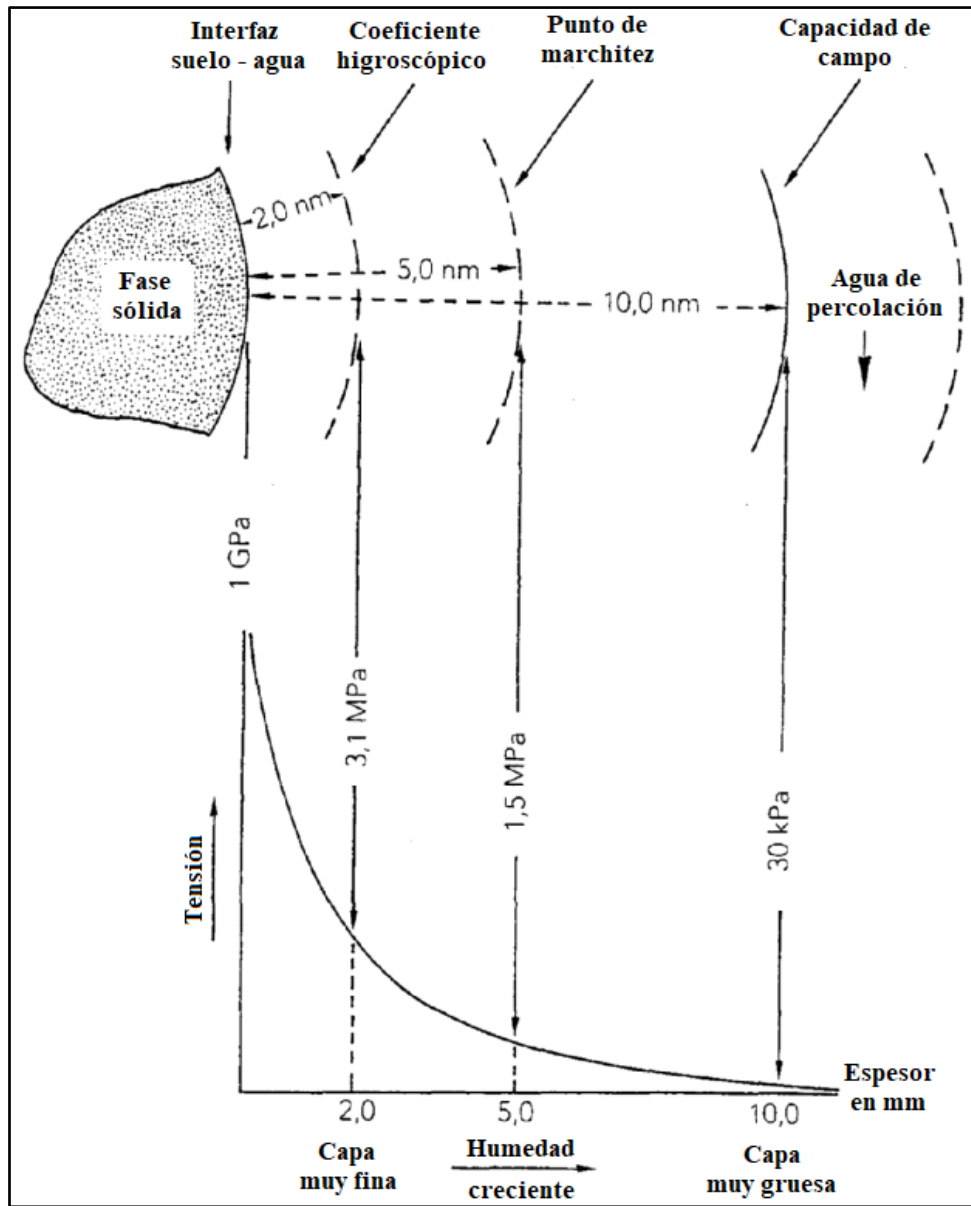


Nota. Obtenido de TerraCottem (2021)

Respecto al tema, Ingelmo et al (1980) en un trabajo sobre velocidad de evaporación del agua en distintas texturas del suelo, menciona que “el ritmo de evaporación muestra tres estadios bien diferenciados, en los que respectivamente, los suelos saturados se desecan con velocidades de evaporación tanto más elevadas cuanto más fina es la textura, a continuación con un grado de humedad dentro de la reserva útil, solamente los suelos limoso y arcilloso se desecan con velocidades medias, superiores a los de la demanda evaporante, y finalmente durante el tercer estadio los suelos, ya por debajo del punto de marchitamiento, se desecan con velocidades de evaporación inferiores a la de la demanda evaporante, especialmente el arenoso, el de gravas y el arenoso/arcilloso.” (p.23)

Figura 1.4.

Relación entre el espesor de las capas y la tensión con la que se encuentran retenidos en las superficies de los constituyentes sólidos



Nota. Obtenido de Agraria Università Mediterranea di Reggio Calabria (2016).

De acuerdo a Silva et al. (2015), el potencial hídrico “es la energía libre por mol de agua, es decir a la capacidad de realizar trabajo del agua. Los campos de fuerza actúan disminuyendo la energía libre del agua o capacidad de desplazarse; de esta forma si al agua se le agregan solutos, estos interactúan con ella, disminuyendo su energía libre. El agua pura a una altura de referencia y presión de 1 Atm siempre tiene un potencial hídrico total de cero. A medida que se le resta energía libre su potencial se hace más negativo” (p. 24)

Se puede expresar de la siguiente manera:

$$\Psi = \psi_g + \psi_p + \psi_m + \psi_s$$

Potencial gravitacional (ψ_g)

El potencial gravitacional es “el trabajo que se realiza al trasladar una cantidad infinitesimal de agua respecto a un nivel de referencia. Este potencial dependerá de un nivel de referencia, pudiendo ser positivo o negativo, si es que esta sobre o bajo el nivel de referencia” (Silva et al., 2015, p. 24)

Potencial de presión (ψ_p)

El potencial de presión se menciona que “está referido a la presión atmosférica. Su valor es cero o positivo en la presencia de una columna de agua o en el caso de una célula corresponde a la presión que ejerce la vacuola en contra de la pared celular recibiendo en este caso el nombre de potencial de turgor” (Silva et al., 2015, p. 25)

Potencial mátrico (ψ_m)

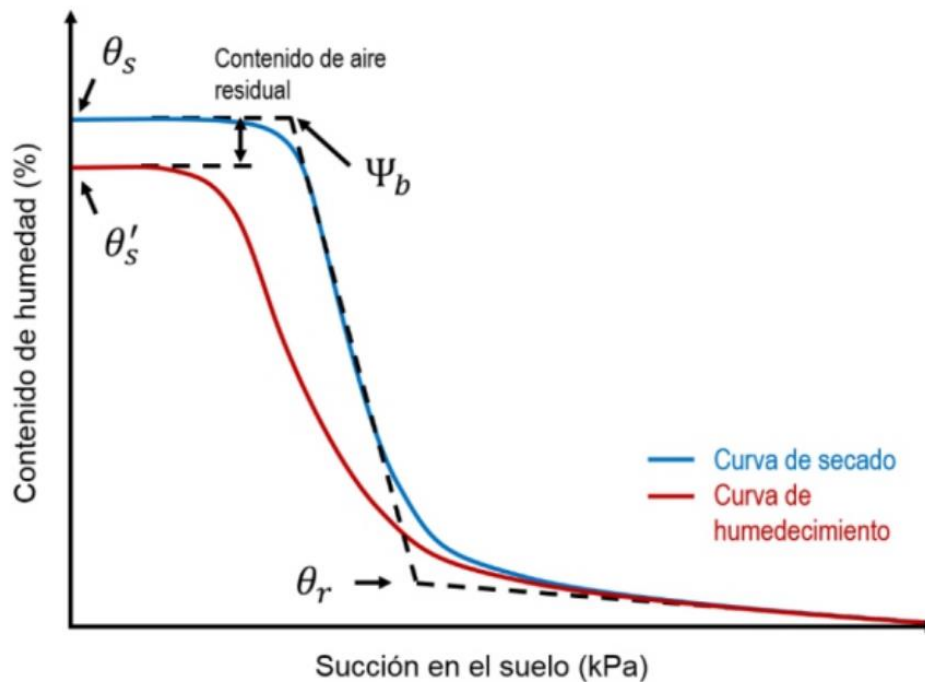
El potencial mátrico es “la reducción de energía libre del agua debido a las fuerzas de cohesión y adhesión entre moléculas de agua-agua y agua-sólido. Debido a que en la matriz del suelo existen poros con aire y agua se produce un fenómeno que se conoce como tensión superficial. La magnitud en que disminuye la energía libre es función del radio efectivo de los poros, a mayor radio efectivo mayor es el potencial mátrico. Se mide con tensiómetros (de Bourdon o de mercurio) o con bloques de yeso. Su valor es cero o negativo” (Silva et al., 2015, p. 25)

Potencial de solutos (ψ_s) o potencial osmótico(ψ_o)

Por último, el potencial de solutos o potencial osmótico es “la reducción de energía libre del agua debido a la presencia de solutos. Adquiere importancia cuando el agua está separada por una membrana semipermeable. Siempre se presenta en las células. Su valor es negativo” (Silva et al., 2015, p. 25)

Figura 1.5.

Esquema de una curva de retención de agua de un suelo



Nota. Obtenido de Universidad Nacional del Altiplano (2018)

Hurtado et al. (2004) menciona que “a medida que el suelo se seca y alcanza el punto de marchitez, la evaporación edáfica disminuye drásticamente. Esto se debe a que el agua en el suelo alcanza tensiones que hacen que sea difícilmente disponible para la evaporación o la absorción por parte de las plantas.” (p. 15).

Carnero y Carnero (2018) afirman que “la succión experimentada por el suelo está íntimamente ligada al contenido de humedad del mismo, y esta dependencia entre las variables se representa en la curva de retención del agua del suelo, SWRC. Gráficamente, se representa a través de la succión matricial y el contenido de humedad en términos gravimétricos, volumétricos o en grado de saturación” (p. 2).

Hurtado et al. (2004) también añade que “en un suelo a capacidad de campo, la evaporación inicial será relativamente alta debido a la disponibilidad de agua. A medida que el suelo se acerca al punto de marchitez, la evaporación disminuirá significativamente, ya que el agua se vuelve menos accesible para la evaporación (p.15).

La FAO (s.f.) agrega que “Cuando la superficie evaporante es la superficie del suelo, el grado de cobertura del suelo por parte del cultivo y la cantidad de agua disponibles en la superficie evaporante son otros factores que afectan el proceso de la evaporación. Lluvias frecuentes, el riego y el ascenso capilar en un suelo con manto freático poco profundo, mantienen mojada la superficie del suelo. En zonas en las que el suelo es capaz de proveer agua con velocidad suficiente para satisfacer la demanda de la evaporación del suelo, este proceso está determinado solamente por las condiciones meteorológicas. Sin embargo, en casos en que el intervalo entre la lluvia y el riego es grande y la capacidad del suelo de conducir la humedad cerca de la superficie es reducida, el contenido en agua en los horizontes superiores disminuye y la superficie del suelo se seca. Bajo estas circunstancias, la disponibilidad limitada del agua ejerce un control sobre la evaporación del suelo. En ausencia de cualquier fuente de reabastecimiento de agua a la superficie del suelo, la evaporación disminuye rápidamente y puede cesar casi totalmente en un corto lapso de tiempo.” (p. 1)

1.2.6. Lámina de agua

Gil (2020) lo define como “una forma de expresión de mucha utilidad porque no depende del área. La unidad de medida más frecuente para expresar la lámina es el mm, que equivale al volumen de 1 litro de agua distribuido en una superficie de 1 metro cuadrado.” (p.3)

$$1 \text{ mm} = 1 \text{ litro/m}^2$$

La Universidad Nacional de Córdoba (s.f.) indica que la lámina de agua “es una forma práctica de expresar y visualizar la cantidad de agua existente o almacenada en el suelo. Recordemos que $\theta = V_a / V_s$, donde V_a y V_s representan los volúmenes de agua y suelo respectivamente. En tales volúmenes las superficies del suelo y del agua son las mismas, por lo tanto, $\theta = l_a / l_s$, donde l_a y l_s son las alturas de las láminas de agua (l_a) y de suelo (l_s). Conociendo la profundidad de una dada capa de perfil de suelo, l_s (lámina de agua) será $\theta \times l_s$. Por ejemplo: En una capa de suelo cuyo espesor fue de 200 mm se determinó un valor de $\theta = 0,28 \text{ cm}^3 / \text{cm}^3$. Por lo tanto, la lámina de agua (l_a) de dicho suelo resultó $l_a = 0,28 \times 200 = 56 \text{ mm}$ Observe que esta forma de expresión no depende del área. La unidad de medida empleada más frecuentemente es el milímetro, lo que la transforma en una medida de gran utilidad ya que permite relacionar los milímetros de

agua almacenada en el suelo con los milímetros de agua de lluvia, los aplicados con un riego, los milímetros de agua consumidos por el cultivo (evapotranspiración), etc.” (p. 3)

1.2.7. Evaporación del agua del suelo

La FAO (s.f.) se refiere a la evaporación del agua como “el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada. Para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor se requiere energía. La radiación solar directa y, en menor grado, la temperatura ambiente del aire, proporcionan esta energía. La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante es la diferencia entre la presión del vapor de agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera circundante. A medida que ocurre la evaporación, el aire circundante se satura gradualmente y el proceso se vuelve cada vez más lento hasta detenerse completamente si el aire mojado circundante no se transfiere a la atmósfera o en otras palabras no se retira de alrededor de la hoja. El reemplazo del aire saturado por un aire más seco depende grandemente de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento son parámetros climatológicos a considerar al evaluar el proceso de la evaporación.” (p. 1)

Vadivielso (s.f.) menciona que “La evaporación del agua es un proceso físico por el cual el agua pasa de estado líquido a estado gaseoso o vapor de agua. Este proceso tiene lugar sobre la superficie del agua a partir de una temperatura determinada y hasta que el espacio se satura de vapor. El proceso de evaporación del agua depende de la superficie del agua expuesta y del porcentaje de vapor en los alrededores. Cuanto más seca está la capa de aire superficial del agua o, lo que es lo mismo, cuanto menos este saturado el aire. Al producirse la evaporación el agua los enlaces que mantienen unidas las moléculas con más energía se rompen y la temperatura del agua disminuye.” (p. 1)

1.2.8. Retenedores de humedad

Admon (2023) indica que “los hidroretenedores son materiales capaces de retener y almacenar grandes cantidades de agua en su estructura interna. Estos materiales se utilizan comúnmente en agricultura, jardinería y paisajismo para mejorar la retención de agua en el suelo y reducir la frecuencia de riego. Cuando se añaden al suelo, los hidroretenedores absorben el agua y la mantienen disponible para las plantas durante un

período prolongado de tiempo, lo que puede ayudar a reducir la cantidad de agua necesaria para mantener las plantas sanas y vigorosas. Además, los hidroretenedores también pueden mejorar la estructura del suelo, aumentando la porosidad y la capacidad de retener nutrientes y otros elementos necesarios para el crecimiento de las plantas.” (p. 1)

Yañez et al. (2018) mencionan que “la incorporación al suelo de coberturas vegetales, así como el uso de retenedores de humedad, representan tecnologías para reducir la alta tasa de evaporación y prolongar la disponibilidad del agua para las plantas.” (p.3)

1.2.9. Características de los hidroretenedores

Admon (2023) indica que “los hidroretenedores son materiales que pueden retener grandes cantidades de agua y liberarla lentamente a medida que las plantas la necesitan. Algunas de las características comunes de los hidroretenedores incluyen:

- Capacidad de retener agua: Los hidroretenedores son capaces de retener grandes cantidades de agua en relación a su peso. Esta capacidad de retener agua puede ser de hasta 500 veces su peso seco.
- Liberación gradual del agua: Los hidroretenedores liberan gradualmente el agua almacenada en su estructura a medida que las plantas la necesitan. Esto ayuda a mantener un suministro constante de agua para las plantas, incluso en condiciones de sequía.
- Mejora de la capacidad de retención de agua del suelo: La adición de hidroretenedores al suelo puede mejorar su capacidad para retener agua, lo que ayuda a reducir la necesidad de riego frecuente y reduce la pérdida de agua por evaporación.
- Mejora de la calidad del suelo: Los hidroretenedores pueden mejorar la calidad del suelo al mejorar su estructura y aumentar su capacidad para retener nutrientes y agua.
- Reducción de la erosión del suelo: Al retener agua y mejorar la calidad del suelo, los hidroretenedores también pueden reducir la erosión del suelo y mejorar la estabilidad del suelo.

- Compatible con diferentes tipos de suelo: Los hidrotenedores son compatibles con diferentes tipos de suelo y pueden utilizarse en suelos arcillosos, arenosos y de baja calidad.” (p. 1)

Algunos retenedores de humedad son los mencionados a continuación.

1.2.10. Acolchado (mulch)

Según Tencio (2018), el mulch o cobertura es una capa de materia orgánica suelta, generalmente compuesta por: paja, hierba cortada, hojas, papel, cartón, y otros materiales similares, que se utilizan para cubrir el suelo que rodea las plantas; y se coloca entre las hileras de las plantas para proteger el suelo. (p.1)

Tarpurisunchis (s.f.) menciona que “el Mulch o cobertura orgánica viene a ser una capa de materia orgánica suelta conformada por restos de alguna especie vegetal, como paja seca, hierba cortada, hojas, etc. que se utiliza para cubrir el suelo que rodea la base de las plantas, o entre las hileras donde están sembradas los cultivos para proteger el suelo del ataque de malezas, de la evaporación del agua, etc. El Mulch ayuda a mantener una condición de suelo favorable para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Debido a que provienen de materiales vegetales, se produce la descomposición, lo que tiene varios efectos positivos tanto sobre el suelo como sobre las plantas.” (p. 2)

La FAO (2018) indica que “el uso de la cobertura vegetal o mulch posee las siguientes ventajas:

- Protege el suelo de la erosión del viento y del agua: las partículas del suelo no pueden ser arrastradas ni arrastradas por el viento.
- Mejora la infiltración del agua de lluvia y de riego manteniendo una buena estructura del suelo: no se forma costra, los poros se mantienen abiertos.
- Mantiene el suelo húmedo al reducir la evaporación: las plantas necesitan menos riego o pueden utilizar la lluvia disponible de manera más eficiente en áreas o estaciones secas.
- Alimenta y protege los organismos del suelo: el material de mantillo orgánico es un excelente alimento para los organismos del suelo y proporciona condiciones adecuadas para su crecimiento.

- Inhibe el crecimiento de malezas: con una capa de mantillo suficiente, las malezas tendrán dificultades para crecer a través de ella.
- Evita que el suelo se caliente demasiado: el mantillo proporciona sombra al suelo y la humedad retenida lo mantiene fresco.
- Aporta nutrientes a los cultivos: mientras se descompone, el material de mantillo orgánico libera continuamente sus nutrientes, fertilizando así el suelo.” (p. 1)

Tarpurisunchis (s.f.) indica que “algunos de los efectos del mulch en el suelo son los siguientes:

Efectos físicos

- Cuando se mezcla el Mulch con la capa arable, mantiene más húmedo el suelo lo cual favorece el crecimiento de las raíces.
- Reduce significativamente la evapotranspiración del suelo, producida por los rayos solares, haciendo que los riegos sean menos frecuentes.
- El Mulch mejora y estabiliza la estructura del suelo agrícola, actuando como un amortiguador natural, que reduce la compactación y favorece la retención de la humedad.

Efectos químicos

- Cuando el Mulch se descompone libera grandes cantidades de nutrientes que son absorbidos por las raíces de las plantas.
- Puede producirse una deficiencia de nitrógeno en las plantas que tienen como Mulch a restos vegetales de lenta descomposición, debido a que los microorganismos que están descomponiendo el material orgánico toman cantidades apreciables de nitrógeno del suelo. Para evitar esta deficiencia, debe aplicarse un abono líquido como suplemento de nitrógeno, pudiendo usarse biol, té de estiércol, purines, etc.

Efectos biológicos

- El Mulch sirve como fuente de alimento para muchos microorganismos que se encuentran en el suelo.
- Mantiene el suelo a una temperatura constante que garantiza la normal actividad fisiológica y metabólica de los microorganismos.
- En ocasiones, con el Mulch pueden introducirse al suelo organismos no deseados, como hongos, bacterias y nematodos. Al revolver el Mulch se puede eliminar el moho y las posturas o huevos de algunas plagas.
- Si se utiliza heno o paja para el Mulch, es posible que algunas semillas de malezas también se introduzcan al campo de cultivo. Esto puede evitarse si se utiliza solamente el follaje como hojas y tallos. Las flores y las raíces deben ser convertidas primero en compost para poder ser utilizadas.” (p. 4-8)

1.2.11. Hidrogel

Portal Frutícola, (2017) se refiere a los cristales de hidrogel como “polímeros que absorben agua cientos de veces su peso y la proporciona paulatinamente a las raíces de todo tipo de plantas. El producto mejora las características del suelo, como son la retención y disponibilidad del agua, la aireación y la descompactación. Su aplicación en la agricultura, invernaderos y viveros, el sector forestal y la arquitectura paisajista puede reducir el uso de agua hasta en más del 50%. Agregando los cristales al sustrato, se incrementa el rendimiento, el crecimiento y la sobrevivencia de las plantas.” (p.1)

Ramírez et al (2016) describe que los hidrogeles “son geles poliméricos hidrofílicos formados por una red tridimensional que tiene la capacidad de absorber una gran cantidad de agua, hinchándose y aumentando considerablemente su volumen sin perder su forma, hasta alcanzar su máximo grado de hidratación o índice de hinchamiento. En estado seco el gel es un material sólido y duro, pero cuando entra en contacto con una solución acuosa, esta se difunde hacia el interior y el gel se hincha hasta alcanzar un equilibrio fisicoquímico. La difusión incluye la migración de agua en los espacios preexistentes o dinámicamente formados entre las cadenas del hidrogel.” (p. 2)

Álvarez et al. (2023) menciona que “los hidrogeles poseen las siguientes ventajas:

- El hidrogel ayuda a mantener la humedad del suelo por más tiempo y por consiguiente reduce el estrés hídrico.
- Una dosis adecuada de hidrogel ayuda a disminuir la frecuencia de los riegos en el cultivo, trayendo consigo un ahorro significativo del recurso hídrico.” (p.6)

El Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (2022) añade que “el uso de hidrogel presenta las siguientes ventajas:

- El hidrogel libera el agua junto con nutrientes de forma sostenida (manteniendo el suelo húmedo), disminuye la pérdida de nutrientes y permite el desarrollo de la vida microbiana en la rizosfera y la absorción de nutrientes en las plantas.
- Su aplicación en las dosis adecuadas en cultivos como pimiento y tomate en la agricultura comercial reduce la aplicación de agua y nutrientes y mejora la productividad; sin embargo, en una agricultura a cielo abierto puede ser contraproducente por el exceso de humedad en la rizosfera por la presencia de lluvias, lo que puede incrementar la presencia de microorganismos patógenos. La combinación del hidrogel con la aplicación de materia orgánica, como vermicompostas, incrementa la producción de biomasa y/o frutos en el caso de hortalizas o árboles frutales.
- El uso de hidrogeles para huertos familiares también es recomendable. Estudios realizados en plantas aromáticas como la menta han mostrado un aumento significativo en el crecimiento de las plantas; sin embargo, se debe tener en cuenta que los tipos de suelo y especies en producción pueden variar la eficacia de los hidrogeles.
- Existen indicios de que pueden contribuir a mitigar problemas relacionados con la sequía en México; no obstante, se deben combinar con otras tecnologías más sostenibles y accesibles para todo tipo de agricultor. Por ejemplo, la materia orgánica es un retenedor natural del agua que puede revertir los grandes problemas de sequía en el país. Desafortunadamente, el mantillo de materia orgánica que se forma año con año en los bosques tras caer al suelo, se está destruyendo debido a las grandes desforestaciones. Esto está generando una escasez de lluvia o precipitaciones atípicas que erosionan los suelos sin cubierta de materia orgánica.
- Aunque es un producto amigable con el medio ambiente, el manejo del hidrogel debe ser el adecuado, ya que el polvo puede causar ardor, sequedad, picazón y otras molestias en ojos; además, puede agravar lesiones cutáneas, lo que puede enrojecer la piel.

