

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**TESIS:**

**Influencia de la granulometría de Diatomita y Zeolita en la  
retención de humedad del suelo; Pampa del Arco, 2760  
m.s.n.m., Ayacucho 2023**

Para optar el título profesional de:  
**INGENIERO AGRÓNOMO**

PRESENTADO POR:

**Bach. Kelvin Justo FERNANDEZ CARDENAS**

ASESOR:

**Ing. Alex Lázaro TINEO BERMÚDEZ**

**AYACUCHO - PERÚ**

**2026**

*A mis padres Justo y Perpetua, a mi hermana Stefhani y a mis familiares, por su amor incondicional, comprensión y apoyo emocional constante.*

*A mi prima Liset y a mi abuelita Alfonsa, quienes se adelantaron en el viaje de la vida, dedico este trabajo como prueba de recuerdo y amor.*

## **AGRADECIMIENTO**

A la casa superior de estudios Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y a mi segundo hogar, la Escuela Profesional de Agronomía, donde pasé maravillosos años adquiriendo conocimientos, obteniendo capacidades para mi desenvolvimiento profesional.

Mi profunda gratitud a mi asesor, Ing. Alex Lázaro Tineo Bermúdez, por su valiosa orientación, apoyo y paciencia a lo largo de todo el proceso de investigación.

A los miembros de mi círculo social donde compartimos estudios, deporte, alegrías; experiencias que marcaron camino.

## ÍNDICE GENERAL

I. CAPÍTULO I .....	14
1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
1.1.1 Internacional.....	14
1.1.2 Nacional .....	18
1.2 Bases teóricas.....	20
1.2.1 El suelo como un sistema edáfico multifásico (hacer el % de suelo ideal).....	20
1.2.2 Interacción suelo – agua – planta .....	30
1.2.3 Agua edáfica.....	31
1.2.4 Tipos de agua en el suelo .....	33
1.2.5 Estados de humedad del suelo.....	34
1.2.6 Fuerzas de retención de humedad en el suelo .....	35
1.2.7 Granulometría.....	37
1.2.8 Retenedores de humedad edáfica .....	38
1.2.9 Diatomita.....	39
1.2.10 Zeolita.....	42
1.3 Metodologías de Evaluación de la Retención de Humedad.....	44
1.3.1 Test Methods for the Examination of Composting and Compost (TMECC) .....	44
1.3.2 Método del Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la Universidad La Molina .....	45
1.3.3 Método específico utilizado en la investigación: índice Reas, desarrollada por el Área de Suelos en la Escuela Profesional de Agronomía de la UNSCH. Reas .....	45
II. CAPÍTULO II.....	47
2.1 Condiciones .....	47
2.1.1 Ubicación .....	47
2.1.2 Características climáticas .....	49
2.1.3 Características del suelo .....	49
2.2 Variables .....	51
2.2.1 Variables independientes.....	51
2.2.2 Variables dependientes.....	51
2.3 Procedimiento .....	52
2.3.1 Fase 1: Preparación de muestras de unidades experimentales .....	52
2.3.2 Fase 2: Aplicación del material retenedor e hidratación .....	53
2.3.3 Fase 3: Obtención de datos y cálculos .....	53
2.4 Medición de la variable dependiente y cálculo de la Reas .....	55

2.4.1	Evaporación del agua de suelo .....	55
2.4.2	Índice REAS.....	55
2.5	Población y muestra.....	55
2.6	Materiales y equipos .....	56
2.7	Diseño experimental .....	56
2.8	Descripción de tratamientos.....	57
2.9	Unidad experimental (U.E.).....	58
2.10	Instalación y conducción del experimento.....	59
2.11	Procesamiento de datos.....	60
III.	CAPÍTULO III .....	61
3.1	Evaluación del impacto de los retenedores de humedad en la evaporación de agua.	61
3.2	Influencia de la aplicación de retenedores de humedad en el índice de Reducción de evaporación del agua del suelo (Reas) .....	64
3.3	Costo del material retenedor .....	67
IV.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71
V.	ANEXOS.....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.1</b> Especies de plantas y su tolerancia al nivel de pH. ....	25
<b>Tabla 1.2</b> Relación del pH y desarrollo de patógenos. ....	25
<b>Tabla 2.1</b> Datos geográficos de la localización del experimento. ....	48
<b>Tabla 2.2</b> Resultados del análisis de caracterización del suelo de Pampa del arco. ....	50
<b>Tabla 2.3</b> Variable, dimensión e indicador. ....	52
<b>Tabla 2.4</b> Lista de materiales y equipos. ....	56
<b>Tabla 2.5</b> Tratamientos: testigo y retenedores de humedad. ....	58
<b>Tabla 3.1</b> Lámina de agua promedio evaporada (mm) para todos los tratamientos. ....	61
<b>Tabla 3.2</b> Análisis de la varianza para la evaporación diaria de agua edáfica. ....	63
<b>Tabla 3.3</b> Prueba de Tukey del efecto de la aplicación de distintos tratamientos en la evaporación diaria de agua edáfica. ....	63
<b>Tabla 3.4</b> Cálculo del índice REAS de los tratamientos con respecto al testigo. ....	65
<b>Tabla 3.5</b> Análisis de la varianza para el índice de Reas diario. ....	66
<b>Tabla 3.6</b> Prueba de Tukey del índice de Reas inicial y final. ....	67
<b>Tabla 3.7</b> Costo de material retenedor para evaporímetro de balanza (baldes) y dosis por ha. ....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.1</b> Tamaños de partícula y tipos de poros que lo conforman. ....	18
<b>Figura 1.2</b> Componentes del suelo ideal. ....	20
<b>Figura 1.3</b> Suelo superficial y subsuelo. ....	21
<b>Figura 1.4</b> Estructura del suelo. ....	22
<b>Figura 1.5</b> Tipos de estructura. ....	23
<b>Figura 1.6</b> Niveles de pH y denominación. ....	25
<b>Figura 1.7</b> Suelo afectado por salinidad. ....	26
<b>Figura 1.8</b> Reemplazo de cationes Ca <sup>++</sup> , Mg <sup>++</sup> , K <sup>+</sup> por cationes de hidrógeno. ....	27
<b>Figura 1.9</b> Traslado de cationes en la solución del suelo a ser absorbidos por los pelos radiculares de la planta. ....	27
<b>Figura 1.10</b> Relación del pH y la disponibilidad de nutrientes. ....	29
<b>Figura 1.11</b> Ciclo del nitrógeno. ....	30
<b>Figura 1.12</b> Interacción suelo- agua-planta. ....	31
<b>Figura 1.13</b> Ejemplo de cálculo de la lámina de agua. ....	32
<b>Figura 1.14</b> Tipos de agua en el suelo. ....	34
<b>Figura 1.15</b> Estados de humedad en el suelo: Saturación - Capacidad de campo - Punto de marchitez permanente; respectivamente. ....	35
<b>Figura 1.16</b> Gradiente de potencial hídrico. ....	36
<b>Figura 1.17</b> Curva de retención de humedad en arena - limo – arcilla. ....	37
<b>Figura 1.18</b> Instrumento para medición de la granulometría (tamiz granulométrico). ....	38
<b>Figura 1.19</b> Diatomita molida. ....	39
<b>Figura 1.20</b> Vista microscópica de la frústula. ....	40
<b>Figura 1.21</b> Especie de frústula de origen peruano - Ica (Thalassionema nitzschioides). ...	40
<b>Figura 1.22</b> Vista microscópica de frústulas con interacción con arcilla.....	41
<b>Figura 1.23</b> Estructura de una zeolita. ....	43
<b>Figura 1.24</b> Tamaño de partículas en la zeolita (0.3mm; 0.6mm; 1mm; 2mm). ....	44
<b>Figura 2.1</b> Ubicación geográfica del experimento. ....	48
<b>Figura 2.2</b> Vista satelital del lugar del experimento. ....	49
<b>Figura 2.3</b> Evaporímetro de balanza. ....	58
<b>Figura 2.4</b> Distribución de tratamientos. ....	59

<b>Figura 3.1</b>	Evaporación de agua en los tratamientos de diatomita (2 mm, 1 mm, 600 $\mu\text{m}$ , 300 $\mu\text{m}$ ). .....	62
<b>Figura 3.2</b>	Evaporación de agua en los tratamientos de zeolita (2 mm, 1 mm, 600 $\mu\text{m}$ , 300 $\mu\text{m}$ ). .....	62
<b>Figura 3.3</b>	Gráfico del del índice Reas de los tratamientos de diatomita con respecto al testigo. ....	65
<b>Figura 3.4</b>	Gráfico del del índice Reas de los tratamientos de zeolita con respecto al testigo. ....	65
<b>Figura 3.5</b>	Índice Reas de la comparación de granulometría gruesa y delgada de diatomita y zeolita frente al testigo. ....	66

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo 1.</b> Tabla de registro de datos de cada unidad experimental en el inicio de evaluación. ....	80
<b>Anexo 2.</b> Tabla de registro de pérdida de peso diario de cada tratamiento y sus repeticiones. ....	81
<b>Anexo 3.</b> Tabla de pérdida de humedad (ml) acumulada en el experimento. ....	82
<b>Anexo 4.</b> Tabla de cálculo de lámina de agua evaporada en los tratamientos y repeticiones. ....	83
<b>Anexo 5.</b> Tabla de cálculo de pérdida de agua acumulada (ml). ....	84
<b>Anexo 6.</b> Tabla de índice Reas (%) de los tratamientos. ....	85
<b>Anexo 7.</b> Pérdida de agua por evaporación (mm/día) durante el experimento. ....	85
<b>Anexo 8.</b> Índice Reas de los tratamientos con respecto al testigo. ....	86
<b>Anexo 9.</b> Línea de tendencia de la aplicación de tratamientos de diatomita y zeolita....	86
<b>Anexo 10.</b> Análisis de varianza y prueba Tukey para la evaporación en lámina de agua de cada día del experimento. ....	87
<b>Anexo 11.</b> Análisis de varianza y prueba Tukey para el índice Reas inicial (días 2, 3, 4 y 5) y final (días 7, 8, 9 y 10). ....	92
<b>Anexo 12.</b> Panel fotográfico. ....	93
<b>Anexo 13.</b> Análisis de caracterización de la muestra de suelo de Pampa del Arco. ....	98

## RESUMEN

La escasez de lluvias y el estrés hídrico son un problema recurrente y grave en ambientes semiáridos, afectando directamente la actividad agropecuaria; en tal sentido el uso de retenedores de humedad se convierte en una alternativa agronómica imprescindible para mejorar la retención de agua edáfica y optimización de su uso. Con el objetivo de evaluar la influencia de la granulometría de diatomita y zeolita en la retención de agua del suelo y la reducción de la evaporación del agua del suelo (Reas) se desarrolló este trabajo empleando la metodología del evaporímetro de balanza, constituido por baldes con capacidad para 3,5 kg de suelo y una balanza gramera; los tratamientos consistieron en la incorporación de diatomita y zeolita de diferentes granulometrías (2000, 1000, 600, 300  $\mu\text{m}$  de diámetro) a razón de 1,5 g por evaporímetro (equivalente a 0,5 t ha<sup>-1</sup>), además de un testigo T0 (sin retenedor). Se evaluó la evaporación diaria de agua (mm) y el índice de reducción de la evaporación de agua del suelo (Reas) a lo largo de diez días, con los que se realizó los análisis estadísticos correspondientes; se encontró que la incorporación de diatomita y zeolita en las diferentes granulometrías (2000, 1000, 600, 300  $\mu\text{m}$ ) aportaron significativamente en la reducción de la evaporación de agua, siendo la zeolita de 2000  $\mu\text{m}$  la que más retuvo el agua del suelo durante los diez días respecto al testigo; igualmente el índice Reas, la z2.0 (zeolita 2000  $\mu\text{m}$ ) permitió el valor más alto (28.7 %), seguida del d2.0 (diatomita 2000  $\mu\text{m}$ ) con 27.77 %, z1.0 (zeolita 1000  $\mu\text{m}$ ) con 24.21 %, d1.0 (diatomita 1000  $\mu\text{m}$ ) con 23.79 %, y el Reas más bajo se obtuvo con diatomita 300  $\mu\text{m}$  (14.78 %). De esta manera, se concluye que la granulometría en el rango de partículas estudiado influye directamente proporcional la retención de humedad.