- También es un producto biodegradable, ya que bacterias del género *Bacillus* pueden degradar significativamente el gel en un periodo de siete meses, aunque también puede ser colonizado por bacterias fitopatógenas como *Phytophthora cactorum* y *Rhizoctonia solani*.
- El hidrogel reduce la cantidad y frecuencia de la aplicación de los riegos en los frutales y cereales como el maíz, por lo que la aplicación de hidrogel y materia orgánicas e tienen que realizar para tener una mayor rentabilidad. En ese sentido, es muy importante realizar estudios de costo beneficio de cada cultivo, ya que la rentabilidad dependerá del precio del producto en el mercado.” (p. 1)

1.2.12. Diatomitas

La Dirección General de Desarrollo Minero de México (2017) menciona que “la diatomita es una roca silíceas, sedimentaria de origen biogénico, principalmente está constituida por restos (esqueletos) fosilizados de las frústulas de las diatomeas, presentando diversos grados de consolidación. Se forma por la acumulación sedimentaria de los esqueletos microscópicos de algas unicelulares. Está compuesta de esqueletos opalinos fosilizados de la diatomea; los esqueletos se componen de sílice amorfa. La diatomita se forma por la acumulación sedimentaria hasta formar grandes depósitos con un grosor suficiente para tener un potencial comercial. El 61% de la producción mundial de diatomita es usada como filtro, principalmente en las bebidas como cerveza, vinos, etc. El 39% restante, se aplica como agente de carga en diferentes industrias, destacando la fabricación de pintura y plástico.”

Baglione (s.f.) afirma que “Las diatomitas son esqueletos de algas unicelulares microscópicas, de composición silíceas, depositadas en lechos acuíferos que al secarse se fosilizaron y se comprimieron formando roca. Existen varios tipos de diatomeas. La *Aulacoseira granulata*, rica en silicio (42%), pertenece a las diatomeas de agua dulce. Es navícula (en forma de canoa) e incluye individuos con extremos redondos y válvulas lanceoladas, estriadas transversalmente en la zona media en sentido opuesto a los polos. El alto contenido de sílice favorece su uso en las plantas, ya que este elemento beneficia los cultivos: les da resistencia ante distintos factores ambientales, bióticos y abióticos y los protege de ellos. Además de silicio, contiene micronutrientes que facilitan la capacidad de intercambio catiónico y la absorción de nutrientes por la planta. (p. 1)

Tejada (2019) resalta que “pocos minerales juegan un rol tan importante en la vida actual de la humanidad, tal como la diatomita o fierra de diatomeas, el cual es un producto mineral compuesto esencialmente de sílice, resultante de la fosilización de organismos fitoplanctónicos microscópicos. En realidad, mucho del agua y bebida que tomamos o alimentos que comemos han sido purificados y/o clasificados en alguna etapa del proceso de su producción por medios de la diatomita, y esto debido a la casi única combinación de propiedades físicas y químicas.” (p.1)

La Dirección General de Desarrollo Minero de México (2017) indica que “las siguientes propiedades físicas están presentes en la diatomita:

- Aspecto macroscópico: Roca purulenta, fina y porosa con aspecto margoso.
- Color por lo regular blanco brillante (en el caso de alta pureza)
- Alta porosidad
- Volumen de muy baja densidad
- Muy alta capacidad para absorber líquidos (absorbe hasta 150% de su peso en agua)
- Capacidad abrasiva suave
- Conductividad térmica y eléctrica muy baja
- Alta resistencia a la temperatura
- Punto de fusión entre 1,400° a 1,750°C
- Peso específico 2.0 (la calcinación la incrementa a 2.3)
- Área superficial 10 a 30 m² /g (la calcinación la reduce de 0.5 a 5 m² /g)
- Índice de refracción 1.4 a 1.46 (la calcinación la incrementa a 1.49)
- Dureza (Mohs) 4.5 a 5 (la calcinación la incrementa de 5.5 a 6)
- Químicamente inerte
- El porcentaje de humedad varía de acuerdo al depósito (de 10% hasta un 60%)
- La densidad aparente (base seca) in situ varía de 0.32 a 0.64 Ton/m³.
- Absorción de aceite: 120 g/100 g de aceite
- pH ~7.0” (p. 6)

Baglione (s.f.) indica la presencia del silicio en la diatomita y que el uso del mismo “presenta los siguientes beneficios:

- Aumenta la disponibilidad de elementos esenciales al contrarrestar el antagonismo generado en suelos con alta saturación de aluminio y hierro.

- Incrementa la productividad y la calidad de las cosechas agrícolas.
- Restaura el suelo de la degradación e incrementa su nivel de fertilidad para la producción agrícola.
- Incrementa la resistencia del suelo contra la erosión del viento y el agua, y a las sequías.
- Neutraliza la toxicidad del aluminio (Al) en suelos ácidos.
- Tiene acción sinérgica con calcio (Ca) y magnesio (Mg).
- Reduce la lixiviación de fósforo (P), nitrógeno (N) y potasio (K) en las áreas de cultivo agrícola.
- Aumenta la resistencia de la planta a plagas y enfermedades.
- Protege las plantas contra el ataque de enfermedades, hongos e insectos.
- Mejora el empleo de biosólidos.
- Mejora la absorción de fósforo e incrementa la eficiencia de la roca fosfórica.
- Restaura áreas contaminadas por metales pesados e hidrocarburos.
- Fortalece el poder oxidante en las raíces del arroz.
- Promueve una mayor tasa de fotosíntesis.” (p. 2)

1.2.13. Zeolitas

Costafreda (2011) afirma que “las zeolitas comprenden un grupo de aluminosilicatos cristalinos e hidratados de aluminio, con cationes alcalinos y alcalino-térreos, y con una ordenación tridimensional (tectosilicatos) donde predomina una estructura abierta que les aporta gran capacidad para incorporar y ceder agua y cationes, sin cambios importantes en el edificio cristalino.” (p.4)

Al respecto, Calleja (2009) describe que “desde un punto de vista geológico, las zeolitas son minerales de origen volcánico, formados a partir de la deposición de ceniza volcánica en lagos de aguas de contenido alcalino. La interacción de la ceniza volcánica con las sales presentes en el agua de los lagos da lugar a las distintas zeolitas de origen natural. Desde un punto de vista químico, las zeolitas son una clase de aluminosilicatos cristalinos basados en un esqueleto aniónico rígido, con cavidades, canales y poros bien definidos. Las zeolitas tienen aluminio, silicio y oxígeno en su armazón estructural; y en los poros encontramos cationes metálicos y moléculas de agua. Esta agua presente en los poros es la que se desprende de las zeolitas al aumentar la temperatura.” (p. 2)

Paredes et al (2013) menciona que “las zeolitas naturales son cristales minerales de aluminosilicatos hidratados con cationes alcalinos o alcalinotérreos que tienen alta capacidad de intercambio catiónico y de hidratación y deshidratación sin modificar su estructura porosa, tridimensional, con canales internos. Por estas características las zeolitas son minerales con la más amplia diversidad de usos, entre ellos el uso agronómico. En la agricultura es posible utilizar la zeolita como mejorador de la eficiencia de aprovechamiento de los fertilizantes inorgánicos, principalmente los nitrogenados, y como mejorador o acondicionador del suelo.” (p. 4)

Zeocol (s.f.) indica que “Entre los muchos beneficios que tiene la zeolita en aplicaciones agrícolas, destacamos:

- Retiene los fertilizantes en la zona de enraizamiento.
- Aumentando el crecimiento del cultivo.
- Previene la lixiviación y volatilización de los fertilizantes.
- Alargando la vida de los mismos.
- Mejora la capacidad del suelo para retener nutrientes, incrementando la vida microbiológica.
- Reduce los costes de irrigación al retener humedad, Menos riego, más ahorro.
- Absorbe gases de desecho, eliminando olores indeseables.
- Absorbe iones de metales pesados, evitando la toxicidad de algunos suelos.
- Mejora la nitrificación en el suelo.
- Mejora la formación aeróbica de nitratos a partir de materias orgánicas.
- Controla la acidez del suelo, nivelando el pH de algunos suelos.
- Permite ahorrar recursos, se usa menos fertilizantes, pesticidas y plaguicidas.
- Aumenta los rendimientos de los cultivos.
- Sirve de sustrato.” (p. 1)

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Condiciones

2.1.1. Ubicación

El trabajo de investigación se realizó en los ambientes de la Escuela Profesional de Agronomía, en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, ubicado en la localidad de Pampa del Arco, distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga departamento de Ayacucho; cuyas características geográficas son: Longitud Oeste 74°13'18", Latitud Sur 13°08'38". De acuerdo a la clasificación bioclimática (Holdridge, 1982), se trata de un bosque seco Montano bajo Subtropical (bs-MbS), ubicada en una región climática semiárida (según la clasificación de zonas áridas del mundo; con un índice de aridez Ia: 0,2 a 0,5), de la sierra del Perú, a una altitud media de 2750 m.s.n.m. La vegetación de la zona está conformada principalmente por molle (*Schinus molle*), cabuya (*Agave spp*), tuna (*Opuntia ficus*), huarango (*Acacia macracantha*) y una gran variedad de pastos naturales.

Tabla 2.1

Datos geográficos de la ubicación del experimento

Departamento	Ayacucho
Provincia	Huamanga
Distrito	Ayacucho
Sector	Pampa del Arco
Latitud	Sur 13°08'38"
Longitud	Oeste 74°13'18"
Altitud	2,761 m.s.n.m.

Figura 2.1
Ubicación geográfica del experimento



Figura 2.2
Vista satelital de la ubicación del experimento



Nota. Obtenido de Google Maps

2.1.2. Características climáticas

El terreno de Pampa del Arco, se encuentra ubicado en el distrito de Ayacucho, se trata de una región de valle interandino, con precipitación media de unos 560 mm por año, siendo mayo a setiembre los meses secos y junio, julio, agosto, los meses de temperaturas frías. El período de lluvias corresponde a los meses de octubre a marzo.

2.1.3. Características del suelo

La muestra de suelo que se utilizó en el experimento corresponde a la capa superficial (20 cm de profundidad) de un sector de Pampa del Arco, en la ciudad universitaria de la UNSCH, en el distrito Ayacucho, provincia Huamanga, departamento Ayacucho. La topografía del terreno muestra un relieve irregular con pendientes desde planas a ligeramente inclinadas.

Tabla 2.2*Análisis de suelo de Pampa del Arco*

Muestra	Análisis mecánico			Clase Textural	pH (H ₂ O) 1:2.5	C.E. (dS/m.) 1:1	CaCO ₃ (%)	M.O. (%)	Nt (%)	Elementos Disp. (ppm)		Cationes cambiabiles (Cmol(+)/kg)						C.I.C. (Cmol(+)/Kg)
	Arena	Limo	Arcilla							P	K	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H ⁺	
01	59.7	19.9	20.4	Fr-Ar-Ao	7.46	1.07	3.0	1.46	0.07	1.5	142.4	13.9	4.12	0.72	0.62	0.0	0.0	19.6

Nota. Análisis realizado en el Programa de Investigación en Pastos y Ganadería

2.1.3.1. Interpretación del análisis de suelo

Se trata de un suelo franco arcillo-arenoso con las siguientes características:

- Ligeramente alcalino
- Ligeramente salino
- Bajo contenido de materia orgánica
- Bajo contenido de fósforo disponible
- Contenido medio de potasio disponible
- Posee deficiencia de Calcio y Potasio
- Contenido medio de carbonatos

2.2. Variables

2.2.1. Variable independiente:

- Retenedores de humedad:
 - Zeolita
 - Diatomita
 - Hidrogel
 - Rastrojos de cebada

2.2.2. Variables dependientes:

- Evaporación del agua del suelo: mm/día
- Índice Reas (Reducción de la evaporación del agua del suelo): %

Tabla 2.3

Dimensión e indicadores de las variables

Variable	Dimensión	Indicador
Variables Independientes		
Zeolita	Sin	0
	Con	0.5 t ha ⁻¹
Diatomita	Sin	0
	Con	0.5 t ha ⁻¹
Hidrogel	Sin	0
	Con	250 kg ha ⁻¹
Rastrojo de cebada	Sin	0
	Con	2.5 t ha ⁻¹
	Con	5.0 t ha ⁻¹
Variables Dependientes		
Agua edáfica evaporada	Altura	mm/día
Índice Reas	Porcentaje	%

2.3. Medición de variables dependientes

2.3.1. Evaporación del agua del suelo

La cantidad de agua perdida por evaporación fue registrada mediante gravimetría. Consistió en realizar registros diarios de los pesos de cada U.E. durante 14 días a intervalos de tiempo regulares (a las 11:am de cada día). La diferencia de pesos entre dos registros corresponde a la masa de agua evaporada (g) equivalente a un volumen (ml). La masa medida (volumen) dividida entre el área superficial del evaporímetro, corresponde a la lámina de agua evaporada (mm), desde la superficie de los diferentes tratamientos, en ese intervalo de tiempo (1 día).

2.3.2. Índice Reas

Se realizó cálculos matemáticos que comparaban la evaporación del agua edáfica de cada tratamiento respecto al testigo diariamente, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Reas (\%)} = \frac{(\text{Evaporación en testigo} - \text{Evaporación en tratamiento})}{\text{Evaporación en testigo}} * 100$$

2.4. Población y muestra

La población objeto de este estudio corresponde a un tipo de suelo típico de la ciudad universitaria de la UNSCH, específicamente en la zona de Pampa del Arco. La muestra consistió en aproximadamente 100 kg de suelo superficial (a una profundidad de 20 cm) extraído del área circundante a los jardines de la Escuela Profesional de Agronomía. Este suelo fue tamizado a través de una malla de 4 mm y luego colocado en las unidades experimentales (evaporímetros: baldes). el suelo posee una granulometría moderadamente fina, de textura franco-arcillosa, compuesta de 59.7% arena, 19.9% limo y 20.4% arcilla.

2.5. Materiales y equipos

Los materiales y equipos más importantes utilizados en el experimento se muestran a continuación en la tabla 3.4, complementándose con imágenes del anexo fotográfico.

Tabla 2.4

Lista de materiales y equipos

Materiales e insumos	Equipos
Cobertura vegetal a base de rastrojos de cebada	Balde de plástico de capacidad de 4 kg
Diatomita molida	Pala
Hidrogel comercial Hidrosorb	Tamiz o zaranda de 1mm y 5mm
Polvo de zeolita comercial	Probetas de 100 ml y 50 ml
Lápiz	Balanza de capacidad de 5 kg
Cuaderno de campo	Celular con cámara

2.6. Diseño experimental

Se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA) para cuatro tratamientos (retenedores de humedad: T1: Rastrojos de cebada, T2: Zeolita, T3: Diatomita, T4: Hidrogel) más 1 testigo (sin retenedor), cada una con tres repeticiones.

El modelo aditivo lineal (Mal) para este diseño es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} es una observación cualquiera del i -ésimo tratamiento y j -ésima repetición

μ es el promedio de las unidades experimentales

τ_i es el efecto del i -ésimo tratamiento

ϵ_{ij} es el error experimental

i varía de 1, 2, ..., t

j varía de 1, 2, ..., r

t es el número de tratamientos (4)

r es el número de repeticiones (3)

2.7. Descripción de tratamientos

- **T1: Rastrojos de cebada:** Consistió en residuos de cebada, conformada principalmente por los tallos secos recolectados después de cosechar las espigas, que fueron triturados a un tamaño de 10 cm aproximadamente, se pesaron 7.5 gramos por unidad experimental (equivalente a 2.5 t ha⁻¹) y se aplicó en la parte superior de los tratamientos cubriendo la superficie del suelo. También se aplicó un equivalente a 5 t ha⁻¹ en un tratamiento adicional con el fin de obtener más información.
- **T2: Zeolita:** Consistió en polvo de zeolita natural (Clinoptilolita, Heulandita) de la marca “ZeoSant” (origen ecuatoriano) pasado por tamiz de 1 mm de diámetro, cuya composición es de 68.8% de SiO₂; posee 42.9 % de Capacidad de retención de humedad, una C.I.C. de 124.5 meq/100 g y 1.028 g/cm³ de densidad aparente. Se pesaron 1.5 gramos por U.E. (equivalente a 0.5 t ha⁻¹) y se aplicó mezclando en los 5 cm superficiales de suelo en cada U.E.
- **T3: Diatomita:** Consistió en diatomita recolectada de la zona de Quicapata, molida y pasada por tamiz de 5 mm de diámetro, cuya composición es de 80.0

% de SiO₂ y posee 45 % de Capacidad de retención de humedad. Se pesaron 1.5 gramos por U.E. (equivalente a 0.5 t ha⁻¹) y se aplicó mezclando en los 5 cm superficiales de suelo en cada U.E.

- **T4: Hidrogel:** Consistió en cristales hidroabsorbentes a base potasio de la marca “Hidrosorb” de Vamont S.A. el cual absorbe y retiene el agua aumentando su volumen más de 200 veces dependiendo la textura del suelo. Se pesaron 0.75 gramos por U.E. (equivalente a 250 kg ha⁻¹) y se aplicó en seco mezclando en los 5 cm superficiales de suelo en cada U.E.
- **T5: Testigo:** Consistió en la muestra de suelo representativa del lugar (Pampa del Arco), al cual no se le añadió ningún retenedor de humedad.

Tabla 2.5

Tratamientos: retenedores de humedad y testigo

Tratamiento	Retenedor	Nivel	g/maceta (4 kg) *	Código
T1	Rastrojo de cebada	2,5 t ha ⁻¹	7,50	m1
T2	Zeolita	0,5 t ha ⁻¹	1,50	z1
T3	Diatomita	0,5 t ha ⁻¹	1,50	d1
T4	Hidrogel	250 kg ha ⁻¹	0,75	h1
T5	Testigo	0	0	t1

Nota. *1 t ha⁻¹ = 3,0 g retenedor/maceta (0,03 m²)

2.8. Unidad experimental (U.E.)

La U.E. estuvo constituida por un evaporímetro de balanza (figura 2), compuesto por un recipiente plástico cilíndrico de color blanco, de 19,6 cm de diámetro (abertura de 0.03 m²) y 17,0 cm de altura, conteniendo aproximadamente 4 kg de suelo, al que se agregó agua por encima de su capacidad de campo, a manera de simular una condición de terreno recientemente regado. Inmediatamente, después de registrar su peso, los evaporímetros se colocaron sobre la superficie del terreno manteniendo su horizontalidad. La determinación de la cantidad de agua evaporada consistió en pesar las macetas (unidades experimentales) cada 24 horas; la diferencia de dos pesos consecutivos indica la pérdida de agua por evaporación, en un día.

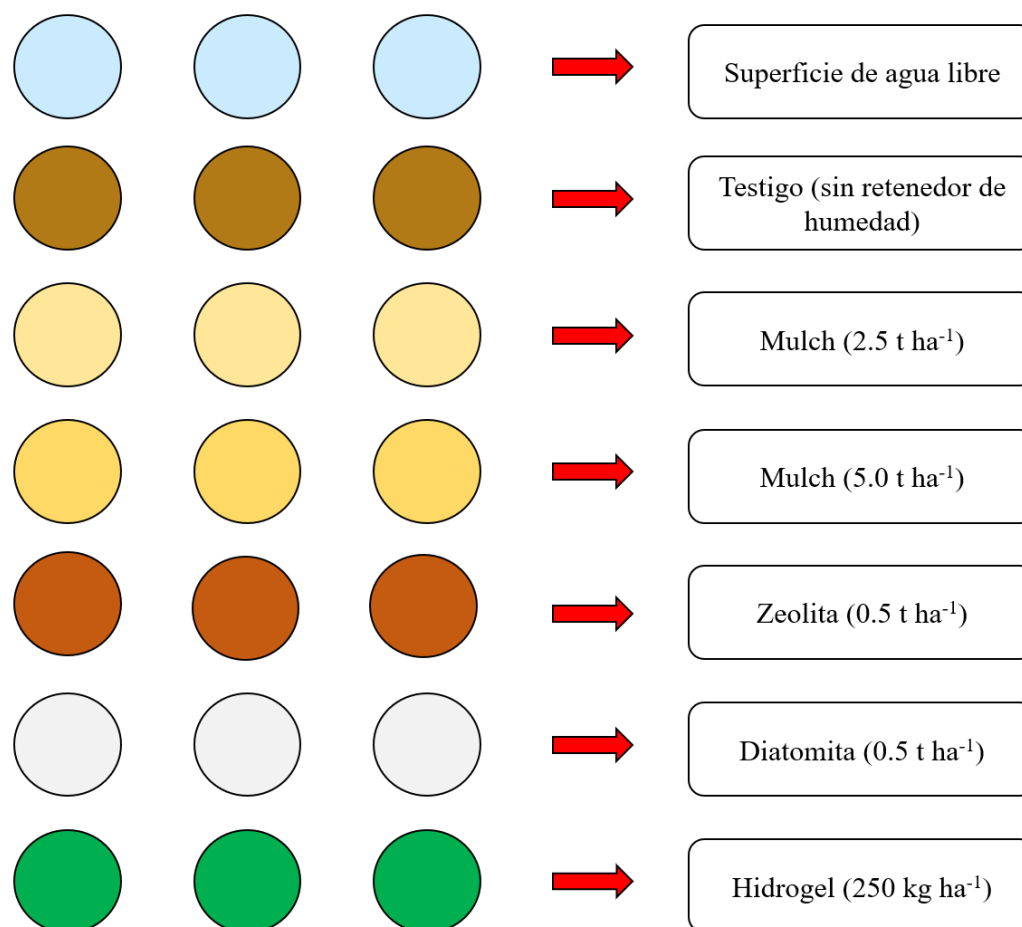
Figura 2.3
Evaporímetro de balanza



2.9. Instalación y conducción del experimento

- Las unidades experimentales (evaporímetros) se instalaron separadas a 0.3 m de distancia entre ellas; como referencia acompañó un evaporímetro consistente en sólo un depósito de agua a manera de un tanque evaporímetro. La distribución utilizada se muestra en la figura 2.3.
- A intervalos de tiempo regulares de 24 horas (1 día) se registraron los pesos de los evaporímetros (utilizando una balanza de 4 kg de capacidad con precisión al gramo). Se realizaron estos registros durante dos semanas
- La diferencia de pesos entre dos registros, dividido entre el área superficial del evaporímetro, corresponde a la lámina de agua evaporada desde la superficie de las muestras, en ese intervalo de tiempo (1 día).