**Palabras clave:** humedad, granulometría, retenedores, diatomita, zeolita, índice Reas.

## ABSTRACT

Rainfall scarcity and water stress constitute a recurrent and serious problem in semi-arid environments, directly affecting agricultural activity. In this context, the use of moisture-retaining materials becomes an indispensable agronomic alternative to enhance soil water retention and to optimize its use. With the aim of evaluating the influence of diatomite and zeolite particle size on soil water retention and on the reduction of soil water evaporation (Reas), this study was carried out using the balance evaporimeter method, consisting of containers with a capacity of 3.5 kg of soil and a precision balance. The treatments involved the incorporation of diatomite and zeolite of different particle sizes (2000, 1000, 600, and 300  $\mu\text{m}$  in diameter) at a rate of 1.5 g per evaporimeter (equivalent to 0.5 t ha<sup>-1</sup>), in addition to a control treatment (T0) without a moisture retainer. Daily water evaporation (mm) and the soil water evaporation reduction index (Reas) were evaluated over a ten-day period, after which the corresponding statistical analyses were performed. The results showed that the incorporation of diatomite and zeolite at the different particle sizes (2000, 1000, 600, and 300  $\mu\text{m}$ ) significantly contributed to reducing water evaporation, with 2000  $\mu\text{m}$  zeolite exhibiting the greatest soil water retention throughout the ten-day period compared to the control. Likewise, regarding the Reas index, z2.0 (zeolite 2000  $\mu\text{m}$ ) recorded the highest value (28.7%), followed by d2.0 (diatomite 2000  $\mu\text{m}$ ) with 27.77%, z1.0 (zeolite 1000  $\mu\text{m}$ ) with 24.21%, and d1.0 (diatomite 1000  $\mu\text{m}$ ) with 23.79%, whereas the lowest Reas value corresponded to d0.3 (diatomite 300  $\mu\text{m}$ ) with 14.78%. Thus, it was determined that, within the studied range, particle size exerts a directly proportional influence on soil moisture retention.

**Keywords:** moisture, particle size, retainers, diatomite, zeolite, Reas index.

## INTRODUCCIÓN

El problema de la falta de agua para los diferentes fines (agricultura, ganadería, consumo humano, industria, etc.) es un problema que en los últimos años va incrementando a causa del crecimiento demográfico y calentamiento global, lo que causa que el recurso agua cada vez esté más escaso y su uso limitado. El cambio climático, provoca alteraciones y modificaciones en los patrones de lluvia, generando sequías o inundaciones extremas, recomendando a buscar nuevas técnicas de planificación para mitigar esta dificultad (FAO, 2023).

Los procedimientos de cosecha y manejo eficiente del agua son importantes para optimizar su uso, ya que, estas metodologías están ligadas a la mejora al aumento de la producción agrícola (Koda et al. 2009), (pág.54)

En este contexto, el uso de retenedores de humedad edáfica (diatomita, y zeolita, mulch, hidrogel, entre otros muchos) toman un papel fundamental para optimizar el uso controlado del agua para sus distintos fines en la agricultura y sobre todo en regiones como Ayacucho, clasificada como bosque seco montano bajo sub tropical, según la clasificación bioclimática de Holdridge. Estos materiales retenedores tienen diferentes bondades, en las que una de ellas es objeto del presente experimento reducir la velocidad de evaporación del agua edáfica, es importante evaluar cómo las diferentes granulometrías de estos materiales influyen en la capacidad de retención de humedad edáfica.

Este trabajo de investigación se enfoca en determinar la influencia de distintas granulometrías de diatomita y zeolita en la retención de humedad del suelo en Pampa del Arco. Utilizando una metodología desarrollada por el Área de Suelos de la Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, donde, se medirá la reducción de la evaporación de agua del suelo en lámina de agua (mm) y el índice de reducción relativa de la evaporación del agua del suelo (Reas) empleando distintos tamaños de partículas de estos materiales. Se determinó la influencia del uso de diferentes granulometrías de diatomita y zeolita (2000, 1000, 600 y 300  $\mu\text{m}$ ), además de baldes de control sin material retenedor ni suelo para contrastar la variación de temperaturas diarias, el cual nos ofrece mejores resultados en resultados en términos de evaporación diaria.

El objetivo principal de esta investigación es determinar la granulometría óptima de diatomita y zeolita, materiales retenedores de humedad en el suelo. Además, se evaluarán los costos asociados con la aplicación de estos retenedores de humedad, proporcionando así, conceptos claves para recomendar distintos sistemas que puedan ser implementados por agricultores, empresas y profesionales del agro. Al tratar estos aspectos, se espera contribuir a mejorar la sostenibilidad agrícola a nivel local, nacional e internacional que tengan condiciones similares.

**Objetivos:**

1. Evaluar la influencia de la granulometría de diatomita y zeolita en la retención de la humedad del suelo, Ayacucho.
2. Determinar el índice de reducción relativa de la evaporación del agua del suelo (Reas) para diferentes granulometrías de diatomita y zeolita, Ayacucho.
3. Evaluar los costos de la aplicación de diatomita y zeolita, Ayacucho.

# I. CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1.1 Internacional

Girijaveni et al. (2025) efectuaron un trabajo de investigación a través del Consejo Indio de investigación Agrícola (ICAR) en suelos alfiholes de la India, donde debido a la poca eficacia de nutrientes y poca disponibilidad del contenido de agua edáfica, incorporaron en dos experimentos cantidades de zeolita (mordenita) para ver su efecto: primer experimento incorporación de 10 t ha<sup>-1</sup> de zeolita donde hubo una disminución en la pérdida del nitrógeno, fósforo y potasio en forma de NH<sup>+</sup><sub>4</sub>; P y K respectivamente; al mismo tiempo se evaluó en el cultivo de tomate tres niveles de fertilización con 4 niveles de zeolita en un diseño de bloque completamente aleatorizados, donde se demostró un efecto positivo en la eficiencia en el uso de agua, rendimiento de materia seca y absorción de nutrientes NPK, en la que la aplicación de 200 kg ha<sup>-1</sup> de zeolita (mordenita) junto al cien por ciento de la dosis recomendada para el tomate obtuvieron los mayores valores. Concluyendo que la eficiencia de la absorción de nutrientes en la planta fue, en la materia seca (M.S.) y eficiencia del uso de agua con el 50 y 100 % de capacidad de campo.

Por consiguiente, el uso de la zeolita (mordenita) en suelos alfiholes demostraron una eficiente capacidad de intercambio catiónico donde ayudo en la adsorción de amonio, fósforo y potasio, retención de humedad edáfica, y reducción en el impacto ambiental evitando la lixiviación de nutrientes y minerales a la capa freática.

Szatanik et al. (2021), a través del Instituto de Agro física de la Academia Polaca de Ciencias, desarrollaron un experimento donde el objetivo fue evaluar la influencia de la zeolita (1 a 8 t ha<sup>-1</sup>) acompañada fertilización nitrogenada en suelos deficientes, donde se encontró

mejora en la producción del trigo de primavera, pero que no se encontró evidencias de mejoría en los siguientes parámetros: modificación de la capacidad de intercambio catiónico CIC, superficie específica, pH, la capacidad de retención del agua, ni agua disponible para las plantas. y que la mejora en el rendimiento en el trigo se debe a su composición de potasio disponible. Posteriormente se incorporó zeolita acompañadas de dosis de NPK, donde llegaron a la conclusión que la zeolita no afecto en el rendimiento del trigo, y que para ver su influencia en el suelo deberían incorporar cantidades excesivas.

El experimento recomienda que, para ver la influencia beneficiosa de la zeolita en el suelo, se debería haber una mezcla de una relación de 40 g de zeolita por cada 100 g de suelo.

Vijay y Suhas P. (2018) en su investigación a través de la revisión de varios artículos científicos, refiere que por la producción masiva de fertilizantes nitrogenados y sus malas prácticas (inadecuada fertilización) ocasionando volatilización y lixiviación. En busca nuevas técnicas de aprovechamiento del nitrógeno; donde se propone el uso de zeolitas como una alternativa sostenible, llegando a la conclusión que las zeolitas como mineral altamente disponible tiene las propiedades benéficas de transportadora de nutrientes con liberación gradual por su amplia capacidad de intercambio catiónico (efecto que favorece la fertilidad del suelo), tratamiento para la salinidad, reducción de la escorrentía, y sobre todo aumentar la capacidad de retención hídrica del suelo. (pág.9)

Ibrahim et al., (2021) llevaron a cabo un trabajo de investigación sobre la escasez de agua en zonas áridas y semiáridas, donde se evaluó la influencia de las diferentes granulometrías de zeolita clinoptilolita natural en el contenido de agua y propiedades hidráulicas de un suelo franco arenoso, en la cual se evaluaron tras diferentes tamaños de zeolitas 20, 2.0 y 0.2  $\mu\text{m}$  a una dosis del 1 % en doce ciclos de humedecimiento y secado a lo largo de diez meses, dando por resultado que a menor tamaño de partícula es mejor la retención de humedad edáfica, sobre todo cuando los tratamientos pasaron periodos largos de sequedad, además que la mejora de agua disponible y almacenamiento hídrico aumentaron en 3.6 - 14.7 % y 6.8 - 10.5 % respectivamente.

Este trabajo determino que a menor granulometría de zeolita clinoptilolita, mejora la retención de humedad edáfica, a una dosis del 1 % del contenido de suelo, una

alternativa interesante, pero que debe entrar a evaluación según su costo y disponibilidad de este material.

Soca et al. (2016) llevaron a cabo una evaluación acerca de las incorporaciones de zeolita en diferentes granulometrías para evaluar la influencia del tamaño de partículas de zeolita en distintas variables agronómicas, entre 2010 al 2012 se condujeron cuatro experimentos en macetas de 1.6 kg empleando un diseño completamente aleatorio, donde se usó cinco tamaños de partícula ( $< 0.25$ ,  $0.25 - 0.5$ ,  $0.5 - 1$ ,  $1 - 2$  y  $2 - 3$  mm), dosis de zeolita ( $0$ ,  $1.88$ ,  $4.74$ ,  $6.88$  y  $9.38$  g kg<sup>-1</sup> de suelo) disponiendo cuatro repeticiones por tratamiento. Llegando a la conclusión que los tamaños de granulometría de  $1 - 3$  mm mejoraron algunos parámetros químicos entre los cuales son la reducción del 57 % volatilización de nitrógeno, el tratamiento menor a 1 mm mejora en la CIC (capacidad de intercambio catiónico).

Según Zahedi et al. (2012), la aplicación de zeolitas en diferentes tipos de suelos mejora sus propiedades químicas, especialmente las relacionadas con la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la zona de las raíces y disminuye las aplicaciones de fertilizantes, lo que reduce las pérdidas por volatilización y lixiviación (como citó en (Soca et al., 2016b).

Su aplicación en el suelo contribuye además en la reducción de la pérdida de la humedad de la capa arable, mejorando características químicas, generando mejoras en la producción agrícola.

Yu y Zhao, (2022) sobre la zeolita, exponen que la zeolita son minerales microporosos cristalinos, con una estructura compuesta por tetraedros (XO<sub>4</sub>), donde X puede ser Si, Al, P entre otros formando así, canales unidimensionales hasta tridimensionales, con un tamaño de abertura de  $< 2$  nm. Gracias a su estructura microporosa y gran superficie específica, poseer fuerte sitios ácidos, alta estabilidad hidrotérmica y térmica, y su capacidad de selectividad de forma a nivel molecular; son empleadas como adsorbente, intercambiadores catiónicos y retenedores.

Flores et al. (2021) realizaron una investigación que se basó en comparar las características de un bloque de cemento sustituyendo el cincuenta por ciento de su volumen de arena por zeolita, en comparación a una mezcla donde no se le agregó zeolita con el objetivo de determinar si la incorporación de la zeolita modificaba la conducta del bloque de cemento con respecto a su humedad interna, Para realizarlo, a ambas mezclas se les hizo la prueba de

absorción de humedad máxima inicial y la de absorción total a 24 horas; llegando a la conclusión que el tratamiento con 50 % de zeolita tiene una mayor capacidad de acumular agua en comparación al tratamiento control.

Este experimento nos ayuda a entender que el uso de la zeolita ayuda en el almacenamiento de agua, y aún mejor cuando se emplea en el suelo, método que serviría para poder mitigar la sequía.

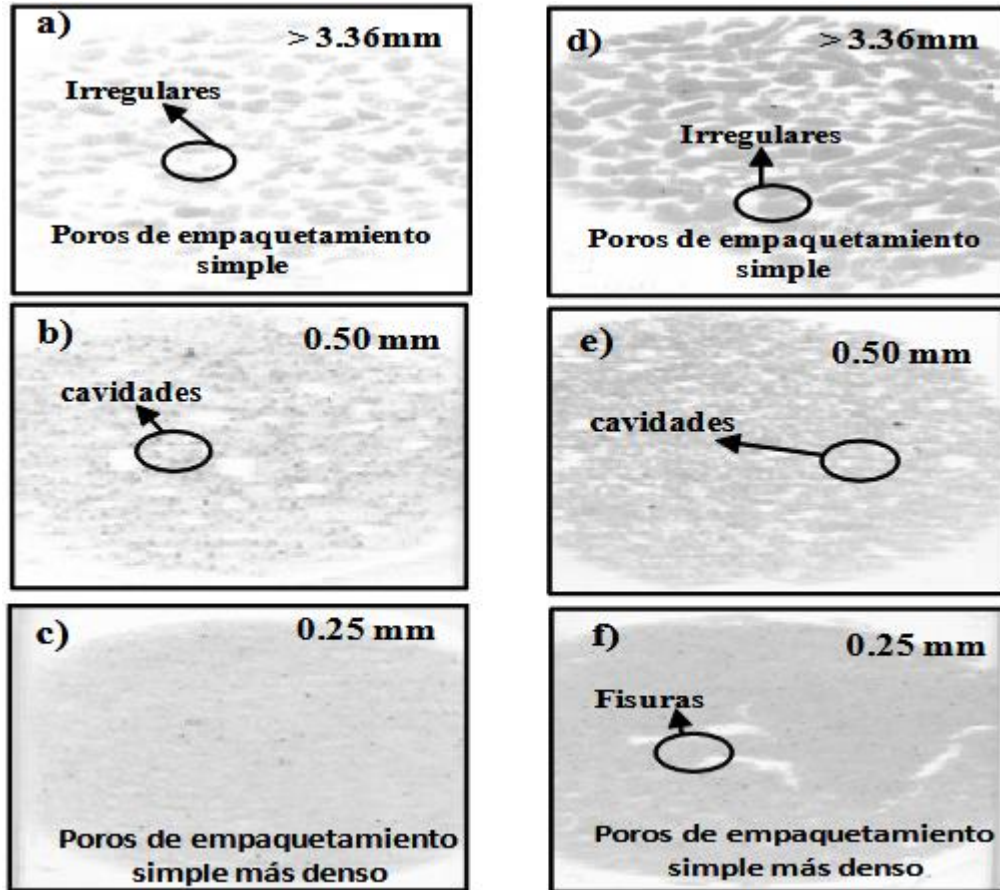
Espinosa et al. (2021) desarrollaron un estudio que tuvo por objetivo de evaluación la influencia de Zeofert en el comportamiento del suelo como intercambiador iónico para retener cationes ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ) y en la retención de materia orgánica. Se basó en aplicaciones de partículas de roca zeolítica Natural (RZN) con una granulometría de 1 a 5 mm en piso de nave de crianza de vacunos (combinación con excremento y orine), su recolección y su descomposición por 45 días y en total se realizaron 12 aplicaciones en el piso para fabricar Zeofert para realizar este experimento, para la investigación se usaron 2 áreas de 2500 m<sup>2</sup> cada uno donde a uno se la aplicó 25 t ha<sup>-1</sup>. La aplicación de abono órgano mineral natural (Zeofert) al suelo, incrementó el rendimiento del tomate en un 38 % respecto al control, con diferencias altamente significativas entre los dos tratamientos en estudio; esta respuesta positiva respecto al tamaño del fruto está dada porque el tomate desarrollado en la variante con Zeofert dispuso de un mayor contenido de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Ca<sup>++</sup> y disponibilidad de materia orgánica en el suelo para su desarrollo. Por consiguiente, se tendría mayor contenido de materia orgánica y por consiguiente mayor retención de humedad en el suelo.

Anicua et al. (2009) realizaron un trabajo de investigación donde el objeto de evaluación fueron las propiedades físicas (densidad aparente, densidad real, espacio poroso total, capacidad de aireación, agua fácilmente disponible, agua de reserva) y micromorfológicas de perlita y zeolita de diferentes granulometrías (3.36, 2.00, 1.00, 0.50, 0.25 y < 0.13 mm). El diseño experimental fue completamente al azar con 3 repeticiones. Llegando a los resultados, la retención de agua fácilmente disponible, de reserva, y difícilmente disponible fue estadísticamente diferente en función del tamaño, forma y distancia de las partículas. Por ejemplo, las partículas de 1 mm mostraron la mayor capacidad de aireación (23.8%), las partículas de 0.25 mm la mayor cantidad de agua fácilmente disponible (31.4 %) y uno de los menores valores para agua difícilmente disponible (23.6 %); mientras que en partículas > 3.36

mm mostraron la menor cantidad de agua difícilmente disponible (5.2 %) y la mayor cantidad de agua difícilmente disponible (41.3 %).

**Figura 1.1**

*Tamaños de partícula y tipos de poros que lo conforman*



Fuente: Análisis micro morfológico, (Anicua et al., 2009)

### 1.1.2 Nacional

Zuluaga et al. (2023), desarrollaron un trabajo de investigación de revisión bibliográfica sobre las características de la zeolita, frústula como su estructura principal entre las cuales se evaluó sus características micro morfológicas, en el caso de la forma de la estructura de la diatomea colectada en Perú, presenta partículas largas y delgadas de especie (*Thalassionema nitzschioides*) las cuales son más susceptibles a variaciones por a fraccionamiento ya sea por acciones mecánicas o tensiones, lo que afecta en sus propiedades como: tamaño de poros, cantidad de poros, área superficial, espesor, entre otros.

Esta publicación nos ayudó a reconocer la especie de alga fósil presente en Perú (*Thalassionema nitzschioides*) la cual presenta una morfología delgada y larga, la cual

tiene las características particulares de presentar buen volumen y cantidad de poros, por lo tanto, característica de ser un material retenedor de humedad en el suelo, pero por su estructura es susceptible a sufrir daños por acciones mecánicas (esfuerzos de compresión en el suelo).

Cerda (2019) realizó una evaluación en condiciones de laboratorio a través de diseño factorial 3 x 2 sobre el efecto de la diatomita conocida localmente como “Quicato”, la cual es un material en proceso de estudio en temas de agricultura, se evaluó la aplicación de dosis de diatomita (0, 5, 10 y 15% v/v) de 2 mm, en dos suelos, de textura franco arcillo arenosa (Fr.Ar.A.) y franco arenoso (Fr.A.) de Luricocha - Huanta, con la finalidad de estimar sus efectos en: la capacidad de campo, densidad aparente, densidad real y porosidad total de los suelos, con un total de 12 tratamientos en macetas de 1 kg de capacidad, donde se mantuvo una humedad a capacidad de campo constante durante 6 meses. Concluyendo que la incorporación de diatomita 5; 10; 15% (v/v), incrementa considerablemente la capacidad de campo tanto como en suelos franco arcillo arenosa (Fr.Ar.A.) en 2.87%, 8.39%, 9.87% respectivamente; y en el suelo franco arenoso (Fr.A.) en 3.14%, 6.46%, 9.77%, en relación al testigo.

Tineo et al. (2021) con el objetivo de evaluar la influencia de cuatro granulometrías de diatomita (0.5, 2.0, 3.5 y 5.0 m) en dos niveles (0.5 y 1.0 t ha<sup>-1</sup>) en la reducción de evaporación del agua edáfica y rendimiento del tomate utilizando el diseño completamente al azar (DCA). Las granulometrías 2000 y 3500 µm tienen menor evaporación diaria en los niveles de (0.5 y 1.0 t ha<sup>-1</sup>). Los resultados indican que, a un mayor nivel de diatomita, se reduce la evaporación, aumentando al agua disponible para la planta.

Bardales y Carrillo, (2021) realizaron un trabajo de investigación para determinar qué sistema de tratamiento con diatomita mejoraría la retención de agua de los suelos arenosos en Ica. En la que se empleó 5 tratamientos de dos repeticiones (de diferentes porcentajes de diatomita T1 = 4 %; T2 = 8 %; T3 = 12 %; T4 = 16 % y T5 = 20 %) además de un tratamiento testigo sin diatomita. Los resultados generales indican que la porosidad del suelo aumenta con la incorporación de diatomita en cualquier de las concentraciones en el suelo, y que el tratamiento que mostró mejor aumento en el contenido de humedad del suelo y rendimientos en el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*) fue el T1 = 4 % de diatomita; recalando su uso eficiente por sus bajos costos y fácil obtención.