Figura 2.4
Distribución de los tratamientos



2.10. Procesamiento de datos

Se realizaron los análisis de variancia (ANVA) correspondientes: para el caso de la evaporación del agua, el ANVA se realizó con las 15 U.E.; mientras que, para el caso del índice Reas, el ANVA se realizó con las 12 U.E. correspondientes a los retenedores.

2.11. Experimento complementario

Debido a la escasez de bibliografía para explicar una parte de los resultados, se realizó un experimento complementario que consistió en evaluar la influencia de la cantidad de humedad inicial del suelo en la evaporación del agua edáfica, así como la influencia del mulch en las mismas condiciones. El experimento contó con procedimientos similares, pero con los siguientes parámetros.

2.11.1. Variables del experimento complementario

a. Variables independientes

- Cobertura vegetal
- Humedad del suelo

b. Variables dependientes

- Lámina de agua evaporada diaria

Tabla 2.6

Variables del experimento complementario

Variable	Dimensión	Indicador
Variables Independientes		
Cobertura vegetal	Sin	0
	Con	5 t ha ⁻¹
Humedad del suelo	Nivel 1	14.2 %
	Nivel 2	23.4%
	Nivel 3	32.3%
	Nivel 4	41.5%
Variable Dependiente		
Agua edáfica evaporada	Altura	mm/día

2.11.2. Tratamientos del experimento complementario

Los 8 tratamientos resultantes (Tabla 2.7, Figura 2.7) corresponden a la combinación de los niveles de la factorial 2M*4H (M: suelo con y sin cobertura vegetal; H: humedad inicial del suelo con 4 niveles).

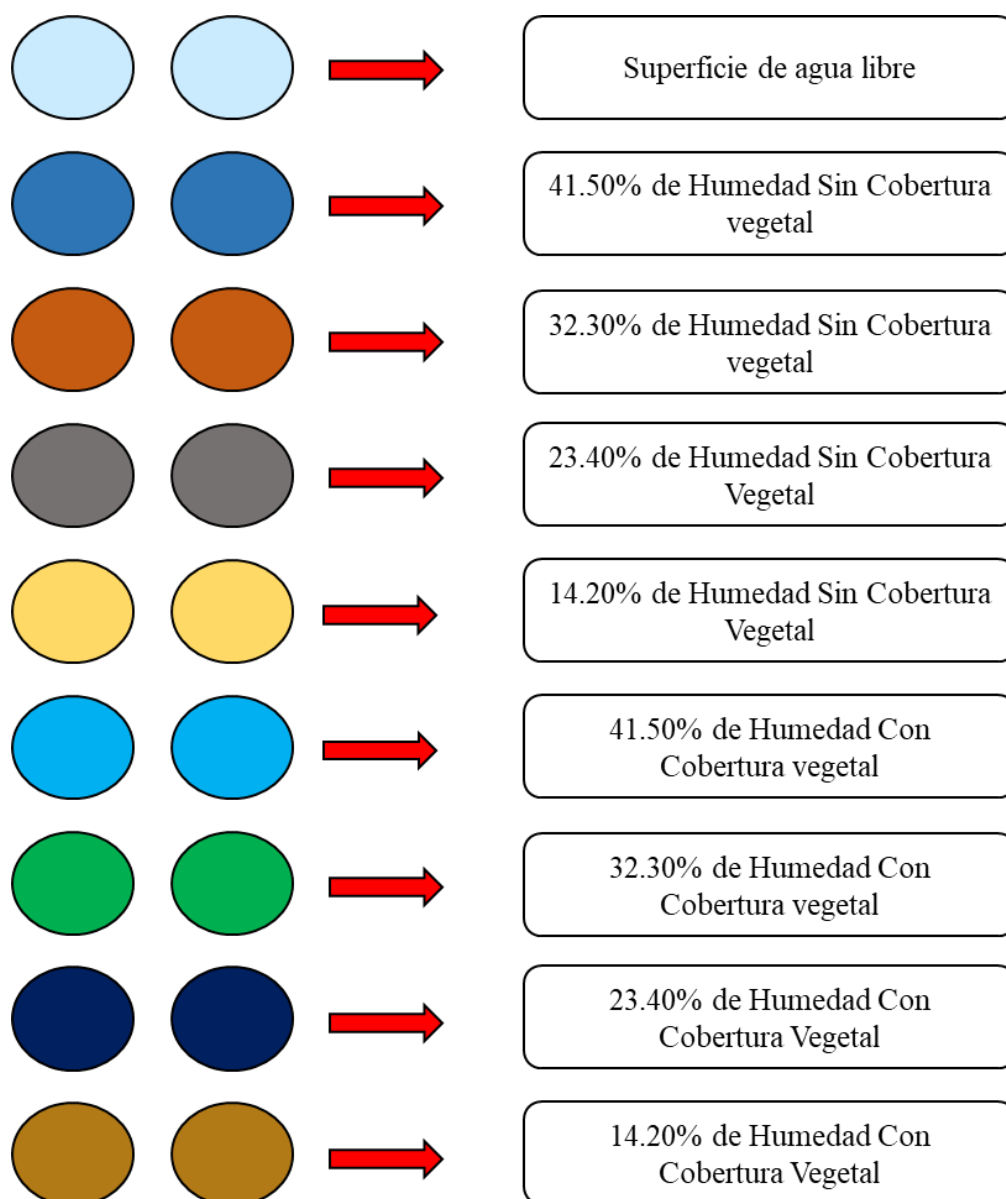
Tabla 2.7

Tratamientos del experimento complementario

Tratamiento	Código	Humedad	Mulch
T1	h4	41.50 %	0
T2	h3	32.30 %	0
T3	h2	23.40 %	0
T4	h1	14.20 %	0
T5	h4m	41.50 %	5 t ha ⁻¹
T6	h3m	32.30 %	5 t ha ⁻¹
T7	h2m	23.40 %	5 t ha ⁻¹
T8	h1m	14.20 %	5 t ha ⁻¹

Figura 2.5

Distribución de los tratamientos del experimento complementario



CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. De la influencia de los retenedores de humedad en la evaporación del agua

Los valores de evaporación promedio (mm/día), correspondientes a cada tratamiento se muestran en la tabla 3.1. y la figura 3.1. Se puede observar que la mayor evaporación del agua en los tratamientos corresponde al testigo (t1), respecto a los tratamientos con retenedores de humedad. También se observa que la menor evaporación de agua en los tratamientos con retenedores corresponde a los tratamientos con mulch (m1 y m2) durante los primeros 7 días; mientras que, durante los días posteriores, la menor evaporación corresponde a la diatomita (d1), zeolita (z1) e hidrogel (h1) de manera muy similar entre los tres tratamientos mencionados.

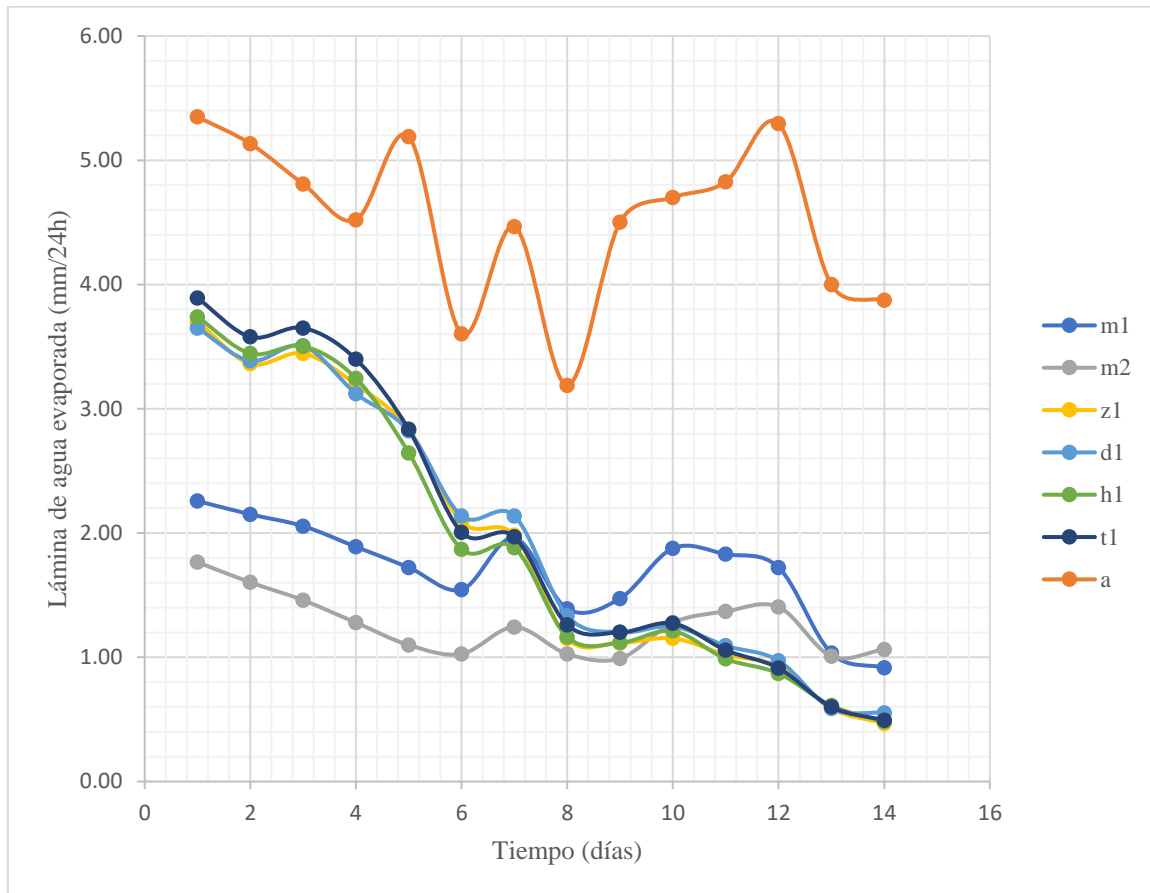
Tabla 3.1

Promedio de lámina de agua edáfica evaporada diaria expresada en mm para todos los tratamientos

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14
m1	2.26	2.15	2.06	1.89	1.72	1.54	1.96	1.39	1.47	1.88	1.83	1.72	1.03	0.91
m2	1.77	1.60	1.46	1.28	1.10	1.03	1.24	1.03	0.99	1.28	1.37	1.40	1.01	1.06
z1	3.70	3.36	3.45	3.19	2.83	2.09	1.98	1.15	1.12	1.15	1.02	0.92	0.59	0.47
d1	3.65	3.39	3.51	3.12	2.82	2.14	2.14	1.33	1.20	1.25	1.09	0.97	0.59	0.55
h1	3.74	3.44	3.50	3.24	2.65	1.87	1.88	1.16	1.12	1.21	0.99	0.87	0.61	0.48
t1	3.89	3.58	3.65	3.40	2.83	2.01	1.97	1.26	1.20	1.27	1.06	0.91	0.60	0.49
a	5.35	5.13	4.81	4.52	5.19	3.60	4.47	3.19	4.50	4.70	4.83	5.30	4.00	3.87

Figura 3.1

Evaporación diaria del agua edáfica durante el experimento



Las tablas 3.2 de ANVA y 3.3 de Tukey para la masa de agua evaporada, muestra diferencias altamente significativas entre tratamientos durante los días 1 hasta el 6, en las cuales se observa que las pérdidas del agua edáfica por evaporación en el tratamiento con mulch (m1) de 63.33 g (día 1) y 43.33 g (día 6) son menores respecto a los demás tratamientos (z1: zeolita, d1: diatomita, h1: hidrogel y t1: testigo) con 104 g (día 1) y 54 g (día 6). Entre los días 7 y 8 no existe diferencia significativa entre las pérdidas de agua en los diferentes tratamientos: alrededor de 55 g el día 7 y 35 g el día 8; sin embargo, a partir del día 9 se observa que la evaporación del agua en el tratamiento con mulch es mayor (41.3 g en el día 9 y 25.7 g en el día 14) respecto a los demás tratamientos (entre los cuales no hay diferencia estadística), con pérdidas por evaporación de 32 g en el día 9 y 14 g en el día 14.

Tabla 3.2

Análisis de Varianza para la evaporación del agua edáfica en diferentes fechas del experimento

FV	GL	F1	F6	F7	F8	F9	F14
Tratamiento	4	1037.73**	121.43**	15.43ns	22.77ns	51.77**	85.07**
Error	10	1037.73	121.43	15.43	22.77	51.77	85.07
Total	14	35.8	10.4	28	7.27	4.07	2.67
CV		6.22	5.99	9.54	7.67	5.91	10.04

Tabla 3.3

Prueba de Tukey del efecto de los distintos tratamientos en la evaporación del agua edáfica en distintas fechas del experimento

Tratamiento	F1	F6	F7	F8	F9	F14
Testigo	108.00 A	55.67 A	54.67 A	35.00 A	33.33 B	13.67 B
Hidrogel	106.00 A	53.00 A	53.33 A	33.00 A	31.67 B	13.67 B
Zeolita	102.67 A	58.00 A	55.00 A	32.00 A	31.00 B	13.00 B
Diatomita	101.33 A	59.33 A	59.33 A	37.00 A	33.33 B	15.33 B
Mulch	63.33 B	43.33 B	55.00 A	38.67 A	41.33 A	25.67 A

La figura 3.1 y la tabla 3.3 (prueba de Tukey) muestran que, durante la primera semana, la evaporación del agua en los suelos con mulch es menor que en los suelos con los otros retenedores; sin embargo, a partir del noveno día la evaporación en los suelos con mulch es mayor, debido al mayor contenido de agua como consecuencia de la menor evaporación ocurrida durante la primera semana.

Los resultados obtenidos de la evaporación también son influenciados por la textura del suelo, el cual es franco arcillo arenoso según el análisis de suelo (Tabla 2.2), la cual permite una buena capacidad de retención del agua edáfica; sin embargo, si la textura del suelo fuera arcillosa, no existiría gran diferencia en los tratamientos, debido a la alta capacidad de retención del agua en el suelo; asimismo, si la textura fuera arenosa, el agua se evaporaría con mayor facilidad y se observaría una mayor diferencia entre los tratamientos, reduciendo a su vez el tiempo del experimento.

Otro factor del suelo que afecta la retención de agua edáfica es la materia orgánica, la cual es 1.46% en el suelo utilizado, que funciona como un retenedor de suelo natural; si disminuye el valor, también disminuye la capacidad de retención del agua edáfica; asimismo, si aumenta la materia orgánica también lo hace la capacidad de retención del agua del suelo. Los tratamientos con mulch aumentan la materia orgánica del suelo y por lo tanto, la pérdida de agua es menor. Si el experimento se realiza en suelos con otras características de textura y/o materia orgánica, los resultados van a variar, logrando observar mayor diferencia entre tratamientos en suelos arenosos con alta materia orgánica y menor diferencia en suelos arcillosos con escasa materia orgánica.

Resultados similares respecto al efecto del mulch son reportados por Tineo (2021) quien en su trabajo sobre fuentes y niveles de mulch para reducir la evaporación del agua del suelo, en Pampa del Arco. Ayacucho, concluye que “la evaporación del agua en suelos sin mulch es significativamente superior a la evaporación en suelos con mulch” (p. 6); igualmente, Zribi et al. (2011) en su investigación sobre los efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas, Encontraron que: “Los materiales de acolchado reducen significativamente la evaporación de agua y promueven la conservación de agua en el suelo en relación a suelos desnudos. La eficiencia de los distintos materiales en la reducción de la evaporación directa de agua del suelo depende fundamentalmente de las propias características del material utilizado.” (p.6). Asimismo, Gómez (2015) investigó el efecto de distintos mulchings sobre la humedad y temperatura del suelo, estado hídrico, incidencia de malezas y crecimiento de un cultivo en implantación de mandarina nova en concordia, entre ríos, en la ciudad de Esperanza, provincia Santa Fé, Argentina, mencionando en sus conclusiones lo siguiente: “Los mulchings permiten incrementar entre 16 y 96% la humedad volumétrica del suelo a los 10 cm de profundidad durante la primavera y el verano, alcanzándose los mayores valores con la cobertura de chip de eucalipto.” (p.44)

3.2. De la influencia de los retenedores de humedad en el índice de reducción de la evaporación del agua del suelo (Reas)

El índice Reas (%) correspondiente a cada tratamiento durante los primeros 5 días se muestra en la tabla 3.4. y la figura 3.2. Se puede observar que el mayor índice Reas corresponde a los tratamientos con cobertura vegetal (m1 y m2) con 41.98% y 54.63% respectivamente, respecto a los tratamientos con los zeolita, diatomita e hidrogel (z1, d1

y h1) los cuales presentan porcentajes menores a 10% durante el primer día del experimento. Asimismo, se muestra que en el día 5 del experimento los tratamientos con zeolita y diatomita (z1 y d1) presentan valores menores a 1%, el hidrogel (h1) presenta un valor de 6.66%; y los tratamientos con cobertura vegetal (m1 y m2) presentan valores de 39.21% y 61.23%, los cuales indican una gran diferencia entre los tratamientos con cobertura y los tratamientos con los demás retenedores de humedad, que además se puede apreciar gráficamente en la figura 3.2.

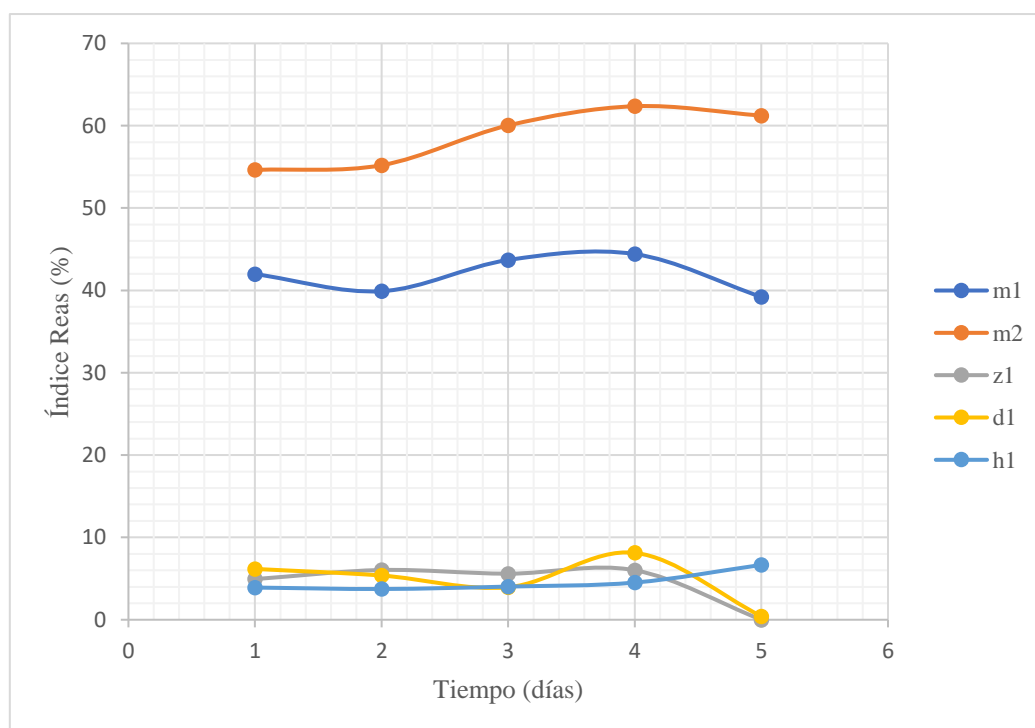
Tabla 3.4

Reducción de la evaporación del agua del suelo (Reas) para los retenedores respecto al testigo. Pampa del Arco, 2770 msnm.

Tratamiento	F1	F2	F3	F4	F5
m1	41.98	39.90	43.69	44.41	39.21
m2	54.63	55.20	60.03	62.37	61.23
z1	4.94	6.04	5.59	6.01	0.00
d1	6.17	5.37	3.95	8.13	0.42
h1	3.91	3.74	4.03	4.52	6.66

Figura 3.2

Reducción de la evaporación del agua del suelo (Reas) para los retenedores respecto al testigo. Pampa del Arco, 2770 msnm (día 1 al 5 del experimento)



Las tablas 3.5 de ANVA y 3.6 de Tukey para el índice Reas, muestran diferencias altamente significativas entre tratamientos durante los primeros días del experimento, en los cuales se observa que el índice Reas en el tratamiento con mulch (m1) ronda el 42%, siendo superior al resto de tratamientos como diatomita (d1) con 7%, zeolita (z1) con 4% e hidrogel (h1) con 4%. También se puede observar que no existe diferencia significativa en los tratamientos con diatomita, zeolita e hidrogel, indicando que el uso de estos materiales con la finalidad de retener agua es muy ineficiente respecto al uso del mulch.

Tabla 3.5

Análisis de varianza para la reducción de la evaporación del agua edáfica

FV	GL	F1	F2	F3	F4
Tratamiento	3	1044.712**	929.0627**	1163.993**	1121.62**
Error	8	16.8669	11.32618	12.49089	31.63917
Total	11				
CV		28.83239	24.4982	24.68049	35.63428

Tabla 3.6

Prueba de Tukey para la reducción de la evaporación del agua edáfica

Tratamiento	F1		F2		F3		F4	
Mulch	42.13	A	40.083	A	43.86	A	44.61	A
Diatomita	7.233	B	6.397	B	5.047	B	9.207	B
Zeolita	3.637	B	4.723	B	4.28	B	4.723	B
Hidrogel	3.977	B	3.747	B	4.093	B	4.6	B

Al respecto, Yañez et al. (2018) presenta resultados similares respecto al mulch y al hidrogel, mencionando que: “La aplicación de rastrojo incrementó en un 16.9 % el contenido de humedad del suelo, lo cual incrementó significativamente la producción de biomasa aérea. Las dosis de hidrogel sólo influyeron en un mejor porcentaje de establecimiento y un mayor contenido de humedad edáfica durante los primeros 15 días de realizado el trasplante, sin ningún efecto posterior durante la fase de crecimiento y desarrollo de los pastos.” (p. 14)

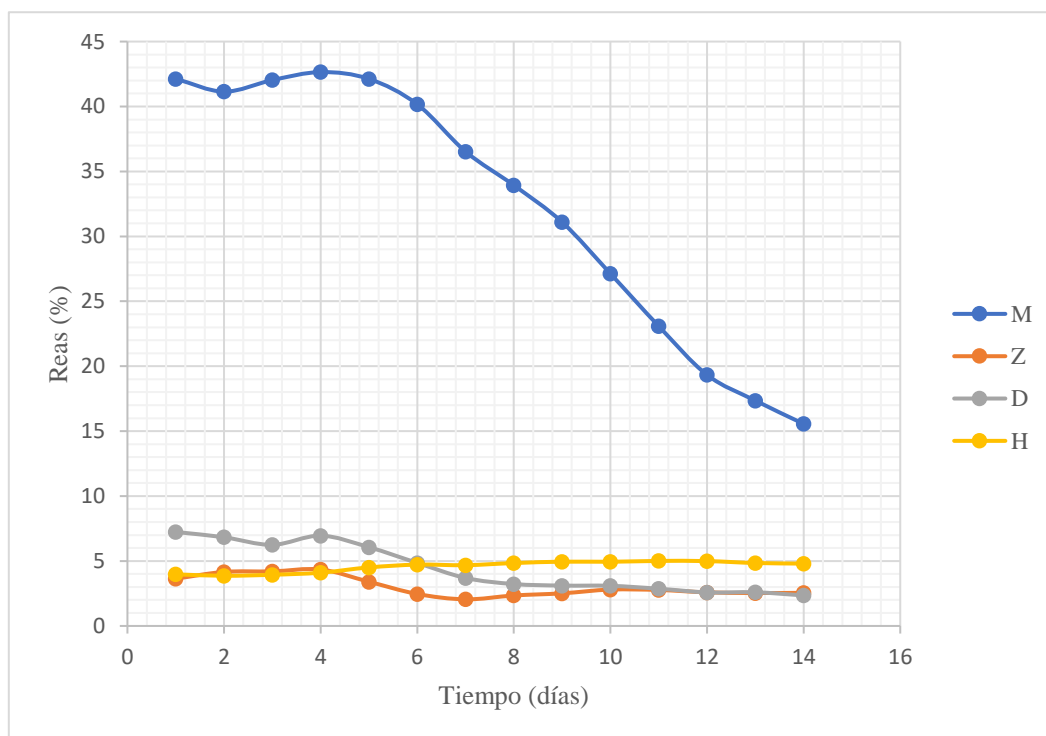
Sin embargo, algunos autores indican que aumentar la dosis de los otros retenedores tales como zeolita, diatomita e hidrogel mejoran significativamente su eficiencia, Mijahuanca y Oliva (2021) señala que “la eficiencia fue óptima para retener la

humedad del suelo con los tratamientos de poliacrilato de potasio en los plantones de café en vivero bajo las condiciones de operación utilizadas. Se observó que al aumentar la dosis de los tratamientos esto influyó en obtener mayores valores en los parámetros fisicoquímicos del suelo.” (p. 29); Bardales y Carrillo (2021) indican que “la adición del 4% en peso de diatomita es un nivel adecuado de dosis para la retención de agua de suelos arenosos produciendo un mayor rendimiento de masa seca y mayor altura de la planta, debido a la mejora en las propiedades físicas del suelo.” (p. 42)

Adicionalmente cabe resaltar que los resultados obtenidos de las tablas 3.2, 3.3, 3.5 y 3.6 señalan la eficiencia del tratamiento con mulch respecto a los demás tratamientos; sin embargo, también se observa que en las fechas finales del experimento los demás tratamientos pierden menor cantidad de agua edáfica por evaporación que los tratamientos con mulch, esto influye en el índice Reas, el cual disminuye durante el transcurso del experimento, tal como se muestra en la figura 4.3. siendo esto el motivo de que en los procedimientos se presentara un experimento complementario, el cual busca explicar este fenómeno de disminución de la eficiencia del mulch para retener agua edáfica; y cuyos resultados se muestran a continuación

Figura 3.3

Reducción de la evaporación del agua del suelo (Reas) para los retenedores respecto al testigo. Pampa del Arco, 2770 msnm (día 1 al 14 del experimento)



3.3. Del experimento complementario

La tabla 3.7 muestra los promedios de evaporación (mm/día), donde se observa que en los tratamientos sin mulch, los valores oscilan alrededor de los 3 mm durante el primer día del experimento; posteriormente van disminuyendo con algunas variaciones; sin embargo, durante el tiempo que duró el experimento, la evaporación en los tratamientos avanzan siguiendo las mismas tendencias sin generar intersecciones entre los tratamientos (niveles de humedad inicial del suelo), hasta estabilizarse a partir del día 12 del experimento con un promedio de 0.5 mm de lámina de agua evaporada por día. El mismo comportamiento se puede observar en los tratamientos con mulch; sin embargo, con una menor lámina de agua evaporada por día, menor a 2 mm/día. (Figura 3.4)

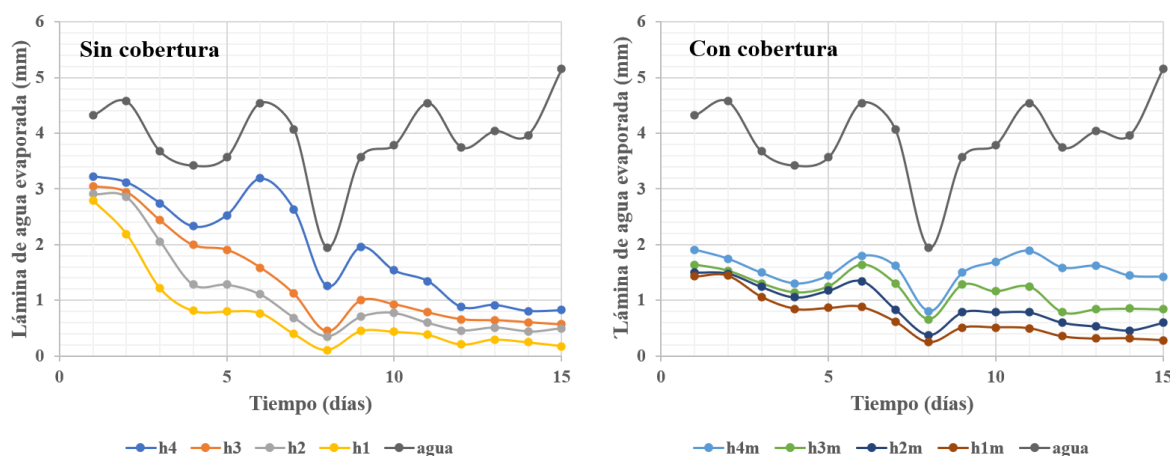
Tabla 3.7

Evaporación del agua edáfica expresada en lámina de agua (mm/día)

Tratamientos	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10	d11	d12	d13	d14
h4	3.22	3.12	2.74	2.33	2.53	3.19	2.63	1.25	1.95	1.54	1.34	0.88	0.91	0.81
h3	3.05	2.94	2.44	2	1.91	1.59	1.12	0.45	1	0.93	0.78	0.66	0.64	0.61
h2	2.91	2.86	2.05	1.28	1.28	1.1	0.68	0.35	0.7	0.77	0.6	0.46	0.51	0.44
h1	2.8	2.19	1.22	0.81	0.8	0.76	0.4	0.11	0.45	0.44	0.38	0.21	0.29	0.24
h4m	1.91	1.75	1.5	1.3	1.44	1.8	1.62	0.8	1.5	1.69	1.89	1.59	1.62	1.44
h3m	1.64	1.53	1.3	1.14	1.25	1.64	1.3	0.66	1.28	1.16	1.25	0.78	0.84	0.86
h2m	1.5	1.48	1.24	1.05	1.17	1.34	0.83	0.37	0.78	0.78	0.78	0.59	0.53	0.46
h1m	1.43	1.45	1.06	0.85	0.86	0.88	0.62	0.25	0.51	0.51	0.49	0.35	0.32	0.32
Agua	4.32	4.58	3.67	3.42	3.57	4.54	4.07	1.95	3.57	3.78	4.54	3.75	4.03	3.96

Figura 3.4

Evaporación diaria del agua edáfica en tratamientos sin y con cobertura vegetal



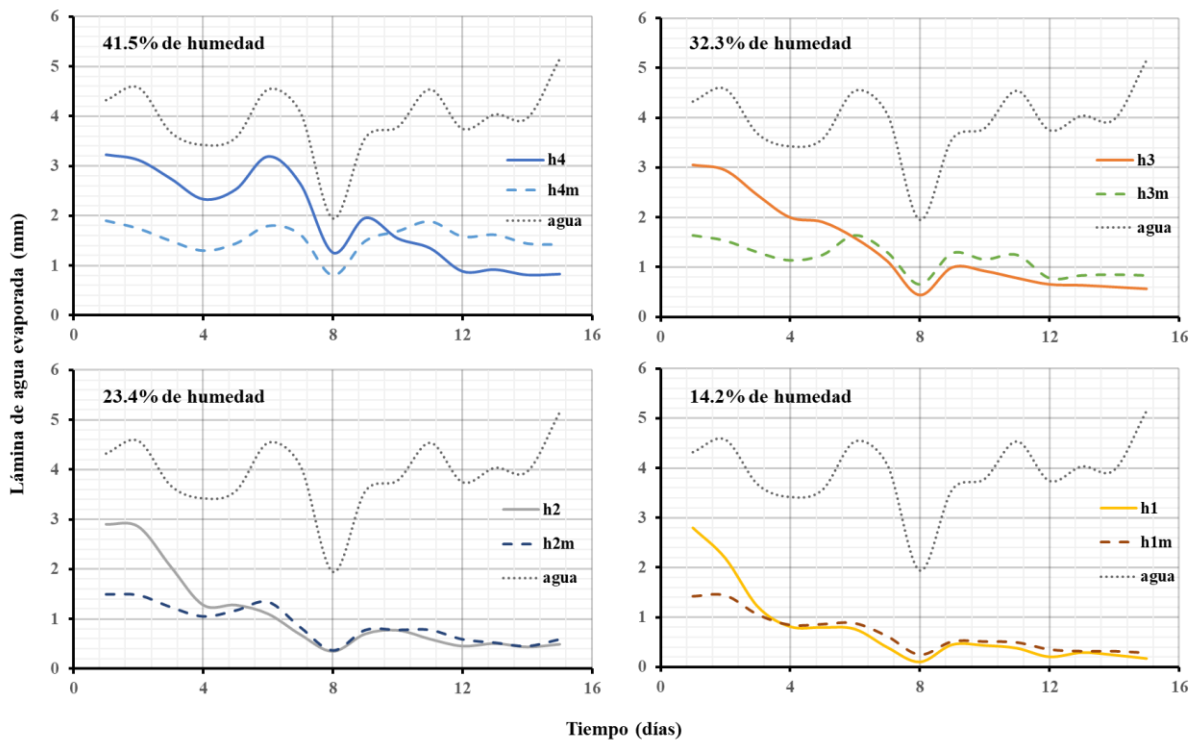
De la figura 3.5 se observa lo siguiente: aunque al inicio del experimento los niveles de humedad en el suelo con y sin cobertura vegetal son similares, con el transcurso de los días, el suelo sin cobertura experimenta una reducción más marcada en su humedad debido a una mayor pérdida por evaporación. En contraste, el suelo con cobertura vegetal retiene la humedad por más tiempo, lo que indica una menor fuerza de retención del agua. No obstante, esta mayor humedad también conlleva una tasa de evaporación más elevada en comparación con el suelo sin cobertura, el cual, al presentar un menor contenido de agua, desarrolla fuerzas de succión más intensas que limitan la evaporación.

Respecto a este fenómeno, Hurtado (2004) señala que: “en un suelo a capacidad de campo, la evaporación inicial será relativamente alta debido a la disponibilidad de agua. A medida que el suelo se acerca al punto de marchitez, la evaporación disminuirá significativamente, ya que el agua se vuelve menos accesible para la evaporación.”

En los suelos con mayor contenido de humedad (41.5%), este efecto ocurre aproximadamente al décimo día, mientras que en los suelos con menor humedad (14.2%) se presenta alrededor del tercer día. En los casos intermedios, con humedades del 32.3% y 23.4%, el fenómeno se manifiesta aproximadamente en el sexto y quinto día.

Figura 3.5

Evaporación diaria del agua edáfica en tratamientos con y sin cobertura vegetal para cuatro niveles de humedad inicial

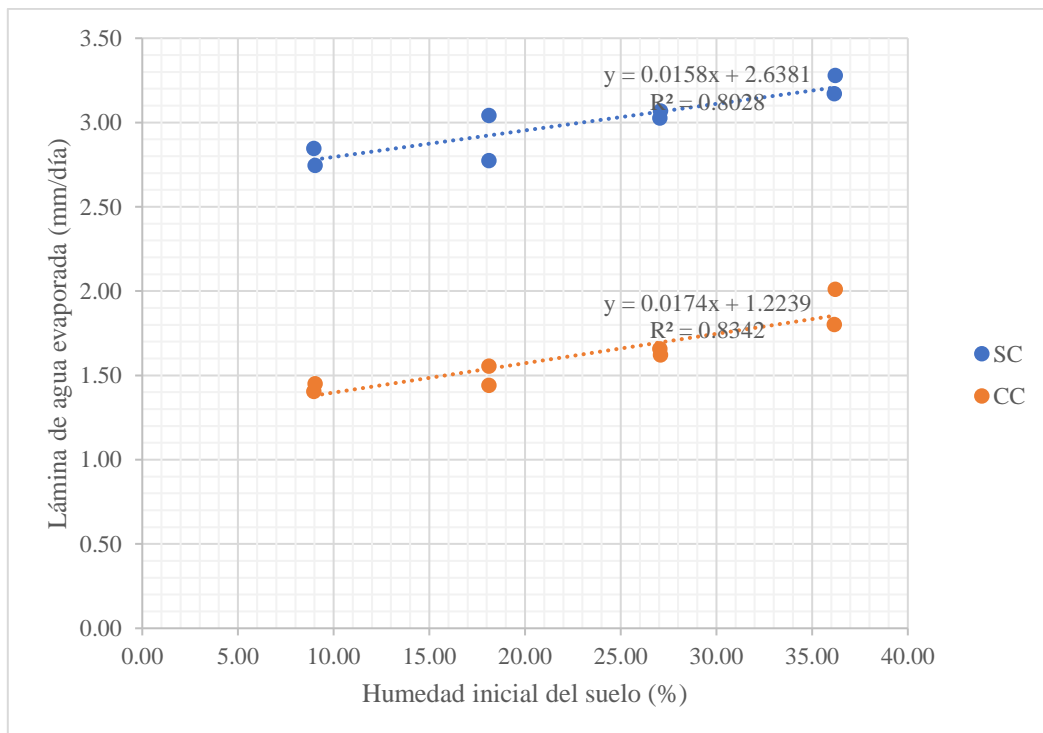


La figura 3.6 muestra una comparación gráfica de la evaporación del agua en el suelo durante el primer día entre los tratamientos con y sin mulch, evidenciando una tendencia que se mantiene hasta la conclusión del experimento. La línea de tendencia indica que a medida que aumenta la humedad del suelo, también lo hace la tasa de evaporación. Sin embargo, este efecto disminuye por la presencia de cobertura vegetal, que contribuye a reducir la evaporación del agua edáfica. Al respecto, Carnero y Carnero (2018) concuerdan que “la succión experimentada por el suelo está íntimamente ligada al contenido de humedad del mismo” (p. 2)

Los resultados del experimento complementario también explican la disminución de la Reas en los tratamientos con mulch en las fechas finales del experimento original. Esto se puede explicar de la siguiente manera, los tratamientos con mulch retienen la humedad por más tiempo respecto a los demás tratamientos, lo cual genera que los tratamientos sin mulch (zeolita, diatomita e hidrogel) alcancen el punto de marchitez antes que los tratamientos con mulch; por consiguiente, el agua que pierden es mínima (respecto a los tratamientos con mulch) debido a las fuerzas de succión del propio suelo, explicando también la disminución de los valores del índice Reas.

Figura 3.6

Comparativa gráfica de la evaporación de agua edáfica en suelos con y sin cobertura vegetal (día 01)



CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Con los resultados encontrados en el presente trabajo se logró arribar a las conclusiones siguientes:

1. La influencia de los retenedores de humedad en la evaporación del agua edáfica es muy evidente en el mulch que en diferentes dosis reduce la evaporación del agua edáfica de manera eficiente, logrando una diferencia significativa respecto a los demás tratamientos. El resto de tratamientos; el hidrogel, la zeolita y la diatomita reducen la evaporación del agua edáfica en menor medida que el mulch, sin embargo, no existe una diferencia significativa que nos permita determinar cuál de los tres es mejor.
2. La influencia de los retenedores de humedad en el índice de reducción de la evaporación del agua edáfica es significativamente mayor en el mulch, con un índice Reas de 42%, seguido de la diatomita (6.17%), la zeolita (4.94%) y el hidrogel (3.91%). El índice Reas en los tratamientos con mulch fue estadísticamente mayor que los demás tratamientos, los cuales no tuvieron diferencia significativa entre sí.

4.2. Recomendaciones

1. Usar mulch en regiones semiáridas como la nuestra, en las cuales las épocas de sequía afectan a los principales cultivos.
2. Investigar trabajos futuros centrándose en diferentes factores como pueden ser la textura, el clima, y hasta evaluar los tratamientos y su influencia en los cultivos importantes de la región.
3. Incentivar la investigación en temas relacionados con la reducción del agua edáfica en nuestra región, debido a su impacto en la agricultura por un futuro sostenible.

REFERENCIAS

- Admon, A. (2023) “¿Qué tipo de hidroretenedor usar?” Insumos Agrícolas, Agrofertas.co. Recuperado de: <https://agrofertas.co/hidroretenedores-organicos-y-sinteticos/#:~:text=Los%20hidroretenedores%20son%20materiales%20capaces, reducir%20la%20frecuencia%20de%20riego.>
- Agraria Università Mediterranea di Reggio Calabria (2016). “Suolo: Mezzo nutritivo per la pianta.” Materiale didattico, documentazione, repositorio UNIRC. Recuperado de: https://www.unirc.it/documentazione/materiale_didattico/1462_2017_429_27771.pdf
- Álvarez, L.; Valverde, A. y Briceño, H. (2023) “El uso de hidrogel reduce el estrés hídrico y mejora el rendimiento en el cultivo de maíz morado” Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Av. Universitaria 601-607, Pillco Marca, Huánuco, Perú. Recuperado de: <http://www.scielo.org.pe/pdf/mang/v20n4/2414-1046-manglar-20-04-325.pdf>
- Al-Othman, A. A; Mattar, M. A. & Alsamhan, M. A. (2020). “Efecto del acolchado y del riego por goteo subterráneo sobre el estado hídrico del suelo en ambientes áridos.” Revista Española de Investigación Agraria, 18 (1), e1201. Recuperado de: <https://sjar.revistas.csic.es/index.php/sjar/article/view/15343>
- Baglione, L. (s.f.) “Usos de la tierra diatomea”. Organización tecnicana. Recuperado de: https://saltonverde.com/wp-content/uploads/2015/tec_no27_2011_p33-34.pdf
- Bardales Carrasco, V. J., & Carrillo Ríos, M. J. (2021). Sistema de tratamiento con diatomita para la retención de agua de los suelos arenosos en el Huerto San Antonio, Ica. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/63467>
- Barón Cortés, Andrés, Barrera Ramírez, Ingrid Xiomara, Boada Eslava, Luis Francisco, & Rodríguez Niño, Gerardo. (2007). Evaluación de hidrogeles para aplicaciones agroforestales. Ingeniería e Investigación, 27 (3), 35-44. Recuperado de:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012056092007000300004&lng=en&tlng=es.

Calleja, A. (2009) “La importancia de las zeolitas” Escuela de Ingeniería Química. Universidad de Salamanca. Recuperado de: <file:///C:/Users/Figuz/Downloads/Dialnet-LaImportanciaDeLasZeolitas-3760692.pdf>

Carnero, E. G. & Carnero, G. G. (2018), “Análisis numérico de infiltración de agua en un suelo residual no saturado utilizando la curva de retención de agua”. Revista de Investigaciones Altoandinas 2018; 20 (4); 439 – 450. Recuperado de: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v20n4/a07v20n4.pdf>

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (2022) “Uso del hidrogel en la agricultura” Gobierno de México. CIAD. Ciudad de México. Recuperado de: <https://www.ciad.mx/uso-del-hidrogel-para-la-agricultura/#:~:text=El%20hidrogel%20libera%20el%20agua,de%20nutrientes%20en%20las%20plantas>.