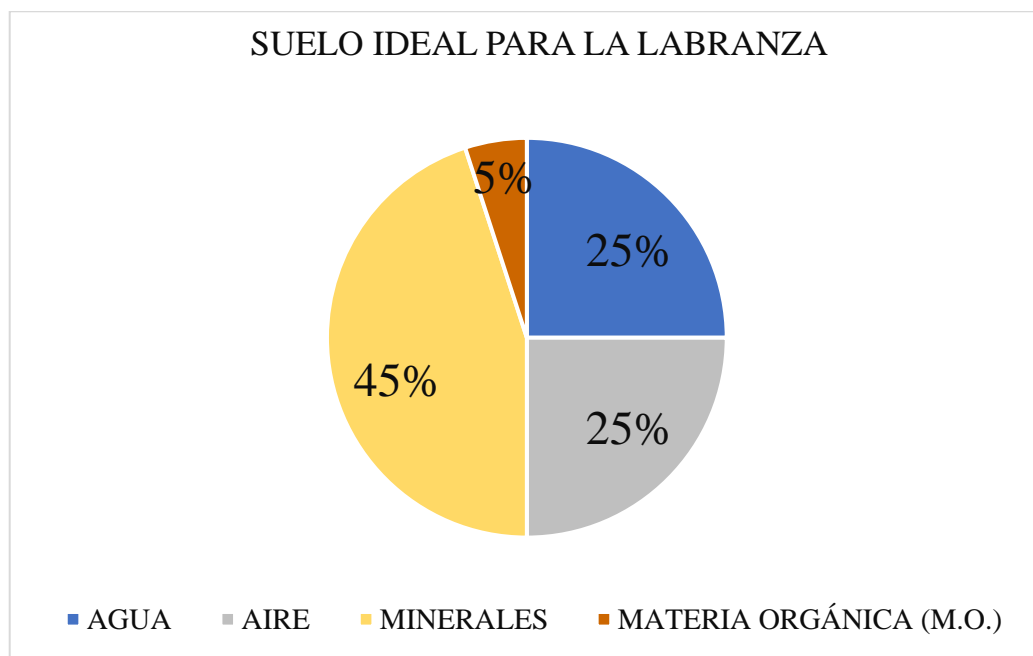
## 1.2 Bases teóricas

### 1.2.1 El suelo como un sistema edáfico multifásico

Acosta, (2007) refiere que el suelo es un sistema dinámico “ser vivo”, el cual está en constante cambio en el cual se compone de tres fases: solida (minerales, materia orgánica), líquida (agua) y gaseosa (aire). Un suelo ideal denominado suelo franco de textura: arena 40 %, limo 40 % y arcilla 20 %; tiene magnitudes bien determinadas: material mineral 45 %, agua 25 %, aire 25 % y materia orgánica (M.O.) 5 %.

**Figura 1.2**

*Componentes del suelo ideal*



Fuente. Elaboración propia.

Arias et al. (2018) por su parte refiere que, la idea del suelo como un sistema edáfico multifásico es un ente dinámico para la agricultura como también para el medio ambiente importante e indispensable para la subsistencia de seres que lo albergan; caracterizado por constantes cambios continuos.

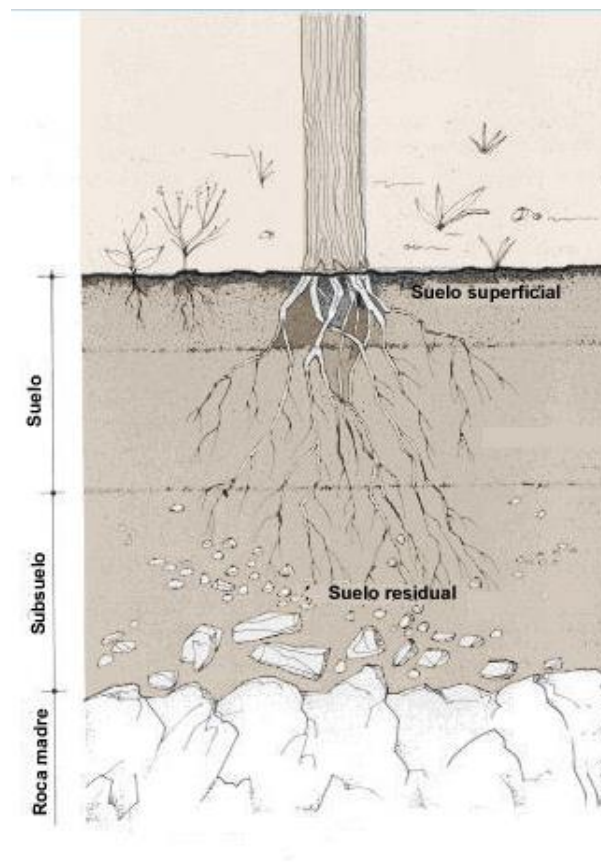
#### 1.2.1.1 Suelo superficial y subsuelo

FAO, (s/f) refiere al suelo superficial a la capa superficial en la cual sucede toda la actividad agrícola y sus diferentes manejos agronómicos, esta capa tiene por característica de ser poco profunda donde ocurre el desarrollo radicular y de mayor actividad de macro y micro organismos del suelo; su peculiaridad es presentar un alto

contenido de materia orgánica (M.O.), a consecuencia de la descomposición de residuos de la flora y fauna.

FAO, (s/f) menciona sobre el subsuelo que es la capa debajo de la superficial, la cual es una capa de lento y constante cambio, con características de menor contenido de materia orgánica lo que se manifiesta en su coloración más pálida; la circulación de agua, aire y sustancias químicas es reducida.

**Figura 1.3**  
*Suelo superficial y subsuelo*



Fuente. FAO (s/f)

### 1.2.1.2 Propiedades

El suelo ya establecido previamente como un sistema multifásico, posee un compuesto de propiedades físicas, químicas y biológicas las cuales se relacionan formando la fertilidad del suelo; sus propiedades físicas (textura, estructura, distribución de poros y densidad aparente), químicas (pH, salinidad, conductividad eléctrica C.E., capacidad de intercambio catiónico C.I.C., materia orgánica M.O. y nutrientes disponibles) y biológicas (macro y micro organismos).

### 1.2.1.3 Propiedades físico, químicas y biológicas

#### a) Físico

- **Textura**

La revisión bibliográfica reafirmó que la textura se define como las “proporciones de partículas (arena, limo y arcilla) que se encuentran en el suelo” (Acosta, 2007).

En el cual señala como un suelo ideal a aquel que tienes las siguientes proporciones: arena 40 %, limo 40 % y arcilla 20 %; denominado como suelo franco (Fr.), quien tiene la capacidad de albergar a la mayoría de plantas en buenas condiciones.

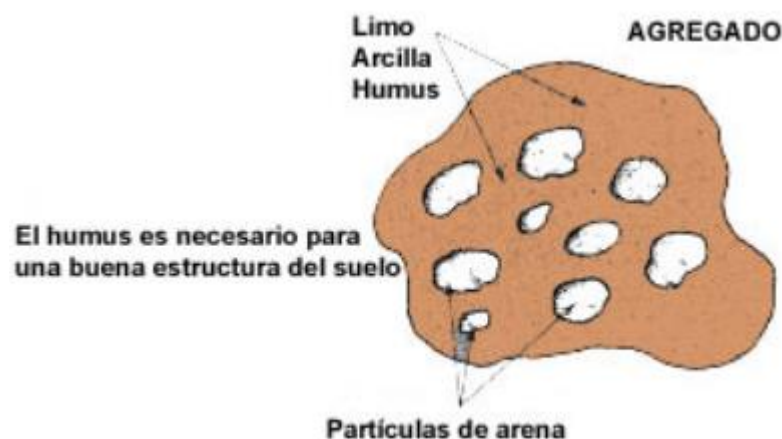
FAO, (s/f e) expresa que la textura es definida como el contenido (%) de las partículas de arena, limo y arcilla; las cuales según en las proporciones en las que se encuentran expresan diferentes comportamientos en el sistema edáfico como, por ejemplo: labranza de suelo, velocidad de infiltración, espacio aéreo, entre otros.

- **Estructura**

FAO, (s/f a) sobre la estructura, refiere que es la forma de agrupación de las partículas individuales (arena, limo, arcilla), formando partículas de mayor tamaño denominadas agregados. El desplazamiento del agua varía significativamente de acuerdo a la estructura en la que se encuentre: granular (la mejor para la agricultura), bloque (generalmente encontradas en el horizonte B), prismáticas (drenaje deficiente) y laminar (agregados en laminas o capas finas).

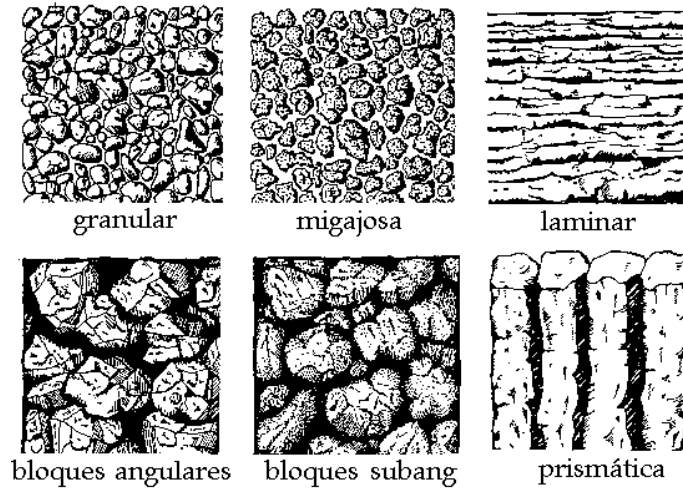
#### Figura 1.4

*Estructura del suelo*



Fuente. (FAO, (s/f)a)

**Figura 1.5**  
Tipos de estructura



Fuente. Edafología.ugr, (s/f)

Acosta, (2007) por su parte, expresa que la estructura es definida en la disposición de que las partículas primarias (arena, limo y arcilla) se encuentran unidas entre sí, formando agregados; estas estructuras no son formas aleatorias, sino que obedecen a distintas fuerzas como cementación o cohesión, en la cual la materia orgánica (M.O.) cumple la función de pegamento natural.

- **Distribución de poros**

Definen a la distribución de poros a la cantidad de espacio poroso existente respecto al volumen total evaluado, este es el espacio donde residen tanto el agua como el aire del suelo; siendo este un factor determinante para el cálculo de la densidad aparente ( $D_a$ ), por consiguiente la porosidad no es un dato aislado, sino que, es el producto de la interacción de factores primarios como la textura, estructura y acción biológica; determinada así según, (Pioneer, (s/f)).

- **Densidad aparente**

Ticona et al. (2024) indica que la densidad aparente ( $D_a$ ) se define como la relación de la masa de las partículas sólidas en un cierto volumen con el volumen total de un suelo en estudio, esta relación incluye el espacio poroso, gracias a este parámetro se puede saber la textura del suelo y su grado de compactación.

$$D_a = \frac{P_{ss}}{V_t}$$

Donde:

Da: densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

Pss: peso del suelo seco (g)

Vt: volumen total (ml ó cm<sup>3</sup>)

## **b) Químicas**

Calderón et al. (2018) determinaron que las propiedades químicas son esenciales porque son las que influyen directamente en la disponibilidad de nutrientes y calidad de agua en las plantas; unas de estas características son: pH, salinidad, capacidad de intercambio catiónico C.I.C., materia orgánica M.O. y nutrientes disponibles.