Coordinación General de Minería (2013). Perfil de mercado de la diatomita. Dirección General de Desarrollo Minero. Secretaría de Economía de México. Recuperado de: https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_diatomita_1013.pdf

Costafreda-Mustelier (2011). Tectosilicatos con características especiales: Las zeolitas naturales. Fundación Gómez Pardo, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía, Universidad Politécnica de Madrid. España. Recuperado de: https://oa.upm.es/32548/1/Tectosilicatos_Costafreda.pdf

Cruz, A; Pedroza, A; Trejo R; Sánchez, I; Samaniego, J. y Hernández, R. (2016) Captación de agua de lluvia y retención de humedad edáfica en el establecimiento de buffel (*Cenchrus ciliaris* L.). Rev. mex. de cienc. 7(2): 159-172. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200711242016000200159&lng=es.

Dirección General de Desarrollo Minero de México (2017), “Perfil de Mercado de la Diatomita” Secretaría de Economía. Subsecretaría de Minería. Ciudad de México.

Recuperado de:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/287797/Perfil_Diatomita_2017.pdf

Dorronsoro, C. (2020), “Introducción a la edafología” Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Recuperado de:
<http://www.edafologia.net/introeda/tema00/progr.htm>

FAO (2018) “Cobertura vegetal del suelo” Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Agricultura de conservación. Recuperado de:
<https://www.fao.org/conservation-agriculture/in-practice/soil-organic-cover/es/#:~:text=Protegen%20el%20suelo%20durante%20los,y%20las%20suelas%20de%20compactaci%C3%B3n>

FAO (s.f.) “Evapotranspiración del cultivo: Guía para la determinación de agua de los cultivos” Estudio FAO, Riego y Drenaje. Recuperado de:
<https://www.fao.org/4/x0490s/x0490s.pdf>

Génova, Leopoldo; Andreau, Ricardo; Etcheverry, Marta; Etchevers, Pablo; Chale, Walter; Luciano, Calvo & Ramos-Artuso, Facundo (s.f.) Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. Contenidos hídricos referenciales. Medición y estimación de la humedad y la densidad aparente del suelo. Potencial de agua. Curvas de capacidad hídrica. Sensibilidad de las plantas al déficit hídrico. Umbral de riego. Cálculo de lámina e intervalo de riego. Programas operativos de riego. Recuperado de:
https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/35376/mod_resource/content/1/unidad%205%20TP5%20RASP.A.pdf

Gil, R. (2020). “El agua del suelo.” Agua Edáfica, Resumen Edafología General. Escuela Nacional Central de Agricultura. INTA. Recuperado de:
<https://www.studocu.com/gt/document/escuela-nacional-central-de-agricultura/edafologia-general/agua-edafica-resumen-edafologia-general/96133612>

Hurtado, L., Toscano, Á., Taboada, L., Canales, L., Santayana, S., Domínguez, G., . . . Paredes, H. (2004). “Manejo y conservación del suelo: Fundamentos y prácticas.” Lima. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/470734477/Manejo-y-Conservacion-de-Suelos-Fundamentos-y-Practicas-2001>

- Ingelmo, F; Cuadrado, S. y Blanco, A. (1980) “Evaporación de agua en suelos de distinta textura” Centro de Edafología y Biología Aplicada. Salamanca C. S. I. C. Recuperado de: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/37205/1/AnuarioCEBAS1980255.pdf>
- Mijahuanca Rueda, E. E., & Oliva Torres, J. M. (2021). Nivel de retención de agua por poliacrilato de potasio en vivero de plantones de café en San Ignacio - Cajamarca, 2021. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/95757>
- Nascimento, C., Mota, J., Nascimento, Í., Albuquerque, G., Simmons, R., Dias, C., & Costa, M. (2021). Temperature limitations in the use of hydrogels on leptosols in a semi-arid region of Brazil. *Geoderma Regional*, 26. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/352163310_Temperature_limitations_in_the_use_of_hydrogels_on_leptosols_in_a_semi-arid_region_of_Brazil
- Páches, M. A. V. (s.f.) “El agua en el suelo: fuerzas de retención.” Departamento de ingeniería hidráulica y Medio Ambiente. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/121154/Pach%C3%A9s%20-%20El%20agua%20en%20el%20suelo.%20Fuerzas%20de%20retenci%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Paredes, R; Salvador, E; Alamilla, P; Mandujano, A. y María, A. (2013). “Zeolita Natural. Alternativa ecológica y económica para la agricultura de temporal en México.” Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agricultura y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Centro. Celaya Guanajuato. México. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/336132417_Zeolita_Natural_Alternativa_ecologica_y_economica_para_la_agricultura_de_temporal_en_Mexico
- Portal Frutícola (2017). Cómo hacer y utilizar polímeros de hidrogel para retener la humedad en el suelo. Recuperado de: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/10/04/como-hacer-y-utilizarpolimeros-de-hidrogel-para-retener-la-humedad-en-el-suelo/?country=pe>
- Ramírez, A; Benítez, J. L; Rojas de Astudillo, L. y Rojas de Gáscue, B. (2016) “Materiales polimeros de tipo hidrogeles: revisión sobre su caracterización

mediante ftir, dsc, meb y met” Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, 36(2), 108-130. Recuperado de: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522016000200002&lng=es&tlng=es.

Silva, P; Silva, H; Garrido, M & Acevedo, E. (2015), “Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos.” Departamento de Producción Agrícola. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Avda. Santa Rosa 11315, La Pintana, Santiago –Chile. Recuperado de: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130642/Manual-de-estudio-y-ejercicios-relacionados-con-el-contenido-de-agua.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Sela, G. (2024) “El agua del suelo” Portal Agrícola Web Cropaia. Recuperado de: <https://cropaia.com/es/blog/el-agua-del-suelo/>

Tarpurisunchis (s.f.) “Uso del mulch” Agroecología Original. Organización Tarpurisunchis. Tamburco. Abancay-Apurímac. Recuperado de: <https://www.tarpurisunchis.org/AgroEcologiaOriginal/pp/Mulch.pdf>

Tejada, G. (2019) “Yacimiento de diatomita en Tacna” Ciencia & Desarrollo 7. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Recuperado de: <https://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/cyd/article/view/132>

Tencio-Camacho, Rolando (2018). “Cobertura de suelo o “mulch” como práctica sostenible ante el cambio climático.” Infoagro Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección de Desarrollo Central Oriental. Costa Rica. Recuperado de: http://www.infoagro.go.cr/InfoRegiones/Publicaciones/Cobertura_suelo_mulch.pdf

TerraCottem (2021) “¿Cuanto mayor sea la capacidad de retención de agua de un acondicionador de suelo, más agua estará disponible para la planta?” Portal web TerraCottem. Disponible en: <https://www.terracottem.com/es/preguntas-frecuentes-blog/cuanto-mayor-sea-la-capacidad-de-retencion-de-agua-de-un-acondicionador-de-suelo-mas-agua-estara>

Universidad Nacional de Córdoba (s.f.) “Determinación del contenido hídrico del suelo” Cátedra de Cereales y Oleaginosas. Departamento de Producción Vegetal.

Facultad de Ciencias Agropecuarias. UNC. Recuperado de:
<https://www.tecnoriegovalley.com.ar/uploads/fca-unc-determinacion-del-contenido-hidrico-del-suelo-2983.pdf>

Vadivielso, A. (s.f.) “¿Qué es la evaporación del agua?” Blog ¡agua, iagua respuestas. Ciclo del Agua. Recuperado de: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-evaporacion-agua>

Yáñez-Chávez, Luis & Pedroza-Sandoval, Aurelio. (2012). Evaluación de retenedores de humedad edáfica y su impacto en el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la Comarca Lagunera, México. VIII CONGRESO NACIONAL EN REC. BIÓTICOS DE ZONAS ÁRIDAS. I. 132-140. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/266374783_Evaluacion_de_retenedores_de_humedad_edafica_y_su_impacto_en_el_crecimiento_y_desarrollo_del_cultivo_de_maiz_Zea_mays_L_en_la_Comarca_Lagunera_Mexico

Yáñez-Chávez, Luis Gerardo; Pedroza-Sandoval, Aurelio; Sanchez-Cohen, Ignacio & Samaniego-Gaxiola, José Alfredo (2014). Assessment of the Impact of Compost and Hydrogel as Soil Moisture Retainers on the Growth and Development of Forage Maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/272481322_Assessment_of_the_Impact_of_Compost_and_Hydrogel_as_Soil_Moisture_Retainers_on_the_Growth_and_Development_of_Forage_Maize_Zea_mays_L

Yáñez-Chávez, Luis Gerardo, Pedroza-Sandoval, Aurelio, Martínez-Salvador, Martín, Sánchez-Cohen, Ignacio, Echavarría-Cháirez, Francisco Guadalupe, Velásquez-Valle, Miguel Agustín, & LópezSantos, Armando. (2018). Uso de retenedores de humedad edáfica en la sobrevivencia y crecimiento de dos especies de pastos *Bouteloua curtipendula* [Michx.] Torr. y *Chloris gayana* Kunth. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 9(4), 702-718. Recuperado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242018000400702

Zeocol (s.f.) “Propiedades de la zeolita en la agricultura” Zeocol. Zeolitas de Colombia. Quindío. Colombia. Recuperado de: <https://www.zeocol.com/contenido/5/propiedades-de-la-zeolita-en-la-agricultura>

Zhen Li, Jan Vanderborght & Katthleen M. Smiths (2020). The effect of the top soil layer on moisture and evaporation dynamics. *Vadose Zone Journal*. DOI: 10.1002/vzj2.20049. Recuperado de: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/vzj2.20049>

Zribi, Wided & Faci, J & Aragüés, Ramón. (2011). Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas. *Información técnica económica agraria*. 107. 148-162. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/267921237_Efectos_del_acolchado_sobre_la_humedad_temperatura_estructura_y_salinidad_de_suelos_agricolas

ANEXO

1. Tabla de registro diario de los pesos de cada tratamiento con sus repeticiones

1.1. Inicio del experimento al día 02

F	27-Set										28-Set					
	H	PB	PS	AGUA	9am	11am	P	12	P	4pm	Tot	8 am	P	12	P	4pm
11	182	3500	1340	5022	5010	12	5007	15	4988	34	4958	30	4945	13	4929	29
12	190	3500	1340	5030	5021	9	5017	13	4996	34	4963	33	4949	14	4933	30
13	195	3500	1340	5035	5029	6	5027	8	5006	29	4976	30	4964	12	4949	27
14	179	3500	1340	5019	5014	5	5008	11	4994	25	4974	20	4966	8	4955	19
15	199	3500	1340	5039	5029	10	5026	13	5012	27	4986	26	4978	8	4967	19
21	193	3500	1340	5033	5020	13	5013	20	4979	54	4925	54	4901	24	4873	52
22	184	3500	1340	5024	5011	13	5005	19	4972	52	4921	51	4898	23	4870	51
23	190	3500	1340	5030	5019	11	5013	17	4981	49	4933	48	4911	22	4886	47
24	196	3500	1340	5036	5027	9	5022	14	4988	48	4938	50	4917	21	4892	46
25	194	3500	1340	5034	5025	9	5020	14	4991	43	4943	48	4924	19	4899	44
31	189	3500	1340	5029	5017	12	5010	19	4974	55	4921	53	4897	24	4869	52
32	196	3500	1340	5036	5026	10	5017	19	4984	52	4933	51	4912	21	4882	51
33	190	3500	1340	5030	5020	10	5012	18	4982	48	4937	45	4917	20	4892	45
34	190	3500	1340	5030	5028	2	5023	7	4994	36	4950	44	4930	20	4907	43
35	182	3500	1340	5022	5012	10	5008	14	4980	42	4934	46	4916	18	4893	41
41	190	3500	1340	5030	5019	11	5009	21	4973	57	4915	58	4889	26	4859	56
42	185	3500	1340	5025	5016	9	5008	17	4975	50	4921	54	4897	24	4870	51
43	190	3500	1340	5030	5020	10	5012	18	4981	49	4931	50	4908	23	4882	49
44	178	3500	1340	5018	5010	8	5002	16	4972	46	4923	49	4902	21	4877	46
45	195	3500	1340	5035	5028	7	5021	14	4993	42	4947	46	4928	19	4905	42
51	189	3500	1340	5029	5017	12	5007	22	4972	57	4918	54	4893	25	4864	54
52	179	3500	1340	5019	5009	10	5000	19	4966	53	4912	54	4888	24	4859	53
53	181	3500	1340	5021	5011	10	5001	20	4969	52	4915	54	4892	23	4863	52
54	189	3500	1340	5033	5021	12	5011	22	4982	51	4930	52	4908	22	4882	48
55	180	3500	1340	5020	5016	4	5007	13	4978	42	4932	46	4913	19	4890	42
a1				4050	4038	12	4027	23	3974	76	3899	75	3869	30	3823	76
a2				3300	3287	13	3276	24	3229	71	3154	75	3118	36	3080	74

Nota. Se utilizó números durante el registro de los tratamientos siendo los que terminan en 1, 2 y 3 las repeticiones que se usaron y los que terminan en 4 y 5 repeticiones en caso de emergencia a las condiciones adversas. Se registraba también la pérdida de peso diaria (Tot). 11-15 (Tratamientos con mulch), 21-25 (Tratamientos con zeolita), 31-35 (Tratamientos con diatomita), 41-45 (Tratamientos con hidrogel), 51-55 (Testigo), a1 y a2 (Agua suelta o tanque evaporímetro). El peso inicial se encuentra en la ranura “9am”, el cual es la suma de peso de balde (PB), Peso del suelo (PS) y la humedad agregada al suelo al inicio del experimento (AGUA).

1.2. Día 03 al día 05

F	29-Set				30-Set				1-Oct							
H	8		12		4		8		12		4		8		12	
11	4900	29	4887	13	4870	30	4841	29	4833	8	4823	18	4779	44	4764	15
12	4898	35	4887	11	4871	27	4840	31	4831	9	4820	20	4775	45	4760	15
13	4918	31	4906	12	4891	27	4862	29	4854	8	4845	17	4805	40	4793	12
14	4931	24	4923	8	4910	21	4892	18	4885	7	4880	12	4852	28	4842	10
15	4940	27	4931	9	4919	21	4898	21	4891	7	4883	15	4853	30	4845	8
21	4829	44	4807	22	4781	48	4729	52	4709	20	4690	39	4613	77	4589	24
22	4828	42	4805	23	4781	47	4730	51	4712	18	4697	33	4623	74	4603	20
23	4842	44	4823	19	4801	41	4753	48	4735	18	4719	34	4654	65	4635	19
24	4845	47	4827	18	4805	40	4756	49	4738	18	4724	32	4660	64	4639	21
25	4856	43	4839	17	4817	39	4768	49	4754	14	4738	30	4679	59	4658	21
31	4824	45	4802	22	4776	48	4721	55	4701	20	4684	37	4608	76	4582	26
32	4836	46	4815	21	4788	48	4736	52	4717	19	4701	35	4626	75	4603	23
33	4849	43	4831	18	4808	41	4760	48	4743	17	4730	30	4667	63	4646	21
34	4865	42	4848	17	4829	36	4781	48	4768	13	4754	27	4695	59	4674	21
35	4851	42	4832	19	4814	37	4767	47	4753	14	4741	26	4678	63	4659	19
41	4812	47	4788	24	4759	53	4705	54	4682	23	4663	42	4581	82	4558	23
42	4824	46	4800	24	4776	48	4725	51	4705	20	4686	39	4611	75	4587	24
43	4838	44	4817	21	4792	46	4746	46	4724	22	4710	36	4643	67	4622	21
44	4835	42	4814	21	4791	44	4746	45	4728	18	4714	32	4651	63	4629	22
45	4863	42	4847	16	4824	39	4778	46	4767	11	4754	24	4690	64	4671	19
51	4818	46	4794	24	4769	49	4713	56	4690	23	4672	41	4595	77	4570	25
52	4812	47	4790	22	4764	48	4712	52	4690	22	4670	42	4591	79	4568	23
53	4817	46	4795	22	4769	48	4718	51	4699	19	4681	37	4610	71	4588	22
54	4839	43	4822	17	4797	42	4747	50	4730	17	4719	28	4655	64	4633	22
55	4847	43	4833	14	4808	39	4762	46	4749	13	4734	28	4669	65	4650	19
a1	3743	80	3720	23	3683	60	3604	79	3582	22	3556	48	3452	104	3420	32
a2	3025	55	3006	19	2969	56	2897	72	2876	21	2852	45	2755	97	2725	30

1.3. Día 06 al día 09

F	2-Oct						3-Oct				4-Oct		5-Oct	
H	8		12:45		5:30		9		5.45		8:50		8:30	
11	4739	25	4737	27	4716	23	4698	18	4670	28	4640	58	4601	39
12	4735	25	4721	39	4708	27	4690	18	4663	27	4631	59	4594	37
13	4768	25	4759	34	4748	20	4731	17	4709	22	4683	48	4643	40
14	4827	15	4818	24	4812	15	4800	12	4785	15	4767	33	4740	27
15	4829	16	4821	24	4814	15	4801	13	4784	17	4765	36	4735	30
21	4547	42	4530	59	4509	38	4481	28	4450	31	4425	56	4391	34
22	4558	45	4544	59	4523	35	4497	26	4466	31	4440	57	4407	33
23	4596	39	4582	53	4559	37	4532	27	4501	31	4480	52	4451	29
24	4600	39	4584	55	4564	36	4536	28	4502	34	4468	68	4424	44
25	4622	36	4607	51	4590	32	4560	30	4527	33	4492	68	4453	39
31	4537	45	4521	61	4501	36	4475	26	4445	30	4421	54	4389	32
32	4560	43	4543	60	4521	39	4491	30	4459	32	4431	60	4392	39
33	4605	41	4593	53	4574	31	4547	27	4514	33	4483	64	4443	40
34	4639	35	4628	46	4608	31	4580	28	4547	33	4510	70	4454	56
35	4623	36	4612	47	4592	31	4561	31	4527	34	4490	71	4443	47
41	4520	38	4503	55	4487	33	4463	24	4438	25	4418	45	4387	31
42	4546	41	4527	60	4508	38	4483	25	4456	27	4429	54	4397	32
43	4582	40	4568	54	4547	35	4519	28	4489	30	4458	61	4422	36
44	4593	36	4580	49	4560	33	4534	26	4502	32	4473	61	4436	37
45	4633	38	4620	51	4602	31	4576	26	4544	32	4509	67	4474	35
51	4525	45	4511	59	4490	35	4465	25	4437	28	4413	52	4378	35
52	4521	47	4506	62	4486	35	4458	28	4430	28	4403	55	4369	34
53	4550	38	4534	54	4514	36	4484	30	4456	28	4427	57	4391	36
54	4594	39	4585	48	4563	31	4535	28	4500	35	4467	68	4425	42
55	4609	41	4599	51	4577	32	4549	28	4515	34	4476	73	4429	47
a1	3172	248	3153	267	3117	55	3072	45	3015	57	2946	126	2856	90
a2	2632	93	2614	111	2581	51	2537	44	2483	54	2415	122	2328	87

1.4. Día 10 al final del experimento

F	6-Oct		7-Oct		8-Oct		9-Oct		10-Oct		11-Oct	
H	8.3		8.3		8.3		8.3		8.3		8.3	
11	4559	42	4505	54	4453	52	4407	46	4378	29	4353	25
12	4549	45	4493	56	4443	50	4399	44	4372	27	4349	23
13	4606	37	4558	48	4506	52	4451	55	4420	31	4391	29
14	4713	27	4677	36	4640	37	4600	40	4573	27	4544	29
15	4707	28	4672	35	4633	39	4595	38	4566	29	4536	30
21	4359	32	4326	33	4296	30	4269	27	4255	14	4243	12
22	4376	31	4343	33	4314	29	4288	26	4271	17	4257	14
23	4421	30	4391	30	4365	26	4341	24	4323	18	4310	13
24	4390	34	4351	39	4317	34	4290	27	4273	17	4256	17
25	4414	39	4380	34	4349	31	4319	30	4303	16	4285	18
31	4356	33	4325	31	4295	30	4269	26	4254	15	4239	15
32	4359	33	4323	36	4293	30	4265	28	4249	16	4234	15
33	4409	34	4372	37	4341	31	4314	27	4296	18	4280	16
34	4396	58	4325	71	4256	69	4207	49	4178	29	4153	25
35	4402	41	4367	35	4331	36	4301	30	4285	16	4269	16
41	4356	31	4323	33	4296	27	4272	24	4256	16	4243	13
42	4366	31	4331	35	4304	27	4279	25	4261	18	4247	14
43	4389	33	4354	35	4324	30	4299	25	4281	18	4267	14
44	4401	35	4369	32	4336	33	4310	26	4290	20	4277	13
45	4435	39	4396	39	4365	31	4337	28	4319	18	4303	16
51	4346	32	4311	35	4282	29	4257	25	4241	16	4229	12
52	4335	34	4299	36	4271	28	4245	26	4230	15	4216	14
53	4357	34	4322	35	4291	31	4266	25	4247	19	4232	15
54	4388	37	4350	38	4318	32	4290	28	4272	18	4258	14
55	4389	40	4349	40	4317	32	4289	28	4269	20	4254	15
a1	4161		3930	231	3740	190	3578	162	3467	111	3354	113
a2	3109		2978	131	2844	134	2697	147	2587	110	2485	102

2. Tabla de pérdida de agua acumulada durante el experimento

Trat	27- Set	28- Set	29- Set	30- Set	1- Oct	2- Oct	3- Oct	4- Oct	5- Oct	6- Oct	7- Oct	8- Oct	9- Oct	10- Oct	11- Oct
11	5022	64	122	181	235	283	329	387	426	468	522	574	620	649	674
12	5030	67	132	190	246	298	343	402	439	484	540	590	634	661	684
13	5035	59	117	173	222	267	306	354	394	431	479	531	586	617	646
14	5019	45	88	127	160	190	217	250	277	304	340	377	417	444	473
15	5039	53	99	141	179	210	240	276	306	334	369	408	446	475	505
21	5033	108	204	304	400	480	539	595	629	661	694	724	751	765	777
22	5024	103	196	294	383	463	520	577	610	641	674	703	729	746	760
23	5030	97	188	277	358	434	492	544	573	603	633	659	683	701	714
24	5036	98	191	280	358	433	495	563	607	641	680	714	741	758	775
25	5034	91	178	266	341	409	472	540	579	618	652	683	713	729	747
31	5029	108	205	308	401	482	538	592	624	657	688	718	744	759	774
32	5036	103	200	300	391	473	535	595	634	667	703	733	761	777	792
33	5030	93	181	270	346	418	478	542	582	616	653	684	711	729	745
34	5030	80	165	249	322	388	449	519	575	633	704	773	822	851	876
35	5022	88	171	255	330	397	462	533	580	621	656	692	722	738	754
41	5030	115	218	325	426	497	546	591	622	653	686	713	737	753	766
42	5025	104	201	300	394	473	525	579	611	642	677	704	729	747	761
43	5030	99	192	284	365	440	498	559	595	628	663	693	718	736	750
44	5018	95	183	272	349	418	476	537	574	609	641	674	700	720	733
45	5035	88	172	257	334	403	461	528	563	602	641	672	700	718	734
51	5029	111	211	316	411	491	544	596	631	663	698	727	752	768	780
52	5019	107	207	307	406	488	544	599	633	667	703	731	757	772	786
53	5021	106	204	303	392	466	524	581	617	651	686	717	742	761	776
54	5033	103	194	286	361	431	494	562	604	641	679	711	739	757	771
55	5020	88	173	258	338	411	473	546	593	633	673	705	733	753	768

3. Tabla de registro de porcentaje de humedad de los tratamientos

Trat	28-Set	29-Set	30-Set	1-Oct	2-Oct	3-Oct	4-Oct	5-Oct	6-Oct	7-Oct	8-Oct	9-Oct	10-Oct	11-Oct
11	40.30	38.38	36.63	34.86	33.23	31.79	30.41	28.66	27.49	26.23	24.60	23.04	21.65	20.78
12	40.30	38.29	36.33	34.59	32.90	31.34	29.98	28.21	27.10	25.74	24.06	22.56	21.23	20.42
13	40.30	38.53	36.78	35.10	33.62	32.27	31.10	29.65	28.42	27.34	25.89	24.33	22.68	21.74
14	40.30	38.95	37.65	36.48	35.49	34.59	33.77	32.78	31.97	31.16	30.08	28.96	27.76	26.95
15	40.30	38.71	37.32	36.06	34.92	33.98	33.08	32.00	31.10	30.26	29.20	28.03	26.89	26.02
21	40.30	37.05	34.17	31.16	28.27	25.86	24.09	22.41	21.38	20.42	19.43	18.53	17.71	17.29
22	40.30	37.20	34.41	31.46	28.78	26.38	24.66	22.95	21.95	21.02	20.03	19.16	18.38	17.86
23	40.30	37.38	34.65	31.97	29.53	27.25	25.50	23.94	23.07	22.17	21.26	20.48	19.76	19.22
24	40.30	37.35	34.56	31.88	29.53	27.28	25.41	23.37	22.05	21.02	19.85	18.83	18.02	17.50
25	40.30	37.56	34.95	32.30	30.05	28.00	26.11	24.06	22.89	21.71	20.69	19.76	18.86	18.38
31	40.30	37.05	34.14	31.04	28.24	25.80	24.12	22.50	21.53	20.54	19.61	18.71	17.92	17.47
32	40.30	37.20	34.29	31.28	28.54	26.08	24.21	22.41	21.23	20.24	19.16	18.26	17.41	16.93
33	40.30	37.50	34.86	32.18	29.89	27.73	25.92	24.00	22.80	21.77	20.66	19.73	18.92	18.38
34	40.30	37.89	35.34	32.81	30.62	28.63	26.80	24.69	23.01	21.26	19.13	17.05	15.58	14.71
35	40.30	37.65	35.16	32.63	30.38	28.36	26.41	24.27	22.86	21.62	20.57	19.49	18.59	18.11
41	40.30	36.84	33.74	30.53	27.49	25.35	23.88	22.53	21.59	20.66	19.67	18.86	18.14	17.65
42	40.30	37.17	34.26	31.28	28.45	26.08	24.51	22.89	21.92	20.99	19.94	19.13	18.38	17.83
43	40.30	37.32	34.53	31.76	29.32	27.07	25.32	23.49	22.41	21.41	20.36	19.46	18.71	18.17
44	40.30	37.44	34.80	32.12	29.80	27.73	25.98	24.15	23.04	21.98	21.02	20.03	19.25	18.65
45	40.30	37.65	35.13	32.57	30.26	28.18	26.44	24.42	23.37	22.20	21.02	20.09	19.25	18.71
51	40.30	36.96	33.95	30.80	27.94	25.53	23.94	22.38	21.32	20.36	19.31	18.44	17.68	17.20
52	40.30	37.08	34.08	31.07	28.09	25.62	23.94	22.29	21.26	20.24	19.16	18.32	17.53	17.08
53	40.30	37.11	34.17	31.19	28.51	26.29	24.54	22.83	21.74	20.72	19.67	18.74	17.98	17.41
54	40.30	37.20	34.47	31.70	29.44	27.34	25.44	23.40	22.14	21.02	19.88	18.92	18.08	17.53
55	40.30	37.65	35.10	32.54	30.14	27.94	26.08	23.88	22.47	21.26	20.06	19.10	18.26	17.65

4. Tabla de lámina de agua evaporada de los tratamientos y sus repeticiones

Trat	28-Set	29-Set	30-Set	1-Oct	2-Oct	3-Oct	4-Oct	5-Oct	6-Oct	7-Oct	8-Oct	9-Oct	10-Oct	11-Oct
11	2.281	2.067	2.103	1.925	1.711	1.640	2.067	1.390	1.497	1.925	1.853	1.640	1.034	0.891
12	2.363	2.293	2.046	1.975	1.834	1.587	2.081	1.305	1.587	1.975	1.763	1.552	0.952	0.811
13	2.017	1.983	1.914	1.675	1.538	1.333	1.641	1.401	1.265	1.641	1.777	1.880	1.060	0.991
14	1.621	1.549	1.405	1.189	1.081	0.973	1.189	0.973	0.973	1.297	1.333	1.441	0.973	1.045
15	1.869	1.622	1.481	1.340	1.093	1.058	1.270	1.058	0.988	1.234	1.376	1.340	1.023	1.058
21	3.891	3.458	3.602	3.458	2.882	2.125	2.017	1.225	1.153	1.189	1.081	0.973	0.504	0.432
22	3.710	3.350	3.530	3.206	2.882	2.053	2.053	1.189	1.117	1.189	1.045	0.937	0.612	0.504
23	3.494	3.278	3.206	2.918	2.738	2.089	1.873	1.045	1.081	1.081	0.937	0.865	0.648	0.468
24	3.281	3.114	2.980	2.612	2.511	2.076	2.277	1.473	1.138	1.306	1.138	0.904	0.569	0.569
25	3.278	3.134	3.170	2.702	2.450	2.270	2.450	1.405	1.405	1.225	1.117	1.081	0.576	0.648
31	3.891	3.494	3.710	3.350	2.918	2.017	1.945	1.153	1.189	1.117	1.081	0.937	0.540	0.540
32	3.449	3.248	3.348	3.047	2.746	2.076	2.009	1.306	1.105	1.205	1.005	0.938	0.536	0.502
33	3.350	3.170	3.206	2.738	2.594	2.161	2.306	1.441	1.225	1.333	1.117	0.973	0.648	0.576
34	2.882	3.062	3.026	2.630	2.378	2.197	2.522	2.017	2.089	2.558	2.486	1.765	1.045	0.901
35	3.104	2.927	2.963	2.645	2.363	2.293	2.504	1.658	1.446	1.234	1.270	1.058	0.564	0.564
41	4.056	3.633	3.774	3.562	2.504	1.728	1.587	1.093	1.093	1.164	0.952	0.846	0.564	0.459
42	3.592	3.350	3.419	3.247	2.729	1.796	1.865	1.105	1.071	1.209	0.933	0.863	0.622	0.484
43	3.419	3.212	3.178	2.798	2.590	2.003	2.107	1.243	1.140	1.209	1.036	0.863	0.622	0.484
44	3.281	3.039	3.074	2.659	2.383	2.003	2.107	1.278	1.209	1.105	1.140	0.898	0.691	0.449
45	3.170	3.026	3.062	2.774	2.486	2.089	2.414	1.261	1.405	1.405	1.117	1.009	0.648	0.576
51	3.999	3.602	3.783	3.422	2.882	1.909	1.873	1.261	1.153	1.261	1.045	0.901	0.576	0.432
52	3.774	3.527	3.527	3.492	2.892	1.975	1.940	1.199	1.199	1.270	0.988	0.917	0.529	0.494
53	3.739	3.456	3.492	3.139	2.610	2.046	2.010	1.270	1.199	1.234	1.093	0.882	0.670	0.529
54	3.710	3.278	3.314	2.702	2.522	2.270	2.450	1.513	1.333	1.369	1.153	1.009	0.648	0.504
55	3.170	3.062	3.062	2.882	2.630	2.233	2.630	1.693	1.441	1.441	1.153	1.009	0.720	0.540

5. Tabla de índice Reas acumulada con sus promedios

Trat	28-Set	29-Set	30-Set	1-Oct	2-Oct	3-Oct	4-Oct	5-Oct	6-Oct	7-Oct	8-Oct	9-Oct	10-Oct	11-Oct
11	42.95	42.79	43.33	43.43	42.97	40.16	35.75	33.20	30.16	26.00	21.88	18.42	16.39	14.50
12	37.38	36.23	38.11	39.41	38.93	36.95	32.89	30.65	27.44	23.19	19.29	16.25	14.38	12.98
13	46.06	44.42	44.67	45.11	44.47	43.40	40.95	37.96	35.69	32.19	28.09	23.33	21.30	19.20
Prom	42.13	41.15	42.03	42.65	42.13	40.17	36.53	33.93	31.09	27.13	23.09	19.33	17.35	15.56
21	2.70	3.32	3.80	2.68	2.24	0.92	0.17	0.32	0.30	0.57	0.41	0.13	0.39	0.38
22	1.68	3.29	2.19	3.65	3.09	2.37	1.61	1.57	1.84	2.07	1.77	1.64	1.30	1.24
23	6.53	5.87	6.63	6.72	4.87	4.10	4.37	5.14	5.39	5.75	6.12	5.98	5.91	6.02
Prom	3.64	4.16	4.20	4.35	3.40	2.46	2.05	2.34	2.51	2.80	2.77	2.58	2.54	2.55
31	2.70	2.84	2.53	2.43	1.83	1.10	0.67	1.11	0.90	1.43	1.24	1.06	1.17	0.77
32	8.61	8.27	7.23	8.57	7.98	6.63	5.70	4.91	5.06	5.06	4.80	4.56	4.45	4.34
33	10.39	9.38	8.99	9.85	8.38	6.83	4.72	3.65	3.35	2.77	2.56	2.13	2.16	1.94
Prom	7.23	6.83	6.25	6.95	6.07	4.85	3.69	3.23	3.11	3.09	2.87	2.58	2.59	2.35
41	-1.43	-1.15	-0.69	-1.48	0.90	1.73	2.92	3.49	3.57	3.78	3.98	4.05	4.01	3.85
42	4.82	4.91	4.31	4.97	5.08	5.49	5.34	5.48	5.74	5.69	5.69	5.69	5.24	5.19
43	8.54	7.83	8.21	8.82	7.54	6.93	5.78	5.56	5.53	5.36	5.35	5.24	5.29	5.35
Prom	3.97	3.86	3.94	4.10	4.51	4.72	4.68	4.84	4.95	4.94	5.01	4.99	4.85	4.80

6. Análisis de la Varianza y prueba de Tukey para la evaporación de agua de cada fecha del experimento

f1	Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
f1		15	0.92	0.89	6.22	
	Cuadro de F.V. Modelo		SC	gl	de Análisis de la CM	Varianza (SC tipo III)
	Trat	4150.93	4	1037.73	28.99	p-valor
	Error	358	10	35.8		<0.0001
	Total	4508.93	14			
	Test: Tukey	Alfa=0.05	DMS=16.07810			
	Error:	35.8	gl:	10		
	Trat	Medias	n	E.E.		
	t	108	3	3.45	A	
	h1	106	3	3.45	A	
	z1	102.67	3	3.45	A	
	d1	101.33	3	3.45	A	
	m1	63.33	3	3.45	B	
	Medias con una letra común no son significat diferentes: (p > 0.05)					

f2							
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV		
f2	15	0.95	0.94	4.39			
Cuadro de F.V.	de SC	Análisis de gl	de CM	la F	Varianza (SC p-valor)	tipo	III)
Modelo	3142.27	4	785.57	51.46	<0.0001		
Trat	3142.27	4	785.57	51.46	<0.0001		
Error	152.67	10	15.27				
Total	3294.93	14					
Test: Tuk Alfa=0.0! DMS=10.49942							
Error:	15.2667	gl:	10				
Trat	Medias	n	E.E.				
t	99.33	3	2.26	A			
h1	97.67	3	2.26	A			
d1	94	3	2.26	A			
z1	93.33	3	2.26	A			
m1	60.33	3	2.26	B			
Medias con una letra común	no son significat diferentes (p > 0.05)						

f3							
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV		
f3	15	0.93	0.9	6.22			
Cuadro de F.V.	de SC	Análisis de gl	de CM	la F	Varianza (SC p-valor)	tipo	III)
Modelo	4039.6	4	1009.9	32.03	<0.0001		
Trat	4039.6	4	1009.9	32.03	<0.0001		
Error	315.33	10	31.53				
Total	4354.93	14					
Test: Tuk Alfa=0.0! DMS=15.08961							
Error:	31.5333	gl:	10				
Trat	Medias	n	E.E.				
t	101.33	3	3.24	A			
h1	99.33	3	3.24	A			
d1	97.33	3	3.24	A			
z1	95.67	3	3.24	A			
m1	57.67	3	3.24	B			
Medias con una letra común	no son significat diferentes (p > 0.05)						

f4							
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV		
f4	15	0.86	0.8	9.09			
Cuadro de F.V.	de SC	Análisis de gl	de CM	la F	Varianza (SC p-valor)	tipo	III)
Modelo	3464.93	4	866.23	15.25	0.0003		
Trat	3464.93	4	866.23	15.25	0.0003		
Error	568	10	56.8				
Total	4032.93	14					
Test: Tuk Alfa=0.0! DMS=20.25197							
Error:	56.8	gl:	10				
Trat	Medias	n	E.E.				
t	94.33	3	4.35	A			
h1	92	3	4.35	A			
z1	88.67	3	4.35	A			
d1	86.67	3	4.35	A			
m1	53	3	4.35	B			
Medias con una letra común	no son significat diferentes (p > 0.05)						

f5							
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV		
f5	15	0.93	0.9	5.62			
Cuadro de F.V.	de SC	Análisis de gl	de CM	la F	Varianza (SC p-valor)	tipo	III)
Modelo	2093.73	4	523.43	32.18	<0.0001		
Trat	2093.73	4	523.43	32.18	<0.0001		
Error	162.67	10	16.27				
Total	2256.4	14					
Test: Tuk Alfa=0.0! DMS=10.83783							
Error:	16.2667	gl:	10				
Trat	Medias	n	E.E.				
z1	78.67	3	2.33	A			
t	78.67	3	2.33	A			
d1	78.33	3	2.33	A			
h1	75	3	2.33	A			
m1	48.33	3	2.33	B			
Medias con una letra común	no son significat diferentes (p > 0.05)						

f6							
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV		
f6	15	0.82	0.75	5.99			
Cuadro de F.V.	de SC	Análisis de gl	de CM	la F	Varianza (SC p-valor)	tipo	III)
Modelo	485.73	4	121.43	11.68	0.0009		
Trat	485.73	4	121.43	11.68	0.0009		
Error	104	10	10.4				
Total	589.73	14					
Test: Tuk Alfa=0.0! DMS=8.66582							
Error:	10.4	gl:	10				
Trat	Medias	n	E.E.				
d1	59.33	3	1.86	A			
z1	58	3	1.86	A			
t	55.67	3	1.86	A			
h1	53	3	1.86	A			
m1	43.33	3	1.86	B			
Medias con una letra común	no son significat diferentes (p > 0.05)						

f7							
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV		
f7	15	0.18	0	9.54			
Cuadro de F.V.	de SC	Análisis de gl	de CM	la F	Varianza (SC p-valor)	tipo	III)
Modelo	61.73	4	15.43	0.55	0.7028		
Trat	61.73	4	15.43	0.55	0.7028		
Error	280	10	28				
Total	341.73	14					
Test: Tuk Alfa=0.0! DMS=14.21910							
Error:	28	gl:	10				
Trat	Medias	n	E.E.				
d1	59.33	3	3.06	A			
z1	55	3	3.06	A			
m1	55	3	3.06	A			
t	54.67	3	3.06	A			
h1	53.33	3	3.06	A			
Medias con una letra común	no son significat diferentes (p > 0.05)						

f8							
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV		
f8	15	0.56	0.38	7.67			
Cuadro de F.V.	de SC	Análisis de gl	de CM	la F	Varianza (SC)	tipo	III)
Modelo	91.07	4	22.77	3.13	p-valor		
Trat	91.07	4	22.77	3.13	0.0651		
Error	72.67	10	7.27		0.0651		
Total	163.73	14					
Test: Tuk Alfa=0.05 DMS=7.24370							
Error:	7.2667	gl:	10				
Trat	Medias	n	E.E.				
m1	38.67	3	1.56	A			
d1	37	3	1.56	A			
t	35	3	1.56	A			
h1	33	3	1.56	A			
z1	32	3	1.56	A			
Medias con una letra común					no son significat	diferente:	(p > 0.05)

f9							
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV		
f9	15	0.84	0.77	5.91			
Cuadro de F.V.	de SC	Análisis de gl	de CM	la F	Varianza (SC)	tipo	III)
Modelo	207.07	4	51.77	12.73	p-valor		
Trat	207.07	4	51.77	12.73	0.0006		
Error	40.67	10	4.07		0.0006		
Total	247.73	14					
Test: Tuk Alfa=0.05 DMS=5.41892							
Error:	4.0667	gl:	10				
Trat	Medias	n	E.E.				
m1	41.33	3	1.16	A			
t	33.33	3	1.16	B			
d1	33.33	3	1.16	B			
h1	31.67	3	1.16	B			
z1	31	3	1.16	B			
Medias con una letra común					no son significat	diferente:	(p > 0.05)

f10							
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV		
f10	15	0.93	0.9	6.73			
Cuadro de F.V.	de SC	Análisis de gl	de CM	la F	Varianza (SC)	tipo	III)
Modelo	847.73	4	211.93	32.77	p-valor		
Trat	847.73	4	211.93	32.77	<0.0001		
Error	64.67	10	6.47		<0.0001		
Total	912.4	14					
Test: Tuk Alfa=0.05 DMS=6.83334							
Error:	6.4667	gl:	10				
Trat	Medias	n	E.E.				
m1	52.67	3	1.47	A			
t	35.33	3	1.47	B			
d1	34.67	3	1.47	B			
h1	34.33	3	1.47	B			
z1	32	3	1.47	B			
Medias con una letra común					no son significat	diferente:	(p > 0.05)

f11							
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV		
f11	15	0.98	0.97	4.5			
Cuadro de F.V.	de SC	Análisis de gl	de CM	la F	Varianza (SC p-valor)	tipo	III)
Modelo	1207.07	4	301.77	133.13	<0.0001		
Trat	1207.07	4	301.77	133.13	<0.0001		
Error	22.67	10	2.27				
Total	1229.73	14					
Test: Tuk Alfa=0.0! DMS=4.04564							
Error:	2.2667	gl:	10				
Trat	Medias	n	E.E.				
m1	51.33	3	0.87	A			
d1	30.33	3	0.87	B			
t	29.33	3	0.87	B			
z1	28.33	3	0.87	B			
h1	28	3	0.87	B			
Medias con una letra común	no son significat diferente: (p > 0.05)						

f12							
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV		
f12	15	0.94	0.92	9.17			
Cuadro de F.V.	de SC	Análisis de gl	de CM	la F	Varianza (SC p-valor)	tipo	III)
Modelo	1241.73	4	310.43	40.49	<0.0001		
Trat	1241.73	4	310.43	40.49	<0.0001		
Error	76.67	10	7.67				
Total	1318.4	14					
Test: Tuk Alfa=0.0! DMS=7.44040							
Error:	7.6667	gl:	10				
Trat	Medias	n	E.E.				
m1	48.33	3	1.6	A			
d1	27	3	1.6	B			
z1	25.67	3	1.6	B			
t	25.33	3	1.6	B			
h1	24.67	3	1.6	B			
Medias con una letra común	no son significat diferente: (p > 0.05)						

f13							
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV		
f13	15	0.92	0.89	9.45			
Cuadro de F.V.	de SC	Análisis de gl	de CM	la F	Varianza (SC p-valor)	tipo	III)
Modelo	367.07	4	91.77	28.09	<0.0001		
Trat	367.07	4	91.77	28.09	<0.0001		
Error	32.67	10	3.27				
Total	399.73	14					
Test: Tuk Alfa=0.0! DMS=4.85675							
Error:	3.2667	gl:	10				
Trat	Medias	n	E.E.				
m1	29	3	1.04	A			
h1	17.33	3	1.04	B			
t	16.67	3	1.04	B			
z1	16.33	3	1.04	B			
d1	16.33	3	1.04	B			
Medias con una letra común	no son significat diferente: (p > 0.05)						

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
f14	15	0.93	0.9	10.04	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	340.27	4	85.07	31.9	<0.0001
Trat	340.27	4	85.07	31.9	<0.0001
Error	26.67	10	2.67		
Total	366.93	14			
Test: Tuk Alfa=0.05 DMS=4.38811					
Error:	2.6667	gl:	10		
Trat	Medias	n	E.E.		
m1	25.67	3	0.94	A	
d1	15.33	3	0.94	B	
t	13.67	3	0.94	B	
h1	13.67	3	0.94	B	
z1	13	3	0.94	B	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)					

7. Análisis de varianza y prueba de Tukey para el índice Reas para cada fecha del experimento

f1

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
f1	12	0.96	0.94	28.83	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3134.14	3	1044.71	61.94	<0.0001
trat	3134.14	3	1044.71	61.94	<0.0001
Error	134.94	8	16.87		
Total	3269.07	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=10.73844

Error: 16.8669 gl: 8

trat	Medias	n	E.E.	
m	42.13	3	2.37	A
d	7.23	3	2.37	B
h	3.98	3	2.37	B
z	3.64	3	2.37	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

f2

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
f2	12	0.96	0.95	26.30

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2963.78	3	987.93	72.89	<0.0001
trat	2963.78	3	987.93	72.89	<0.0001
Error	108.44	8	13.55		
Total	3072.22	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=9.62639