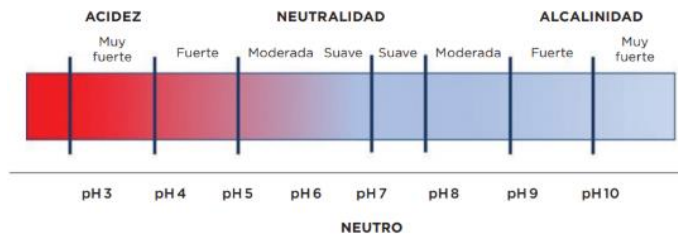
### **• pH**

Acosta, (2007) menciona que el potencial de hidrogeniones (pH) es un fundamental indicador químico para determinar la cualidad del sistema edáfico, ya que, determina la cantidad de iones de H<sup>+</sup> libres presentes en la solución del suelo; este parámetro es medido de entra las magnitudes de 0 a 14, donde el valor 7 indica un suelo neutro, valores menores que 7 indican suelos ácidos, valores mayores de 7 indican suelos alcalinos; el manejo de estos valores tienen una repercusión muy importante, ya que, el cambio mínimo puede generar que algunos nutrientes dejen de estar disponibles para la planta y por consiguiente, afectando la fertilidad del suelo.

$$pH = -\log[H^+]$$

FAO, (s/f c) indica sobre el pH que es la medida que determina el nivel de adsorción de Iones H<sup>+</sup> dentro del sistema suelo, indicando así si el medio es ácido, neutro o alcalino; estos valores nos ayudan a determinar la disponibilidad de nutrientes; usualmente el suelo agrícola presenta valores de 3.5 suelo muy ácido, 9.5 suelo muy alcalino; estos valores extremos afectan directamente en la disponibilidad de nutrientes esenciales, inhibir el crecimiento y desarrollo de cultivos, incluso manifestar toxicidad y el contrario, expresan que el pH ideal es de 6.5.

**Figura 1.6**  
Niveles de pH y denominación



Fuente. (Mundoagro, 2022)

**Tabla 1.1**  
Especies de plantas y su tolerancia al nivel de pH

Especies de plantas agrupadas según su tolerancia a la acidez del suelo			
MUY SENCIBLES A LA ACIDEZ	TOLERANTES A ACIDEZ SUAVE	TOLERANTES A ACIDES MODERADA	BENEFICIADAS EN ALTA ACIDEZ
Lechuga	Tomate	Papa	Arándano
Espinaca	Arveja	Trigo	Cran Berry
Esparrago	Col de Bruselas	Mijo	Rododentro
Coliflor	Pepino cohombro	Perejil	Azalea
Apio	Zanahoria	Camote	
Remolacha	Trébol blanco		
Trébol	Trébol rosado		
	Palto		
	Cítricos		

Fuente. (Mundoagro, 2022)

**Tabla 1.2**  
Relación del pH y desarrollo de patógenos

PATÓGENOS	ÓRGANOS	pH
<i>Xanthomonas spp.</i> , <i>Pseudomonas syringae</i>	Hojas, frutos semillas plantines	5 – 9
<i>Sclerotinia</i>	Tallo, raíces, hojas, frutos	3 – 4
<i>Rhizoctonia spp.</i>	Raíces, semillas	4,5 – 5,5
<i>Botrytis cinirea</i>	Tejidos verdes y fruto	4,1 – 5,9
<i>Alternaria spp.</i>	Tallos, hojas	6 – 7
<i>Verticillium so.</i>	Raíz, tallo	6 – 9
<i>Colletotrichum spp.</i>	Hojas, tallos, raíces	3 – 9.2 Conidios 5 - 6
<i>Puccinia graminis</i>	Hojas	4 – 7,5
<i>Phytophthora</i>	Raíces, tubérculos, hojas	6 – 6,5 <i>P. citrícola</i> 9 <i>P. tropicalis</i> : 5 <i>P. palmivora</i> : 4 - 6

Fuente. (Mundoagro, 2022)

- **Salinidad**

FAO, (s/f c) menciona que la salinidad consiste en la acumulación de sales solubles en el sistema del suelo, estas sales pueden proceder de la capa freática mediante ascenso capilar, esta acumulación sucede posterior a la evaporación del agua causando la acumulación de sales en la superficie, un riego inapropiado que no considere el drenaje ni la lixiviación de sales ocasionan la salinización y por consiguiente la degradación del suelo.

Lamz y González, (2013) por su parte exponen que la salinidad de suelos se está convirtiendo en un problema creciente en la agricultura, con riesgos de aumentar en los siguientes años, esta dificultad edáfica está provocando una degradación en los suelos aisladamente de los cambios en el clima, lo cual es un problema para la economía y seguridad alimentaria a nivel mundial.

**Figura 1.7**

*Suelo afectado por salinidad*



Fuente. (FAO, (s/f d)

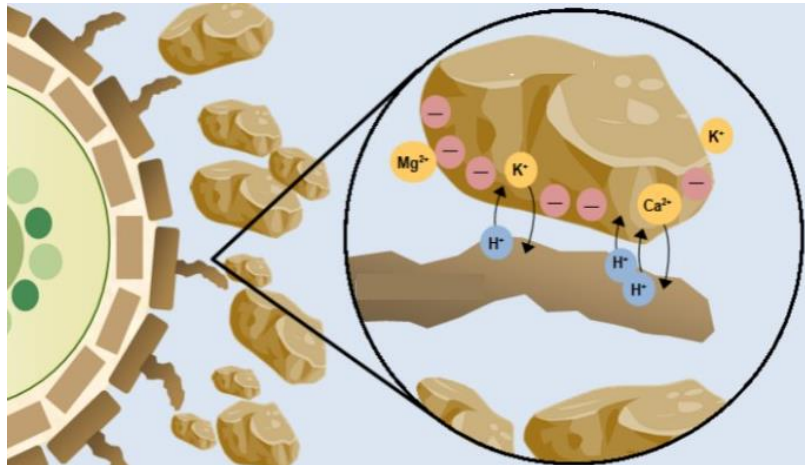
- **Capacidad del intercambio catiónico (C.I.C.)**

Acosta, (2007) expresa que la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) es el potencial de poder mantener una carga eléctrica, mientras más cantidad de partículas pequeñas (0.002 mm arcilla) contenga, mejor será su C.I.C.; esto quiere decir que, a mayor carga, mejor será su capacidad de retener cationes, los cuales son esenciales para el crecimiento y desarrollo de cultivos de interés. Este proceso sucede cuando cationes se adhieren a coloides con carga (iones) constituyendo enlaces, y que, por acción de la presencia de agua en el suelo, estos

cationes se liberan de los coloides pasando a la solución del suelo, estando disponibles para poder ser absorbidos por las plantas.

**Figura 1.8**

*Reemplazo de cationes  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$  por cationes de hidrógeno*

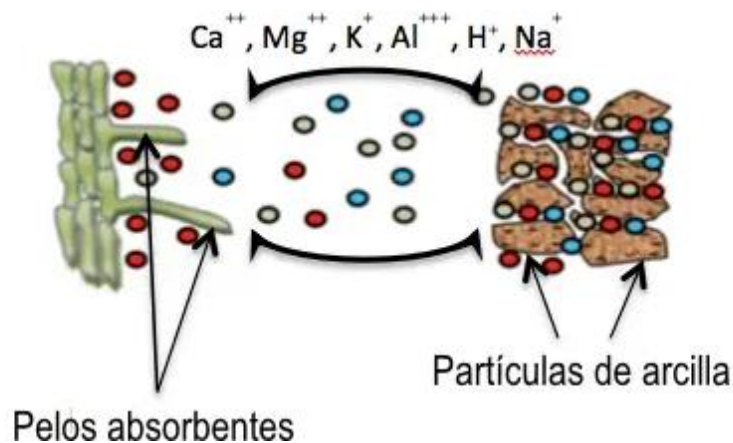


Fuente. Agronomos.org, (s/f)

FAO, (s/f c) sobre la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) expresa que es una medida de cargas negativas disponibles en las estructuras y componentes del suelo como: la arcilla, la materia orgánica (M.O.), y los coloides; el C.I.C. plasma la cantidad el total de los siguientes cationes:  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $NH_4^+$ , etc.; estos cationes son intercambiados por el ion hidrógeno  $H^+$  y otros cationes, quienes son liberados en la solución del suelo y posteriormente absorbidos por los pelos radiculares. El nivel de la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) tiene por sistema de medida a  $Cmol(+).kg^{-1}$ , lo cual es una evaluación para determinar la capacidad del suelo para retener cationes.

**Figura 1.9**

*Traslado de cationes en la solución del suelo a ser absorbidos por los pelos radiculares de la planta*



Fuente. (Agronomos.org, (s/f))

- **Carbono orgánico**

Martínez et al. (2008) expresan que el carbono orgánico está directamente relacionado con la viabilidad de los diversos sistemas agrícolas, ya que, afecta a las propiedades del suelo, el carbono orgánico está ligado a la disponibilidad y cantidad de distintos elementos como el caso del nitrógeno, como también mejorar la solubilidad de nutrientes al regular el pH, y al estar asociado con la materia orgánica, suministra coloides aumentados así el C.I.C. del suelo. La cantidad de carbono orgánico está directamente ligado a condiciones climáticas.

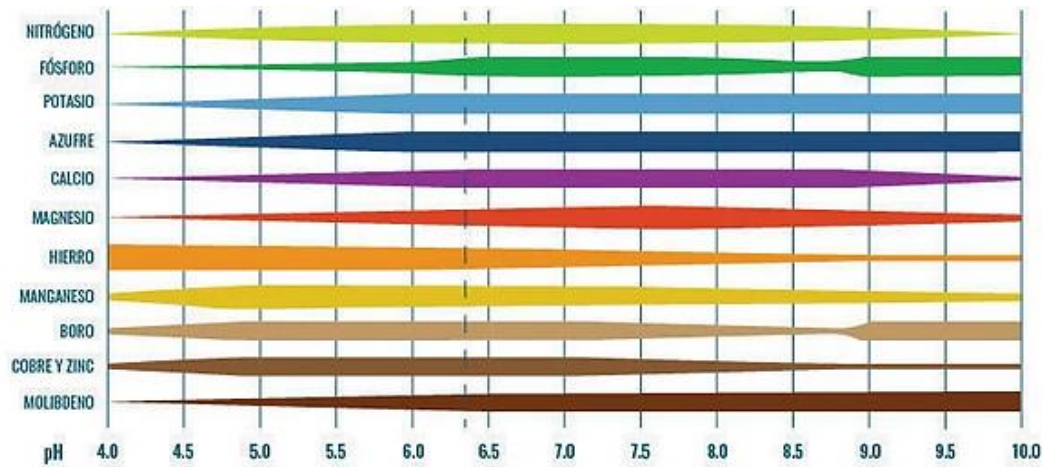
FAO, (s/f c) refieren sobre el ciclo del carbono orgánico, el cual pasa primero por la captura del carbono atmosférico por medio de la fotosíntesis, transformándose en biomasa, los microorganismos presentes en el suelo la transforman convirtiéndola en materia orgánica (M.O.), donde se descomponen o regresan a la atmosfera en forma de CO<sub>2</sub>. Esta materia orgánica (M.O.) se manifiesta en distintos grados de descomposición como: fracciones lábiles y fracciones húmicas; donde las fracciones húmicas son más estables gracias a su composición compleja formando parte de agregados y permaneciendo por periodos largos generando una mejoría en propiedades físicas aglutinando partículas, aumentando el C.I.C., aumentando la retención de humedad y como agente tampón (Buffer) regulando el pH del suelo. Concluyendo en que este ciclo del carbono tiene una importancia clave para el suelo.

- **Nutrientes disponibles**

Intagri, (2024) refiere que la disponibilidad de nutrientes en el suelo obedece primordialmente al pH de este, “como indicador principal, refleja la disponibilidad de nutrimentos en la solución del suelo. La presencia de iones como el aluminio (Al<sup>+3</sup>, Al (OH)<sup>+2</sup>), hidrógeno (H<sup>+</sup>) e hidroxilo (OH<sup>-</sup>) son cruciales, ya que determinan la solubilidad de micronutrientes como el hierro, manganeso, cobre, zinc, y de aniones como fosfatos, sulfatos y molibdatos.”, debido a la característica del pH, se pueden generar fenómenos como la precipitación, fijación de nutrientes.

**Figura 1.10**

*Relación del pH y la disponibilidad de nutrientes*



Fuente. (Zamnesia, 2022)

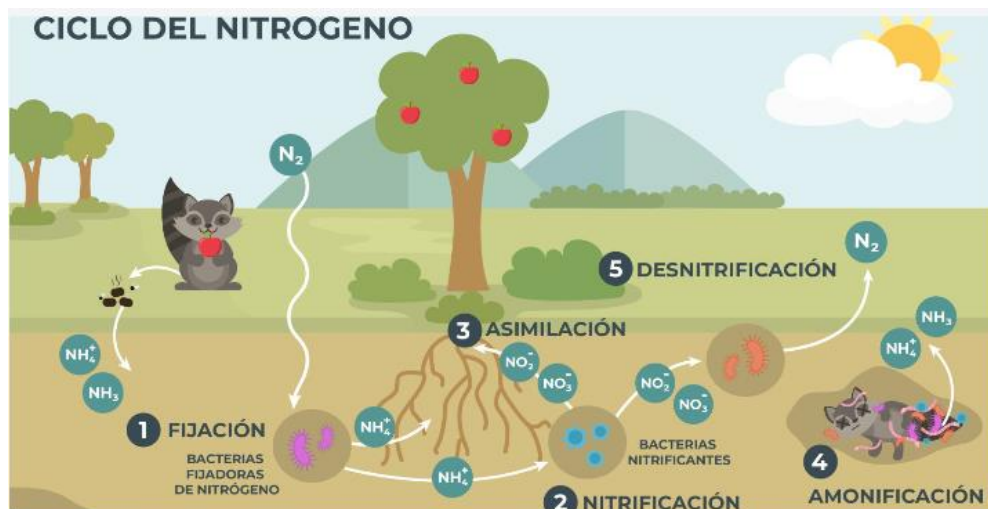
### c) Biológicas

Acosta, (2007) por su lado, menciona que las propiedades biológicas son las actividades desarrolladas por organismos que alberga el suelo, las cuales impactan directamente en su fertilidad y potencial productivo, estos organismos macro y micro está compuesto por (bacterias, hongos, actinomicetos, protozoos, algas e invertebrados); teniendo a las bacterias como el grupo más numeroso ya sean autótrofas y heterótrofas quienes algunos de ellos tienen la bondad de capturar el nitrógeno atmosférico; seguidos por los actinomicetos quienes tienen la aptitud de descomponer la materia orgánica (M.O.) ágilmente liberando nutrientes a la solución del suelo; por otra parte los hongos responsables de la descomposición de la celulosa y en algunos casos generando relaciones simbióticas; protozoos quienes se alimentan de M.O. y microorganismos; nematodos quienes actúan como parásitos, degradación de M.O. y alimentándose en algunos casos de microorganismos; macroorganismos grupo visible donde por animal representativo se tiene a la lombriz de tierra, responsables de procesar la materia orgánica degradándola y excretándola en nutrientes más disponibles para las plantas.

FAO, (s/f b) reportan sobre la propiedad biológica del suelo, al conjunto de reacciones metabólicas estrechamente ligados a la actividad microbiana y fauna del suelo. Estos organismos son importantes puesto que descomponen restos orgánicos, soltando gradualmente nutrientes y almacenando en sus estructuras para evitar la pérdida por lixiviación; las bacterias son decisivas en este ciclo, llevando a cabo los siguientes procesos:

- **Mineralización o amonificación:** definida como la transformación de nitrógeno orgánico a una forma inorgánica ( $\text{NH}_4^+$ ).
- **Nitrificación:** constituida en tres fases; iniciando la transformación oxidando el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y posteriormente la oxidación del nitrito a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).
- **Fijación de nitrógeno:** este proceso es gracias a bacterias especializadas quienes logran capturar el nitrógeno atmosférico bajo la forma ( $\text{N}_2$ ), agregándolo a su organismo y posteriormente al finalizar su ciclo de vida depositarlos en el suelo.
- **Desnitrificación:** este proceso es ejecutado por bacterias anaeróbicas donde se devuelve a la atmosfera el nitrógeno a través de la transformación de nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) a óxido de nitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}$ ) o nitrógeno molecular ( $\text{N}_2$ ).

**Figura 1.11**  
*Ciclo del nitrógeno*



Fuente. (Ondarse, 2025)

## 1.2.2 Interacción suelo – agua – planta

Gavrilescu, (2021) por su parte, refiere que el suelo es un sistema de complejo, actuando como sostén de toda la actividad biológica, proveyendo nutrientes esenciales y agua para el crecimiento y desarrollo de las plantas; lamentablemente el suelo se encuentra en un deterioro creciente a causa de su explotación desmedida, debido a que el agua y suelo son medios indispensables para el desarrollo de las plantas, la búsqueda de remediación, preservación y gestión sean volvieron en un fin imprescindible.

En opinión de Horel, (2024), la relación suelo – agua – planta parten por entender primero al suelo como parte de un sistema complejo, donde refieren que

“El agua es vital para las plantas. La cantidad de agua presente en el suelo afecta la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas y la actividad de los microorganismos del suelo, mientras que las plantas influyen en la dinámica hídrica del suelo a través de la estructura y densidad de sus raíces, sus necesidades de absorción de agua o su transpiración” (p. 1)

**Figura 1.12**

*Interacción suelo- agua-planta*



Fuente. AGRONOTIPS, (2022)

### 1.2.3 Agua edáfica

Gil, (2024) menciona que el agua es considerada a lo largo de la historia como un factor determinante en la producción de alimentos, su rol es fundamental, ya que, es un medio universal para la disolución y transporte de nutrientes, siendo además importante para que ocurran los procesos biológicos en las plantas y animales. Donde alude que la cuantificación del agua constituye un proceso para entender sus interacciones y fijar prácticas que optimicen su uso, estos cálculos son los siguientes:

#### 1.2.3.1 Humedad gravimétrica (w%) (en relación a la masa)

Es la relación entre la masa de la fracción líquida (agua o solución) y la masa de la fracción sólida (mineral, M.O.), esta relación tiene por unidad de medida al porcentaje

$$w (\%) = \left( \frac{M_t - M_s}{M_s} \right) * 100$$

Donde:  $w$  (%) = humedad gravimétrica,  $M_t$  = masa total del suelo incluyendo su humedad,  $M_s$  = masa de suelo seco.

### 1.2.3.2 Humedad volumétrica ( $\theta$ ) (en relación al volumen)

Es la relación entre el volumen de la fracción volumétrica (agua o solución) como  $V_w$  y el volumen total de la muestra del suelo  $V$ , este valor en expresado en porcentaje; es un indicador importante, ya que, nos permite determinar la lámina de agua (mm).

$$\theta (\%) = \frac{V_w}{V_t} = w * Da$$

Donde:  $\theta$  (%) = humedad volumétrica,  $V_w$  = volumen de agua,  $V_t$  = volumen total del suelo,  $w$  = humedad volumétrica,  $Da$  = densidad aparente.

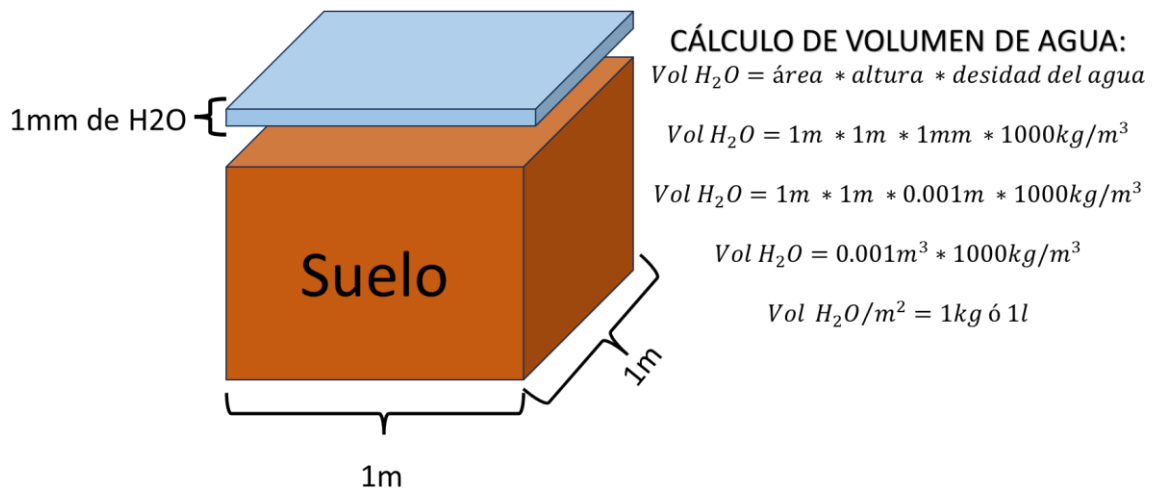
### 1.2.3.3 Lámina de agua

Es la cantidad de cuantificar el agua almacenada en el suelo en términos de altura (mm)

$$1\text{mm } H_2O = 1\text{l}/m^2 = 10\text{ m}^3/\text{ha}$$

**Figura 1.13**

*Ejemplo de cálculo de la lámina de agua*



Fuente. Elaboración propia.

Esta es una fórmula rápida para calcular la lámina de agua tanto como para la precipitación, como para el agua presente en el suelo.

#### **1.2.3.4 Balance hídrico**

Es una herramienta donde se estima el desplazamiento del agua en el suelo, tanto la entrada de agua bajo la forma de precipitación y riego; con las salidas como la evaporación, transpiración, escorrentía y drenaje en un determinado tiempo.

$$h = \theta * profundidad$$

Donde: h = altura o columna de agua.

#### **1.2.4 Tipos de agua en el suelo**

Existen 3 tipos de agua presentes en el suelo: agua gravitacional, capilar e higroscópica; las cuales se diferencian por las fuerzas que actúan sobre ellas en el suelo.

Los tipos de agua presentes en el suelo se detallan a continuación (Guy, 2020)

##### **1.2.4.1 Agua gravitacional**

Es el agua que se mueve a través del suelo por medio de la gravedad, se traslada por los macroporos y son de fácil drenaje.

##### **1.2.4.2 Agua capilar**

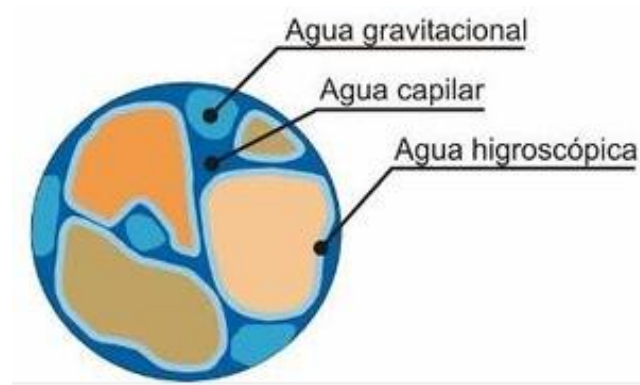
Es la porción de agua que el suelo retiene dentro de sus poros impidiendo su salida en contra de la gravedad, esta son encargadas del fenómeno de la adhesión (adherencia de moléculas a otras partículas), cohesión (tendencia de la unión entre moléculas de agua), el agua capilar en más intensa cuando la fuerza de adhesión es mayor a la cohesión; de acuerdo a estas fuerzas el agua estará disponible para las plantas, la que lo convierten en una reserva de agua en el suelo para las plantas.