Error: 13.5544 gl: 8

trat	Medias	n	E.E.	
m	41.15	3	2.13	A
d	6.83	3	2.13	B
z	4.16	3	2.13	B
h	3.86	3	2.13	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

f3

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
f3	12	0.97	0.96	24.58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3129.35	3	1043.12	86.71	<0.0001
trat	3129.35	3	1043.12	86.71	<0.0001
Error	96.24	8	12.03		
Total	3225.59	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=9.06911

Error: 12.0305 gl: 8

trat	Medias	n	E.E.	
m	42.04	3	2.00	A
d	6.25	3	2.00	B
z	4.21	3	2.00	B
h	3.94	3	2.00	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

f4

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
f4	12	0.97	0.95	25.75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3181.61	3	1060.54	75.96	<0.0001
trat	3181.61	3	1060.54	75.96	<0.0001
Error	111.69	8	13.96		
Total	3293.30	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=9.76979*Error: 13.9612 gl: 8*

trat Medias n E.E.

m	42.65	3	2.16	A
d	6.95	3	2.16	B
z	4.35	3	2.16	B
h	4.10	3	2.16	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)***f5**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
f5	12	0.98	0.97	21.02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3169.18	3	1056.39	121.56	<0.0001
trat	3169.18	3	1056.39	121.56	<0.0001
Error	69.52	8	8.69		
Total	3238.70	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=7.70803*Error: 8.6904 gl: 8*

trat Medias n E.E.

m	42.12	3	1.70	A
d	6.06	3	1.70	B
h	4.51	3	1.70	B
z	3.40	3	1.70	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

f6

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
f6	12	0.98	0.97	21.23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2952.61	3	984.20	128.15	<0.0001
trat	2952.61	3	984.20	128.15	<0.0001
Error	61.44	8	7.68		
Total	3014.04	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=7.24604

Error: 7.6799 gl: 8

trat	Medias	n	E.E.	
m	40.17	3	1.60	A
d	4.85	3	1.60	B
h	4.72	3	1.60	B
z	2.46	3	1.60	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

f7

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
f7	12	0.98	0.97	23.61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2468.94	3	822.98	107.11	<0.0001
trat	2468.94	3	822.98	107.11	<0.0001
Error	61.47	8	7.68		
Total	2530.41	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=7.24782

Error: 7.6837 gl: 8

trat	Medias	n	E.E.	
m	36.53	3	1.60	A
h	4.68	3	1.60	B
d	3.70	3	1.60	B
z	2.05	3	1.60	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

f8

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
f8	12	0.98	0.97	22.61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2098.14	3	699.38	111.26	<0.0001
trat	2098.14	3	699.38	111.26	<0.0001
Error	50.29	8	6.29		
Total	2148.43	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=6.55563

Error: 6.2861 gl: 8

trat	Medias	n	E.E.	
m	33.94	3	1.45	A
h	4.84	3	1.45	B
d	3.22	3	1.45	B
z	2.34	3	1.45	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

f10

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
f10	12	0.95	0.93	30.14

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1252.58	3	417.53	51.05	<0.0001
trat	1252.58	3	417.53	51.05	<0.0001
Error	65.44	8	8.18		
Total	1318.02	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=7.47800

Error: 8.1795 gl: 8

trat	Medias	n	E.E.	
m	27.13	3	1.65	A
h	4.94	3	1.65	B
d	3.09	3	1.65	B
z	2.80	3	1.65	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

f11

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
f11	12	0.93	0.90	34.27

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	868.68	3	289.56	34.67	0.0001
trat	868.68	3	289.56	34.67	0.0001
Error	66.81	8	8.35		
Total	935.50	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=7.55629*Error: 8.3516 gl: 8*

trat	Medias	n	E.E.	
m	23.09	3	1.67	A
h	5.01	3	1.67	B
d	2.87	3	1.67	B
z	2.77	3	1.67	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)***f13**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
f13	12	0.90	0.86	36.43

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	453.46	3	151.15	24.39	0.0002
trat	453.46	3	151.15	24.39	0.0002
Error	49.57	8	6.20		
Total	503.04	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=6.50886*Error: 6.1967 gl: 8*

trat	Medias	n	E.E.	
m	17.36	3	1.44	A
h	4.85	3	1.44	B
d	2.59	3	1.44	B
z	2.53	3	1.44	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

f14

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
f14	12	0.88	0.84	38.59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	353.09	3	117.70	19.83	0.0005
trat	353.09	3	117.70	19.83	0.0005
Error	47.48	8	5.93		
Total	400.57	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=6.36973

Error: 5.9346 gl: 8

trat	Medias	n	E.E.	
m	15.56	3	1.41	A
h	4.80	3	1.41	B
z	2.55	3	1.41	B
d	2.35	3	1.41	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

8. Anexo fotográfico



Medición de la dosis de zeolita para la aplicación en los tratamientos



Testigo y tratamientos con hidrogel



Testigo y tratamientos con mulch



Instalación del experimento complementario



Pesado de la cobertura vegetal para su aplicación en los tratamientos



Pesado de zeolita para su aplicación en los tratamientos



Pesado del tanque evaporímetro de agua casero



Experimento complementario



Registro de peso del testigo



Aplicación del agua en los tratamientos



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. ALEX SEBASTIAN TINEO OCHANTE
R.D. N° 045-2025-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho a los veintidós días del mes de marzo del año dos mil veinticinco, siendo las once horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por Dr. José Antonio Quispe Tenorio, Ph.D. Marhleri Cerda Gómez como asesora, Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla y Mtro. Rodolfo Alca Mendoza; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Efecto de retenedores de humedad en la evaporación del agua edáfica en una región semiárida de Ayacucho, Perú. 2023**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo presentado por el Bachiller **ALEX SEBASTIAN TINEO OCHANTE**.

El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invito a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Dr. José Antonio Quispe Tenorio	17	17	17	17
Ph.D. Marhleri Cerda Gómez	17	16	17	17
Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla	17	16	16	16
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza	16	15	16	16
PROMEDIO GENERAL				17


Acto seguido se invita al sustentante y publico en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.


.....
Dr. José Antonio Quispe Tenorio
Presidente


.....
Ph.D. Marhleri Cerda Gómez
Asesora


.....
Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla
Jurado


.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Jurado


.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativisar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por R.C.F. N° N° 005-2024-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo titulado;

Efecto de retenedores de humedad en la evaporación del agua edáfica en una región semiárida de Ayacucho, Perú. 2023

Autor : Alex Sebastian Tineo Ochante

Asesor : Marhleni Cerda Gómez

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de Tesis, aprobado mediante la RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de Nueve por ciento (**9 %**) de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2635660081

Ayacucho, 05 de abril de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias

Ing. Edgar Tenorio Mancilla
Coordinador de Control de originalidad de
trabajo de investigación y tesis - FCA

Efecto de retenedores de humedad en la evaporación del agua edáfica en una región semiárida de Ayacucho, Perú. 2023

por Alex Sebastian Tineo Ochante

Fecha de entrega: 04-abr-2025 09:42p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2635660081

Nombre del archivo: Alex_TESIS_FINAL_REVISION_2025.pdf (3.45M)

Total de palabras: 24101

Total de caracteres: 116415

Efecto de retenedores de humedad en la evaporación del agua edáfica en una región semiárida de Ayacucho, Perú. 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	3%
2	www.agr.una.py Fuente de Internet	1%
3	cienciaspecuarias.inifap.gob.mx Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.scribd.com Fuente de Internet	<1%
6	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
7	www.tdx.cat Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.inta.gob.ar Fuente de Internet	<1%

9

livrosdeamor.com.br

Fuente de Internet

<1 %

10

repositorio.ucp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

11

revistas.unsch.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

12

repositorio.unasam.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

Efecto de retenedores de humedad en la evaporación del agua edáfica en una región semiárida de Ayacucho, Perú. 2023

Effect of moisture retainers on soil water evaporation in a semiarid region of Ayacucho, Peru. 2023

Alex Sebastian Tineo Ochante¹,
alex.tineo.01@unsch.edu.pe

Marhleni Cerda Gómez²
marhleni.cerda@unsch.edu.pe

Áreas de investigación: Ingenierías y Ciencias Básicas
Línea de investigación: Ciencias de la Tierra y del Ambiente

RESUMEN

Uno de los principales problemas de las regiones semiáridas es la escasez de agua, que perjudica directamente la actividad agrícola, reduciendo los rendimientos. En este contexto los retenedores de humedad brindan una alternativa, de favorecer a la retención de humedad en el suelo, por lo que es importante conocer su eficiencia. Con el objetivo de evaluar la influencia de retenedores de humedad en la evaporación del agua edáfica y en la reducción de evaporación de agua del suelo (Reas) se realizó el presente trabajo, utilizando una metodología sencilla consistente en el empleo de recipientes plásticos conteniendo 4 kg de suelo a los que se aplicaron como tratamientos: mulch vegetal (2,5 t ha⁻¹), zeolita (0,5 t ha⁻¹), diatomita (0,5 t ha⁻¹) e hidrogel (250 kg ha⁻¹) además de un testigo; cada uno con tres repeticiones. Se evaluó la evaporación diaria en lámina de agua en milímetros y el índice Reas en porcentaje durante dos semanas, posteriormente se realizaron los respectivos Análisis de Varianza (ANVA). Los resultados evidencian la eficiencia del mulch, el cual aporta un índice Reas de 42%, siendo mayor que el resto de tratamientos, como la diatomita con 6.17%, la zeolita con 4.94% y el hidrogel con 3.91%.

Palabras clave: mulch, diatomita, zeolita, hidrogel, retenedores de humedad

ABSTRACT

One of the main problems in semi-arid regions is water scarcity, which directly harms agricultural activity, reducing yields. In this context, moisture retainers provide an alternative to favor soil moisture retention, so it is important to know their efficiency. With the objective of evaluating the influence of moisture retainers on soil water evaporation and on the reduction of soil water evaporation (Reas), the present study was carried out using a simple methodology consisting of the use of plastic containers containing 4 kg of soil to which the following treatments were applied: vegetable mulch (2.5 t ha⁻¹), zeolite (0.5 t ha⁻¹), diatomite (0.5 t ha⁻¹) and hydrogel (250 kg ha⁻¹), in addition to a control; each with three replicates. The daily evaporation in water sheet in millimeters and the Reas index in percentage were evaluated during two weeks, and the respective analysis of variance (ANVA) was carried out. The results show the efficiency of the mulch, which provides a Reas index of 42%, higher than the rest of the treatments, such as diatomite with 6.17%, zeolite with 4.94% and hydrogel with 3.91%.

Keywords: mulch, diatomite, zeolite, hydrogel, moisture retainers

I. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad y accesibilidad del agua son factores clave que afectan la productividad de los cultivos, por cuanto la escasez de agua es una complicación grave en agricultura a nivel global, y en áreas semiáridas como Pampa del Arco, Ayacucho, resulta agudo, debido a la escasa precipitación (550 mm al año), elevada radiación y temperatura, que determinan elevada evaporación (1345 mm al año) alcanzando un índice de aridez de 0,4, que permitió de acuerdo a los estándares internacionales, clasificar como una región semiárida.

La escasez de agua limita el crecimiento de los cultivos y reduce sus cosechas de manera significativa. Por cuanto contribuir a un mayor uso del agua en estas áreas, es importante considerar emplear ciertos insumos básicamente retenedores de humedad como hidrogeles, biochar, residuos orgánicos y polímeros superabsorbentes que ayuden a retener el agua en el suelo. Sin embargo, es fundamental conocer las características de los diversos productos disponibles en el mercado que ayude a tomar decisiones adecuadas y convenientes en suelos agrícolas, así como la eficiencia de los mismos. La elección del tipo de retenedor depende de las condiciones específicas del suelo, clima, así como las necesidades de los cultivos.

Para la determinación de la tasa de evaporación del agua desde el suelo, existe una metodología sencilla, desarrollada en el Área de Suelos de la Escuela Profesional de Agronomía de la UNSCH (Tineo, Fernández, Cabrera y Girón, 2019), inventiva que se emplea en la presente investigación.

Se evaluó la influencia de cuatro retenedores de humedad (tres de origen natural y uno sintético) en la evaporación del agua desde el suelo, así como en el índice “Reducción relativa de la evaporación del agua del suelo” (Reas) y contrastarlos respecto de un suelo sin retenedor, habiéndose planteado los objetivos siguientes:

Evaluar la influencia de retenedores de humedad en la evaporación del agua edáfica, en una región semiárida de Ayacucho, 2023.

Evaluar la influencia de retenedores de humedad en el índice de reducción de la evaporación del agua del suelo, en una región semiárida de Ayacucho, 2023.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El trabajo de investigación se realizó en los ambientes de la Escuela Profesional de Agronomía, en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, ubicado en la localidad de Pampa del Arco, distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga departamento de Ayacucho; cuyas características geográficas son: Longitud Oeste 74°13'18", Latitud Sur 13°08'38". De acuerdo a la clasificación bioclimática (Holdridge, 1982), se trata de un bosque seco Montano bajo Subtropical (bs-MbS), ubicada en una región climática semiárida (según la clasificación de zonas áridas del mundo; con un índice de aridez Ia: 0,2 a 0,5), de la sierra del Perú, a una altitud media de 2750 m.s.n.m. La vegetación de la zona está conformada principalmente por molle (*Schinus molle*), cabuya (*Agave*

spp), tuna (*Opuntia ficus*), huarango (*Acacia macracantha*) y una gran variedad de pastos naturales.

Características climáticas

El terreno de Pampa del Arco, se encuentra ubicado en el distrito de Ayacucho, se trata de una región de valle interandino, con precipitación media de unos 560 mm por año, siendo mayo a setiembre los meses secos y junio, julio, agosto, los meses de temperaturas frías. El período de lluvias corresponde a los meses de octubre a marzo.

Características del suelo

La muestra de suelo que se utilizó en el experimento corresponde a la capa superficial (20 cm de profundidad) de un sector de Pampa del Arco, en la ciudad universitaria de la UNSCH, en el distrito Ayacucho, provincia Huamanga, departamento Ayacucho. La topografía del terreno muestra un relieve irregular con pendientes desde planas a ligeramente inclinadas.

Variables e indicadores

Variables independientes

Retenedores de humedad

Z1: Zeolita

D1: Diatomita

H1: Hidrogel

M1: Rastrojos de cebada (mulch)

Variables dependientes

Evaporación del agua del suelo: mm/día

Índice Reas (Reducción de la evaporación del agua del suelo): %

Diseño experimental

Se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA) para cuatro tratamientos

(retenedores de humedad: T1: Rastrojos de cebada, T2: Zeolita, T3: Diatomita, T4: Hidrogel) más 1 testigo (sin retenedor), cada una con tres repeticiones.

El modelo aditivo lineal (Mal) para este diseño es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} es una observación cualquiera del i -ésimo tratamiento y j -ésima repetición

μ es el promedio de las unidades experimentales

τ_i es el efecto del i -ésimo tratamiento

ε_{ij} es el error experimental

i varía de 1, 2, ..., t

j varía de 1, 2, ..., r

t es el número de tratamientos (4)

r es el número de repeticiones (3)

Tabla 2.1

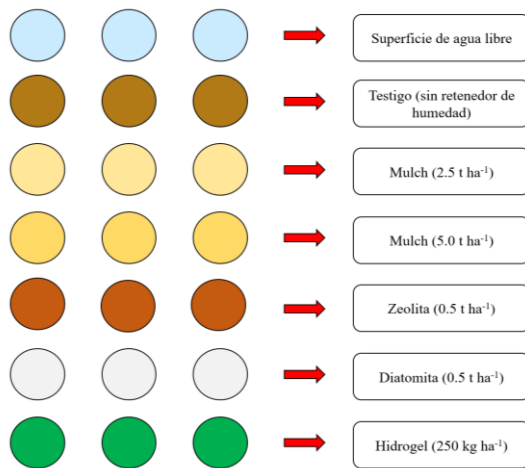
Tratamientos: retenedores de humedad y testigo

Trat	Retenedor	Nivel	g/maceta (4 kg) *	Código
T1	Rastrojo de cebada	2,5 t ha ⁻¹	7,50	m1
T2	Zeolita	0,5 t ha ⁻¹	1,50	z1
T3	Diatomita	0,5 t ha ⁻¹	1,50	d1
T4	Hidrogel	250 kg ha ⁻¹	0,75	h1
T5	Testigo	0	0	t1

Procedimiento experimental

Las U.E. (evaporímetros) se instalaron separadas a 0.3 m de distancia entre ellas; como referencia acompañó un evaporímetro consistente en sólo un depósito de agua a manera de un tanque evaporímetro. La distribución utilizada se muestra en la figura 2.1.

Figura 2.1
Distribución de los tratamientos



A intervalos de tiempo regulares de 24 horas (1 día) se registraron los pesos de los evaporímetros (utilizando una balanza de 4 kg de capacidad con precisión al gramo). Se realizaron estos registros durante dos semanas

La diferencia de pesos entre dos registros, dividido entre el área superficial del evaporímetro, corresponde a la lámina de agua evaporada desde la superficie de las muestras, en ese intervalo de tiempo (1 día).

Procesamiento de datos

Se realizaron los análisis de variancia (ANVA) correspondientes: para el caso de la evaporación del agua, el ANVA se realizó con las 15 U.E.; mientras que, para el caso del índice Reas, el ANVA se realizó con las 12 U.E. correspondientes a los retenedores.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la influencia de los retenedores de humedad en la evaporación del agua

Los valores de evaporación promedio (mm/día), correspondientes a cada tratamiento se muestran en la tabla 3.1. y la

figura 3.1. Se puede observar que la mayor evaporación del agua en los tratamientos corresponde al testigo (t1), respecto a los tratamientos con retenedores de humedad. También se observa que la menor evaporación de agua en los tratamientos con retenedores corresponde a los tratamientos con mulch (m1 y m2) durante los primeros 7 días; mientras que, durante los días posteriores, la menor evaporación corresponde a la diatomita (d1), zeolita (z1) e hidrogel (h1) de manera muy similar entre los tres tratamientos mencionados.

Tabla 3.1

Promedio de lámina de agua edáfica evaporada diaria expresada en mm para todos los tratamientos

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
m1	2.26	2.15	2.06	1.89	1.72	1.54	1.96
m2	1.77	1.60	1.46	1.28	1.10	1.03	1.24
z1	3.70	3.36	3.45	3.19	2.83	2.09	1.98
d1	3.65	3.39	3.51	3.12	2.82	2.14	2.14
h1	3.74	3.44	3.50	3.24	2.65	1.87	1.88
t1	3.89	3.58	3.65	3.40	2.83	2.01	1.97
a	5.35	5.13	4.81	4.52	5.19	3.60	4.47

	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14
m1	1.39	1.47	1.88	1.83	1.72	1.03	0.91
m2	1.03	0.99	1.28	1.37	1.40	1.01	1.06
z1	1.15	1.12	1.15	1.02	0.92	0.59	0.47
d1	1.33	1.20	1.25	1.09	0.97	0.59	0.55
h1	1.16	1.12	1.21	0.99	0.87	0.61	0.48
t1	1.26	1.20	1.27	1.06	0.91	0.60	0.49
a	3.19	4.50	4.70	4.83	5.30	4.00	3.87

Figura 3.1
Evaporación diaria del agua edáfica durante el experimento

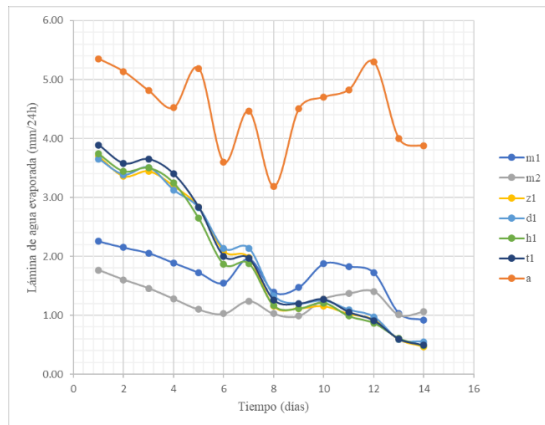


Tabla 3.2
Análisis de Varianza para la evaporación del agua edáfica en diferentes fechas del experimento

FV	GL	F1	F6	F7
Tratamiento	4	1037.73**	121.43**	15.43ns
Error	10	1037.73	121.43	15.43
Total	14	35.8	10.4	28
CV		6.22	5.99	9.54

FV	GL	F8	F9	F14
Tratamiento	4	22.77ns	51.77**	85.07**
Error	10	22.77	51.77	85.07
Total	14	7.27	4.07	2.67
CV		7.67	5.91	10.04

Las tablas 3.2 de ANVA y 3.3 de Tukey para la masa de agua evaporada, muestra diferencias altamente significativas entre tratamientos durante los días 1 hasta el 6, en las cuales se observa que las pérdidas del agua edáfica por evaporación en el tratamiento con mulch (m1) de 63.33 g (día 1) y 43.33 g (día 6) son menores respecto a los demás tratamientos (z1: zeolita, d1: diatomita, h1: hidrogel y t1: testigo) con 104 g (día 1) y 54 g (día 6). Entre los días

7 y 8 no existe diferencia significativa entre las pérdidas de agua en los diferentes tratamientos: alrededor de 55 g el día 7 y 35 g el día 8; sin embargo, a partir del día 9 se observa que la evaporación del agua en el tratamiento con mulch es mayor (41.3 g en el día 9 y 25.7 g en el día 14) respecto a los demás tratamientos (entre los cuales no hay diferencia estadística), con pérdidas por evaporación de 32 g en el día 9 y 14 g en el día 14.

Tabla 3.3
Prueba de Tukey del efecto de los distintos tratamientos en la evaporación del agua edáfica en distintas fechas del experimento

Tratamiento	F1	F6	F7
Testigo	108.00 A	55.67 108.00 A	55.67
Hidrogel	106.00 A	53.00 106.00 A	53.00
Zeolita	102.67 A	58.00 102.67 A	58.00
Diatomita	101.33 A	59.33 101.33 A	59.33
Mulch	63.33 B	43.33 63.33 B	43.33

Tratamiento	F8	F9	F14
Testigo	35.00 A	33.33 B	13.67 B
Hidrogel	33.00 A	31.67 B	13.67 B
Zeolita	32.00 A	31.00 B	13.00 B
Diatomita	37.00 A	33.33 B	15.33 B
Mulch	38.67 A	41.33 A	25.67 A

La figura 3.1 y la tabla 3.3 (prueba de Tukey) muestran que, durante la primera semana, la evaporación del agua en los suelos con mulch es menor que en los suelos con los otros retenedores; sin embargo, a partir del noveno día la evaporación en los suelos con mulch es mayor, debido al mayor contenido de agua como consecuencia de la menor

evaporación ocurrida durante la primera semana.