##### **1.2.4.3 Agua higroscópica**

El agua higroscópica es una capa fina de agua bajo la forma de vapor, la cual, está adherida fuertemente por superficiales a las partículas del suelo. Por esta fuerza de retención el agua no está disponible para las plantas, ya que, las fuerzas de succión que necesitan las raíces son menores; en conclusión, el agua higroscópica es el agua capturada en los microporos no disponible para las plantas.

## Figura 1.14

*Tipos de agua en el suelo*



Fuente. EcuRed, (s/f)

### 1.2.5 Estados de humedad del suelo

Guy, (2020) sobre los estados de la humedad en el suelo, clasifica en 3 categorías:

#### 1.2.5.1 Saturación

Es el estado donde los poros del suelo están llenos de agua, ocasionando una saturación total, este carácter es contraproducente para las plantas, debido a que el agua desplaza a las moléculas de aire generando asfixia en el cultivo.

#### 1.2.5.2 Capacidad de campo (CC)

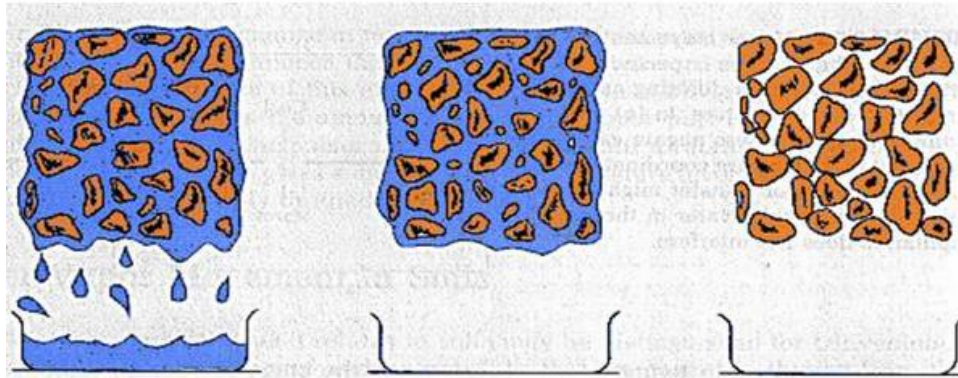
Se refiere al contenido de humedad en el suelo posterior al drenaje por gravedad del suelo saturado de agua, en estas circunstancias los poros grandes no pueden retener el agua con la fuerza gravitacional, quedando ocupadas por aire. este estado tiene la caracterizada cuando el agua es retenida a una tensión de -0.33 bares. Este estado de humedad es la condición ideal, donde el agua está disponible para la absorción radicular y presencia de aire.

#### 1.2.5.3 Punto de marchitez permanente (PMP)

Se define como el punto de contenido de agua en el cual las plantas no pueden absorberla por ser retenida fuertemente por los poros del suelo. En este estado el agua es retenida por una tensión matricial de -15 bares, posterior a esto el agua se considera como agua higroscópica, la cual no puede ser aprovechada por las plantas.

### Figura 1.15

Estados de humedad en el suelo: Saturación - Capacidad de campo - Punto de marchitez permanente; respectivamente



Fuente. (Infoagronomo, 2020)

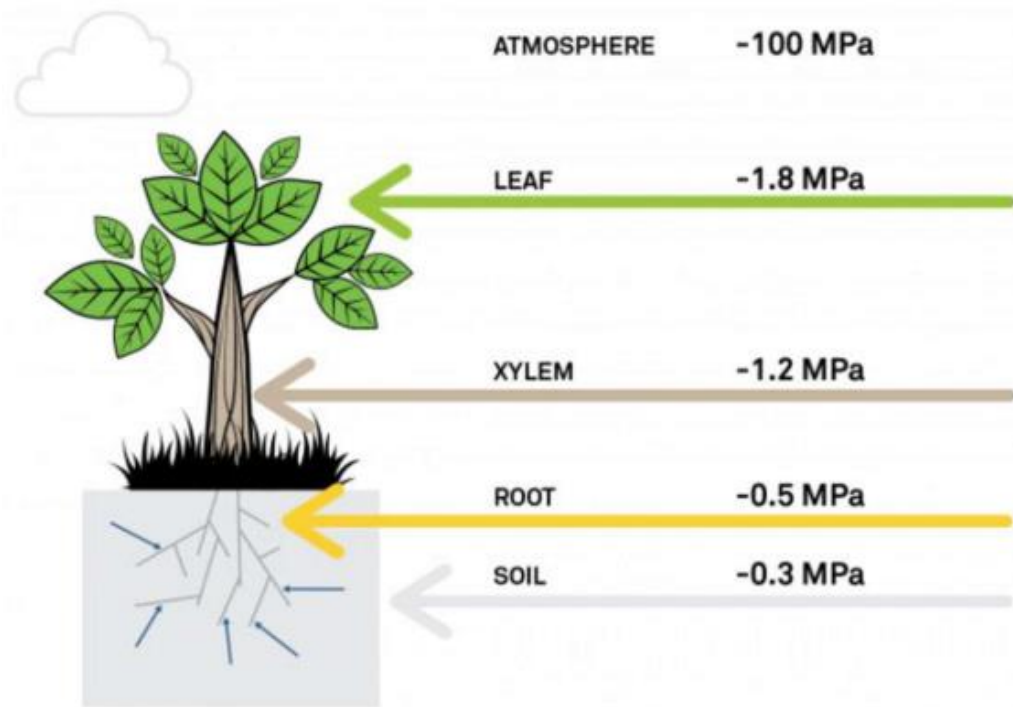
### 1.2.6 Fuerzas de retención de humedad en el suelo

La corporación Rolmako, (s/f) por su parte, expone que la capacidad de retención de la humedad en un suelo depende del equilibrio de sus fases sólidas, líquidas y gaseosas, una buena proporción (50 % sólida, 25 % líquida, 25 % gaseosa) asegura un buen desarrollo de las plantas. la retención de agua del suelo está inversamente relacionada al contenido de aire en el suelo, ya que, a más aire el suelo retiene menos cantidad de agua; por otro lado, la textura también es fundamental para la retención de agua, las partículas pequeñas como el limo y arcilla pueden almacenar mayor cantidad de agua, en cambio una textura arenosa por sus macroporos hace que el agua se pierda por escurrimiento.

#### 1.2.6.1 Potencial gravitacional ( $\Psi_g$ )

Ha et al., (2022) mencionan que es un parámetro que siempre es negativo o cero en plantas sin altura, se refiere al agua gravitacional que se desplaza hasta el nivel del suelo, habiendo una diferencia entre la parte superior de las plantas y sus raíces. Mientras más alta sea la planta, más alta también es la columna de agua y se intensifica el potencial gravitacional ( $\Psi_g$ ).

**Figura 1.16**  
Gradiente de potencial hídrico



Fuente. (Meter, 2023)

### 1.2.6.2 Potencial de presión ( $\Psi_p$ )

Ha et al. (2022) refieren que el potencial de presión también conocido como potencial de turgencia puede tomar valores de positivos a negativos, ya que es una forma de energía, el incremento en la presión aumenta la energía potencial total ( $\Psi_p$  total); por lo cual, la presión ( $\Psi_p$  positiva) aumenta, y la compresión ( $\Psi_p$  negativa) disminuye al potencial de presión total ( $\Psi_p$  total). “Conceptualizando el movimiento del agua a través de una membrana, la aplicación de presión positiva en un lado eleva el ( $\Psi_p$ ) en ese lado, causando que el agua se mueva hacia donde la presión es menor. De forma opuesta, la aplicación de presión negativa disminuye el ( $\Psi_p$ ), atrayendo el agua hacia el lado de la tensión.”

### 1.2.6.3 Potencial mátrico ( $\Psi_m$ )

Ha et al. (2022) mencionan que el potencial mátrico ( $\Psi_m$ ) oscila entre valores negativos a cero, siendo el valor cero cuando el suelo está totalmente saturado de agua; por el contrario, en condiciones de sequía sus valores van a valores negativos. El concepto del potencial mátrico ( $\Psi_m$ ) consiste cuando la unión del agua a una matriz, consumen o reducen la energía potencial

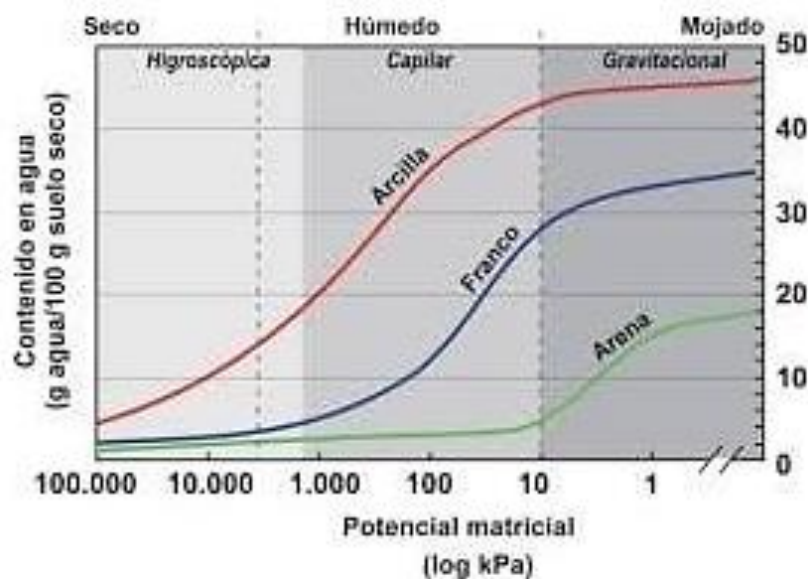
del sistema. El ( $\Psi_m$ ) es alto (valores negativos) cuando se evalúa en tejidos secos o suelos áridos o semiáridos.

#### 1.2.6.4 Potencial de solutos ( $\Psi_s$ ) o potencial osmótico ( $\Psi_o$ )

Por su parte, Ha et al. (2022), sobre el ( $\Psi_s$ ) menciona que es un componente de valor negativo en las células vegetales (con valores normales entre 0.5 a 1.0 MPa para el citoplasma) y cero en el agua destilada. Este potencial reduce el potencial hídrico total ( $\Psi_{total}$ ) debido a que los solutos consumen energía potencial disponible en el agua, la cual se "sujeta" en los enlaces de hidrógeno que se forman entre las moléculas de soluto y el agua, no dejándola disponible para ser parte de procesos tanto en el suelo como en la planta. Por esta razón el ( $\Psi_s$ ) disminuye a medida que la concentración de soluto aumenta. Dado que el ( $\Psi_s$ ) es un componente del ( $\Psi_{total}$ ), su disminución provoca una disminución del potencial hídrico total, lo que, como principio osmótico, hace que el agua se mueva hacia donde hay mayor concentración de solutos.