Los resultados obtenidos de la evaporación también son influenciados por la textura del suelo, el cual es franco arcillo arenoso según el análisis de suelo (Tabla 2.2), la cual permite una buena capacidad de retención del agua edáfica; sin embargo, si la textura del suelo fuera arcillosa, no existiría gran diferencia en los tratamientos, debido a la alta capacidad de retención del agua en el suelo; asimismo, si la textura fuera arenosa, el agua se evaporaría con mayor facilidad y se observaría una mayor diferencia entre los tratamientos, reduciendo a su vez el tiempo del experimento.

Otro factor del suelo que afecta la retención de agua edáfica es la materia orgánica, la cual es 1.46% en el suelo utilizado, que funciona como un retenedor de suelo natural; si disminuye el valor, también disminuye la capacidad de retención del agua edáfica; asimismo, si aumenta la materia orgánica también lo hace la capacidad de retención del agua del suelo. Los tratamientos con mulch aumentan la materia orgánica del suelo y por lo tanto, la pérdida de agua es menor. Si el experimento se realiza en suelos con otras características de textura y/o materia orgánica, los resultados van a variar, logrando observar mayor diferencia entre tratamientos en suelos arenosos con alta materia orgánica y menor diferencia en suelos arcillosos con escasa materia orgánica.

Resultados similares respecto al efecto del mulch son reportados por Tineo (2021) quien en su trabajo sobre fuentes y niveles de mulch para reducir la evaporación del agua del suelo, en Pampa del Arco.

Ayacucho, concluye que “la evaporación del agua en suelos sin mulch es significativamente superior a la evaporación en suelos con mulch” (p. 6); igualmente, Zribi et al. (2011) en su investigación sobre los efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas, Encontraron que: “Los materiales de acolchado reducen significativamente la evaporación de agua y promueven la conservación de agua en el suelo en relación a suelos desnudos. La eficiencia de los distintos materiales en la reducción de la evaporación directa de agua del suelo depende fundamentalmente de las propias características del material utilizado.” (p.6). Asimismo, Gómez (2015) investigó el efecto de distintos mulchings sobre la humedad y temperatura del suelo, estado hídrico, incidencia de malezas y crecimiento de un cultivo en implantación de mandarina nova en concordia, entre ríos, en la ciudad de Esperanza, provincia Santa Fé, Argentina, mencionando en sus conclusiones lo siguiente: “Los mulchings permiten incrementar entre 16 y 96% la humedad volumétrica del suelo a los 10 cm de profundidad durante la primavera y el verano, alcanzándose los mayores valores con la cobertura de chip de eucalipto.” (p.44)

De la influencia de los retenedores de humedad en el índice de reducción de la evaporación del agua del suelo (Reas)

El índice Reas (%) correspondiente a cada tratamiento durante los primeros 5 días se muestra en la tabla 3.4. y la figura 3.2. Se puede observar que el mayor índice Reas corresponde a los tratamientos con cobertura vegetal (m1 y m2) con 41.98% y 54.63% respectivamente, respecto a los tratamientos con los zeolita, diatomita e

hidrogel (z1, d1 y h1) los cuales presentan porcentajes menores a 10% durante el primer día del experimento. Asimismo, se muestra que en el día 5 del experimento los tratamientos con zeolita y diatomita (z1 y d1) presentan valores menores a 1%, el hidrogel (h1) presenta un valor de 6.66%; y los tratamientos con cobertura vegetal (m1 y m2) presentan valores de 39.21% y 61.23%, los cuales indican una gran diferencia entre los tratamientos con cobertura y los tratamientos con los demás retenedores de humedad, que además se puede apreciar gráficamente en la figura 3.2.

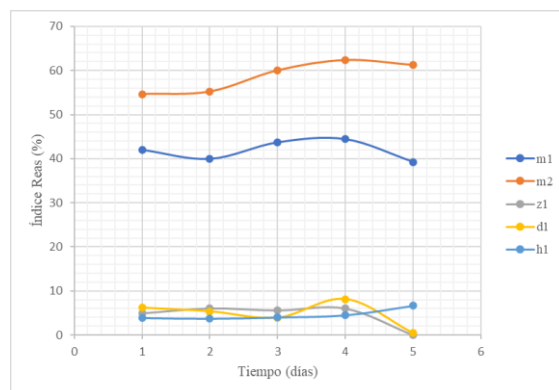
Tabla 3.4

Reducción de la evaporación del agua del suelo (Reas) para los retenedores respecto al testigo. Pampa del Arco, 2770 msnm.

Tratamiento	F1	F2	F3	F4	F5
m1	41.98	39.90	43.69	44.41	39.21
m2	54.63	55.20	60.03	62.37	61.23
z1	4.94	6.04	5.59	6.01	0.00
d1	6.17	5.37	3.95	8.13	0.42
h1	3.91	3.74	4.03	4.52	6.66

Figura 3.2

Reducción de la evaporación del agua del suelo (Reas) para los retenedores respecto al testigo. Pampa del Arco, 2770 msnm (día 1 al 5 del experimento)



Las tablas 3.5 de ANVA y 3.6 de Tukey para el índice Reas, muestran diferencias altamente significativas entre tratamientos durante los primeros días del experimento, en los cuales se observa que el índice Reas en el tratamiento con mulch (m1) ronda el 42%, siendo superior al resto de tratamientos como diatomita (d1) con 7%, zeolita (z1) con 4% e hidrogel (h1) con 4%. También se puede observar que no existe diferencia significativa en los tratamientos con diatomita, zeolita e hidrogel, indicando que el uso de estos materiales con la finalidad de retener agua es muy ineficiente respecto al uso del mulch.

Tabla 3.5

Análisis de varianza para la reducción de la evaporación del agua edáfica

FV	GL	F1	F2
Tratamiento	3	1044.712**	929.0627**
Error	8	16.8669	11.32618
Total	11		
CV		28.83239	24.4982

FV	GL	F3	F4
Tratamiento	3	1163.993**	1121.62**
Error	8	12.49089	31.63917
Total	11		
CV		24.68049	35.63428

Tabla 3.6

Prueba de Tukey para la reducción de la evaporación del agua edáfica

Trat	F1	F2	F3	F4
M1	42.13 A	40.083 A	43.86 A	44.61 A
D1	7.233 B	6.397 B	5.047 B	9.207 B
Z1	3.637 B	4.723 B	4.28 B	4.723 B
H1	3.977 B	3.747 B	4.093 B	4.6 B

Al respecto, Yañez et al. (2018) presenta resultados similares respecto al mulch y al hidrogel, mencionando que: “La aplicación de rastrojo incrementó en un 16.9 % el contenido de humedad del suelo, lo cual incrementó significativamente la producción de biomasa aérea. Las dosis de hidrogel sólo influyeron en un mejor porcentaje de establecimiento y un mayor contenido de humedad edáfica durante los primeros 15 días de realizado el trasplante, sin ningún efecto posterior durante la fase de crecimiento y desarrollo de los pastos.” (p. 14)

Sin embargo, algunos autores indican que aumentar la dosis de los otros retenedores tales como zeolita, diatomita e hidrogel mejoran significativamente su eficiencia, Mijahuanca y Oliva (2021) señala que “la eficiencia fue óptima para retener la humedad del suelo con los tratamientos de poliacrilato de potasio en los plantones de café en vivero bajo las condiciones de operación utilizadas. Se observó que al aumentar la dosis de los tratamientos esto influyó en obtener mayores valores en los parámetros fisicoquímicos del suelo.” (p. 29); Bardales y Carrillo (2021) indican que “la adición del 4% en peso de diatomita es un nivel adecuado de dosis para la retención de agua de suelos arenosos produciendo un mayor rendimiento de masa seca y mayor altura de la planta, debido a la mejora en las propiedades físicas del suelo.” (p. 42)

CONCLUSIONES

1. La influencia de los retenedores de humedad en la evaporación del agua edáfica es muy evidente en el mulch que en diferentes dosis reduce la evaporación del agua edáfica de manera eficiente, logrando una diferencia significativa respecto a los

demás tratamientos. El resto de tratamientos; el hidrogel, la zeolita y la diatomita reducen la evaporación del agua edáfica en menor medida que el mulch, sin embargo, no existe una diferencia significativa que nos permita determinar cuál de los tres es mejor.

2. La influencia de los retenedores de humedad en el índice de reducción de la evaporación del agua edáfica es significativamente mayor en el mulch, con un índice Reas de 42%, seguido de la diatomita (6.17%), la zeolita (4.94%) y el hidrogel (3.91%). El índice Reas en los tratamientos con mulch fue estadísticamente mayor que los demás tratamientos, los cuales no tuvieron diferencia significativa entre sí.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Admon, A. (2023) “¿Qué tipo de hidroretenedor usar?” Insumos Agrícolas, Agrofertas.co. Recuperado de:
<https://agrofertas.co/hidroretenedores-organicos-y-sinteticos/#:~:text=Los%20hidroretenedores%20son%20materiales%20capaces, reducir%20la%20frecuencia%20de%20riego.>
- Agraria Università Mediterranea di Reggio Calabria (2016). “Suolo: Mezzo nutritivo per la pianta.” Materiale didattico, documentazione, repositorio UNIRC. Recuperado de:
https://www.unirc.it/documentazione/materiale_didattico/1462_2017_429_27771.pdf
- Álvarez, L; Valverde, A. y Briceño, H. (2023) “El uso de hidrogel reduce el estrés hídrico y mejora el rendimiento en el cultivo de maíz morado” Facultad de Ciencias Agrarias,

- Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Av. Universitaria 601-607, Pillco Marca, Huánuco, Perú. Recuperado de: <http://www.scielo.org.pe/pdf/mang/v20n4/2414-1046-manglar-20-04-325.pdf>
- Al-Othman, A. A.; Mattar, M. A. & Alsamhan, M. A. (2020). “Efecto del acolchado y del riego por goteo subterráneo sobre el estado hídrico del suelo en ambientes áridos.” *Revista Española de Investigación Agraria*, 18 (1), e1201. Recuperado de: <https://sjar.revistas.csic.es/index.php/sjar/article/view/15343>
- Baglione, L. (s.f.) “Usos de la tierra diatomea”. Organización tecnicana. Recuperado de: https://saltonverde.com/wp-content/uploads/2015/tec_no27_2011_p33-34.pdf
- Bardales Carrasco, V. J., & Carrillo Ríos, M. J. (2021). Sistema de tratamiento con diatomita para la retención de agua de los suelos arenosos en el Huerto San Antonio, Ica. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/63467>
- Barón Cortés, Andrés, Barrera Ramírez, Ingrid Xiomara, Boada Eslava, Luis Francisco, & Rodríguez Niño, Gerardo. (2007). Evaluación de hidrogeles para aplicaciones agroforestales. *Ingeniería e Investigación*, 27 (3), 35-44. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012056092007000300004&lng=en&tlng=es
- Calleja, A. (2009) “La importancia de las zeolitas” Escuela de Ingeniería Química. Universidad de Salamanca. Recuperado de: <file:///C:/Users/Figuz/Downloads/Dialnet-LaImportanciaDeLasZeolitas-3760692.pdf>
- Carnero, E. G. & Carnero, G. G. (2018), “Análisis numérico de infiltración de agua en un suelo residual no saturado utilizando la curva de retención de agua”. *Revista de Investigaciones Altoandinas* 2018; 20 (4); 439 – 450. Recuperado de: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v20n4/a07v20n4.pdf>
- Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (2022) “Uso del hidrogel en la agricultura” Gobierno de México. CIAD. Ciudad de México. Recuperado de: <https://www.ciad.mx/uso-del-hidrogel-para-la-agricultura/#:~:text=El%20hidrogel%20libera%20el%20agua,de%20nutrientes%20en%20las%20plantas>
- Coordinación General de Minería (2013). Perfil de mercado de la diatomita. Dirección General de Desarrollo Minero. Secretaría de Economía de México. Recuperado de: https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_diatomita_1013.pdf
- Costafreda-Mustelier (2011). Tectosilicatos con características especiales: Las zeolitas naturales. Fundación Gómez Pardo, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía, Universidad Politécnica de Madrid. España. Recuperado de: https://oa.upm.es/32548/1/Tectosilicatos_Costafreda.pdf
- Cruz, A; Pedroza, A; Trejo R; Sánchez, I; Samaniego, J. y Hernández, R. (2016) Captación de agua de lluvia y

- retención de humedad edáfica en el establecimiento de buffel (*Cenchrus ciliaris* L.). *Rev. mex. de cienc.* 7(2): 159-172. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S20071124201600200159&lng=es.
- Dirección General de Desarrollo Minero de México (2017), “Perfil de Mercado de la Diatomita” Secretaría de Economía. Subsecretaría de Minería. Ciudad de México. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/287797/Perfil_Diatomita_2017.pdf
- Dorronsoro, C. (2020), “Introducción a la edafología” Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Recuperado de: <http://www.edafologia.net/introeda/tema00/progr.htm>
- FAO (2018) “Cobertura vegetal del suelo” Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Agricultura de conservación. Recuperado de: <https://www.fao.org/conservation-agriculture/in-practice/soil-organic-cover/es/#:~:text=Protegen%20el%20suelo%20durante%20los,y%20las%20suelas%20de%20compactaci%C3%B3n>
- FAO (s.f.) “Evapotranspiración del cultivo: Guía para la determinación de agua de los cultivos” Estudio FAO, Riego y Drenaje. Recuperado de: <https://www.fao.org/4/x0490s/x0490s.pdf>
- Génova, Leopoldo; Andreau, Ricardo; Etcheverry, Marta; Etchevers, Pablo; Chale, Walter; Luciano, Calvo & Ramos-Artuso, Facundo (s.f.) Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. Contenidos hídricos referenciales. Medición y estimación de la humedad y la densidad aparente del suelo. Potencial de agua. Curvas de capacidad hídrica. Sensibilidad de las plantas al déficit hídrico. Umbral de riego. Cálculo de lámina e intervalo de riego. Programas operativos de riego. Recuperado de: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/35376/mod_resource/content/1/unidad%205%20TP5%20RASP.pdf
- Gil, R. (2020). “El agua del suelo.” Agua Edáfica, Resumen Edafología General. Escuela Nacional Central de Agricultura. INTA. Recuperado de: <https://www.studocu.com/gt/document/escuela-nacional-central-de-agricultura/edafologia-general/agua-edafica-resumen-edafologia-general/96133612>
- Hurtado, L., Toscano, Á., Taboada, L., Canales, L., Santayana, S., Domínguez, G., . . . Paredes, H. (2004). “Manejo y conservación del suelo: Fundamentos y prácticas.” Lima. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/470734477/Manejo-y-Conservacion-de-Suelos-Fundamentos-y-Practicas-2001>
- Ingelmo, F; Cuadrado, S. y Blanco, A. (1980) “Evaporación de agua en suelos de distinta textura” Centro de Edafología y Biología Aplicada. Salamanca C. S. I. C. Recuperado de: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/37205/1/AnuarioCEBAS1980255.pdf>
- Mijahuanca Rueda, E. E., & Oliva Torres, J. M. (2021). Nivel de retención de agua por poliacrilato de potasio en vivero de plantones de café en San Ignacio - Cajamarca, 2021. Disponible

- en:
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/95757>
- Nascimento, C., Mota, J., Nascimento, Í., Albuquerque, G., Simmons, R., Dias, C., & Costa, M. (2021). Temperature limitations in the use of hydrogels on leptosols in a semi-arid region of Brazil. *Geoderma Regional*, 26. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/352163310_Temperature_limitations_in_the_use_of_hydrogels_on_leptosols_in_a_semi-arid_region_of_Brazil
- Páches, M. A. V. (s.f.) “El agua en el suelo: fuerzas de retención.” Departamento de ingeniería hidráulica y Medio Ambiente. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de:
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/121154/Pach%C3%A9s%20-%20El%20agua%20en%20el%20suelo.%20Fuerzas%20de%20retenci%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Paredes, R; Salvador, E; Alamilla, P; Mandujano, A. y María, A. (2013). “Zeolita Natural. Alternativa ecológica y económica para la agricultura de temporal en México.” Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agricultura y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Centro. Celaya Guanajuato. México. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/336132417_Zeolita_Natural_Alternativa_ecologica_y_economica_para_la_agricultura_de_temporal_en_Mexico
- Portal Frutícola (2017). Cómo hacer y utilizar polímeros de hidrogel para retener la humedad en el suelo. Recuperado de:
<https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/10/04/como-hacer-y-utilizar-polimeros-de-hidrogel-para-retener-la-humedad-en-el-suelo/?country=pe>
- Ramírez, A; Benítez, J. L; Rojas de Astudillo, L. y Rojas de Gáscue, B. (2016) “Materiales polímeros de tipo hidrogeles: revisión sobre su caracterización mediante ftir, dsc, meb y met” *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 36(2), 108-130. Recuperado de:
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522016000200002&lng=es&tlng=es
- Silva, P; Silva, H; Garrido, M & Acevedo, E. (2015), “Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos.” Departamento de Producción Agrícola. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Avda. Santa Rosa 11315, La Pintana, Santiago –Chile. Recuperado de:
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130642/Manual-de-estudio-y-ejercicios-relacionados-con-el-contenido-de-agua.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Sela, G. (2024) “El agua del suelo” Portal Agrícola Web Cropaia. Recuperado de: <https://cropaia.com/es/blog/el-agua-del-suelo/>
- Tarpurisunchis (s.f.) “Uso del mulch” Agroecología Original. Organización Tarpurisunchis. Tamburco. Abancay-Apurímac. Recuperado de:
<https://www.tarpurisunchis.org/AgroEcologiaOriginal/pp/Mulch.pdf>

- Tejada, G. (2019) “Yacimiento de diatomita en Tacna” Ciencia & Desarrollo 7. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Recuperado de:
<https://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/cyd/article/view/132>
- Tencio-Camacho, Rolando (2018). “Cobertura de suelo o “mulch” como práctica sostenible ante el cambio climático.” Infoagro Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección de Desarrollo Central Oriental. Costa Rica. Recuperado de:
http://www.infoagro.go.cr/InfoRegion es/Publicaciones/Cobertura_suelo_mulch.pdf
- TerraCottem (2021) “¿Cuanto mayor sea la capacidad de retención de agua de un acondicionador de suelo, más agua estará disponible para la planta?” Portal web TerraCottem. Disponible en:
<https://www.terracottem.com/es/preguntas-frecuentes-blog/cuanto-mayor-sea-la-capacidad-de-retencion-de-agua-de-un-acondicionador-de-suelo-mas-agua-estara>
- Universidad Nacional de Córdoba (s.f.) “Determinación del contenido hídrico del suelo” Cátedra de Cereales y Oleaginosas. Departamento de Producción Vegetal. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UNC. Recuperado de:
<https://www.tecnoriegovalley.com.ar/uploads/fca-unc-determinacion-del-contenido-hidrico-del-suelo-2983.pdf>
- Vadivielso, A. (s.f.) “¿Qué es la evaporación del agua?” Blog ¡agua, iagua respuestas. Ciclo del Agua. Recuperado de:
<https://www.iagua.es/respuestas/ques-es-evaporacion-agua>
- Yáñez-Chávez, Luis & Pedroza-Sandoval, Aurelio. (2012). Evaluación de retenedores de humedad edáfica y su impacto en el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la Comarca Lagunera, México. VIII CONGRESO NACIONAL EN REC. BIÓTICOS DE ZONAS ÁRIDAS. I. 132-140. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/266374783_Evaluacion_de_retenedores_de_humedad_edafica_y_su_impacto_en_el_crecimiento_y_desarrollo_del_cultivo_de_maiz_Zea_mays_L_en_la_Comarca_Lagunera_Mexico
- Yáñez-Chávez, Luis Gerardo; Pedroza-Sandoval, Aurelio; Sanchez-Cohen, Ignacio & Samaniego-Gaxiola, José Alfredo (2014). Assessment of the Impact of Compost and Hydrogel as Soil Moisture Retainers on the Growth and Development of Forage Maize (*Zea mays* L.). Journal of Agriculture and Environmental Sciences. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/272481322_Assessment_of_the_Impact_of_Compost_and_Hydrogel_as_Soil_Moisture_Retainers_on_the_Growth_and_Development_of_Forage_Maize_Zea_mays_L
- Yáñez-Chávez, Luis Gerardo, Pedroza-Sandoval, Aurelio, Martínez-Salvador, Martín, Sánchez-Cohen, Ignacio, Echavarría-Cháirez, Francisco Guadalupe, Velásquez-Valle, Miguel Agustín, & LópezSantos, Armando. (2018). Uso de retenedores de humedad edáfica en la sobrevivencia y crecimiento de dos especies de pastos *Bouteloua*

curtipendula [Michx.] Torr. y Chloris
gayana Kunth. Revista mexicana de
ciencias pecuarias, 9(4), 702-718.
Recuperado de:
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php
?script=sci_arttext&pid=S2007-
11242018000400702](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242018000400702)

Zeocol (s.f.) "Propiedades de la zeolita en
la agricultura" Zeocol. Zeolitas de
Colombia. Quindío. Colombia.
Recuperado de:
[https://www.zeocol.com/contenido/5/
propiedades-de-la-zeolita-en-la-
agricultura](https://www.zeocol.com/contenido/5/propiedades-de-la-zeolita-en-la-agricultura)

Zhen Li, Jan Vanderborght & Katthleen M.
Smiths (2020). The effect of the top
soil layer on moisture and evaporation
dynamics. Vadose Zone Journal. DOI:
10.1002/vzj2.20049. Recuperado de:
[https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/
full/10.1002/vzj2.20049](https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/vzj2.20049)

Zribi, Wided & Faci, J & Aragüés, Ramón.
(2011). Efectos del acolchado sobre la
humedad, temperatura, estructura y
salinidad de suelos agrícolas.
Información técnica económica
agraria. 107. 148-162. Recuperado de:
[https://www.researchgate.net/publicat
ion/267921237_Efectos_del_acolchad
o_sobre_la_humedad_temperatura_es
tructura_y_salinidad_de_suelos_agric
olas](https://www.researchgate.net/publication/267921237_Efectos_del_acolchado_sobre_la_humedad_temperatura_estructura_y_salinidad_de_suelos_agricolas)