**Figura 1.17**

*Curva de retención de humedad en arena - limo - arcilla*



Fuente. (LabFerrer, 2015)

#### 1.2.7 Granulometría

El grupo Analitiks, (s/f) sobre la granulometría refiere como la distribución y segregación del tamaño de partículas que forman parte de un material (separación por tamaño). El análisis granulométrico es el proceso para ordenar partículas según su tamaño. Esta es una

práctica usual en materiales granulares y/o irregulares, con la finalidad de identificar sus propiedades físicas.

**Figura 1.18**

*Instrumento para medición de la granulometría (tamiz granulométrico)*



Fuente. (Estudios Geotécnicos, 2013)

### 1.2.8 Retenedores de humedad edáfica

Rey, (2022) publicó un estudio donde señalan a los retenedores de humedad como macromoléculas especializadas utilizados para capturar, almacenar y liberar gradualmente al agua presente en el suelo evitando así el estrés hídrico en los cultivos. Su mecanismo de funcionamiento se basa en evitar la evaporación superficial y mantener un nivel óptimo de humedad en los horizontes de interés.

Según Sosa Pérez et al. (2021) “el uso de polímeros retenedores de humedad es una técnica que se ha utilizado para incrementar la supervivencia en plantaciones de restauración forestal” (p. 55)

Robinson, (2025) es la capacidad de materiales diversos de retener agua y dejarlas disponibles para la absorción por los pelos radiculares de la planta, esta acción es importante para el crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas, reducir el intervalo de riegos y sostener una constante disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas, especialmente en épocas secas.

Estos materiales pueden ser:

- Materia orgánica.
- Hidrogeles.
- Acolchado.
- Aditivos.
- Minerales.

### 1.2.9 Diatomita

El grupo Alimac, (2020) realizó una publicación donde expresa que, la diatomita forma parte del grupo de rocas sedimentarias de sílice de grano fino, conformada naturalmente por frústulas (estructura de sílice poroso que forman parte de las algas unicelulares “diatomeas”). Estas algas al culminar su ciclo de vida se acumulan a las largo del tiempo formando a la diatomita, la cual, químicamente se formar de sílice amorfo (ópalo “óxido de silicio no cristalino”); la diatomita tiene la característica de presentar una alta porosidad, baja densidad, ser usado para enmiendas y en este caso para retener la humedad en los suelos.

**Figura 1.19**  
*Diatomita molida*



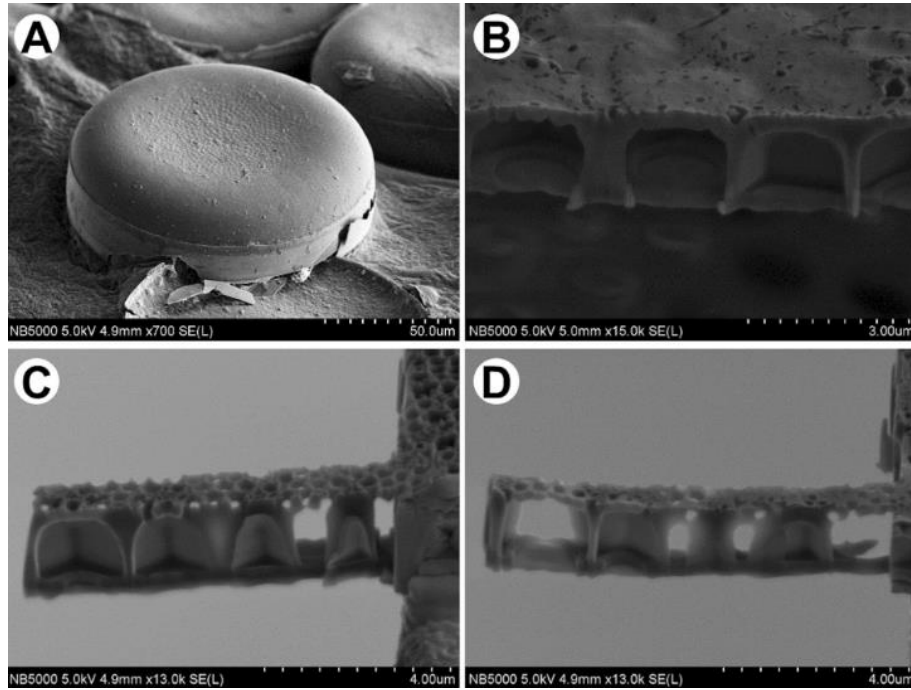
Fuente. (Alimac, 2020)

#### 1.2.9.1 Origen

- **Frústulas**

Spaulding et al. (2021) menciona que la frústula es la silíceo y externa de la pared celular de las algas diatomeas, frústula etimológicamente significa “diminuto tamaño”; estas estructuras están compuestas de dos valvas superpuestas y unidas por fajas de sílice. Estas algas varían de acuerdo a la zona geográfica de donde la encuentran.

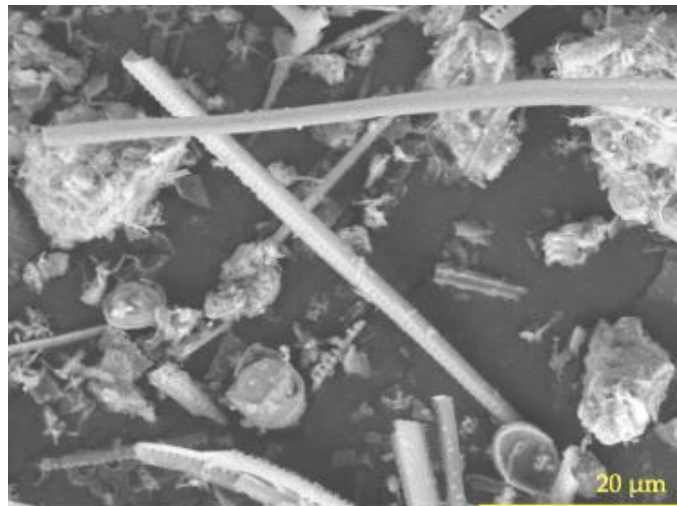
**Figura 1.20**  
*Vista microscópica de la frústula*



Fuente. (Zgłobicka et al., 2021)

- **Especie de frústulos de diatomeas en Perú (*Thalassionema nitzschioides*)**

**Figura 1.21**  
*Especie de frústula de origen peruano - Ica (*Thalassionema nitzschioides*)*



Fuente. (Zuluaga et al., 2023)

### **Figura 1.22**

*Vista microscópica de frústulas con interacción con arcilla*



**Fuente.** (Zuluaga et al., 2023)

Estas estructuras son alargadas y largas, donde estructuralmente presentan menor resistencia frente a acciones mecánicas.

#### **1.2.9.2 Características**

Según Alimac, (2020) la diatomita tiene las siguientes características:

- El color por lo regular es blanco, aunque pueden estar coloreadas.
- Baja densidad.
- Alta porosidad.
- Dureza (Mohs) 1,5 a 2.
- Capacidad abrasiva suave.
- Conductividad térmica muy baja.
- Alta resistencia a la temperatura.
- Área superficial 10 a 30 m<sup>2</sup> / g (la calcinación la reduce a 0,5 a 5 m<sup>2</sup> / g).
- Índice de refracción 1,40 a 1,46 (la calcinación la incrementa a 1,49).
- Químicamente inerte.

#### **1.2.9.3 Comportamientos edáficos**

- **Fertilizante**

En la investigación de Moreira et al. (2022) “concluyen que la aplicación de diatomita en semillas de nabo mejoran significativamente en los parámetros de crecimiento de dicha planta (rendimiento, altura de hojas anchi y longitud de hoja, número de hojas y altura de plantas)” (p. 309).

- **Retenedor**

Al ser la diatomita una roca sedimentaria de origen de la acumulación constante de diatomeas, presenta una elevada porosidad (superior al 80%) y superficie específica (Cerdeza Gómez, 2019, p. 91).

En la publicación de Arciniegas, (2020), la diatomita se forma a partir de la fosilización de generaciones de diatomeas (algas unicelulares) con pared celular constituida por dióxido de silicio hidratado. Su índice de retención de humedad es muy alto, llegando a valores de 250 %, la cual, la convierte en una fuente importante de retención de humedad en el suelo.

#### **1.2.9.4 Importancia**

- **Ventajas:** fácil obtención, bajos precios, aporte de nutrientes para las plantas, retención de humedad, control de plagas.
- **Desventajas:** aumento en el pH del suelo, fragilidad riesgo de inhalación.

#### **1.2.10 Zeolita**

“Las zeolitas naturales presentan como características relevantes, una estructura de microporos que le confiere propiedades adsorbentes y una gran capacidad de intercambio catiónico debido a un desequilibrio de cargas que es función de la relación Si y Al.” (Curi et al., 2006)

##### **1.2.10.1 Origen**

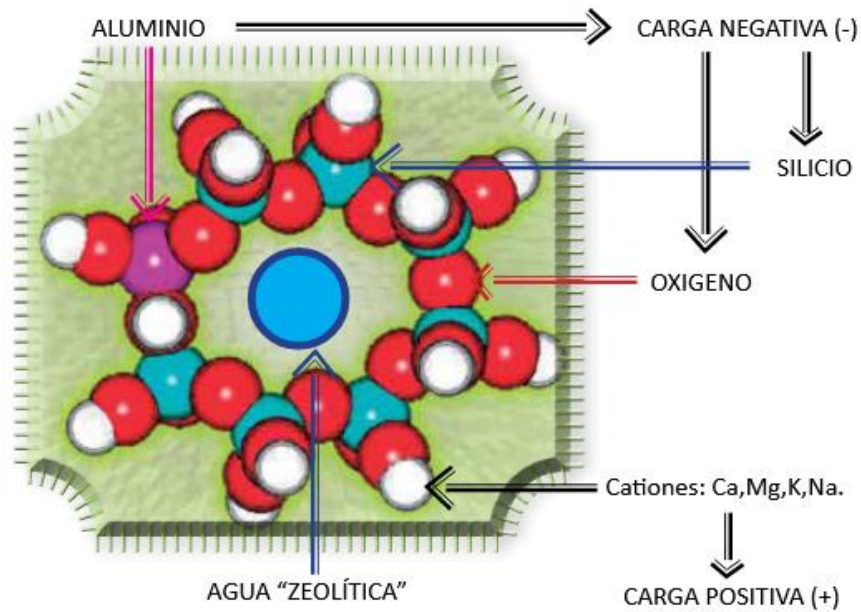
La zeolita es un grupo de minerales cristalinos que tienen una estructura porosa. Esta estructura porosa les permite adsorber y retener agua, así como otros gases y moléculas. La zeolita se encuentra naturalmente en la tierra y también se puede producir artificialmente (Obregón-Portocarrero et al., 2016).

##### **1.2.10.2 Propiedades**

Montoya-Jasso et al. (2021) señala que:

Las zeolitas tienen dos propiedades en las que se fundamenta su potencial de uso agronómico: 1) alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 200 a 300 cmol z+ kg<sup>-1</sup> debido a la sustitución de Al<sup>3+</sup> y de Si<sup>4+</sup> durante su formación; 2) canales internos dentro de la estructura tridimensional (3 - D) que les permite alta capacidad de retención de agua e intercambio de cationes. (p.13)

**Figura 1.23**  
*Estructura de una zeolita*



Fuente. (Montoya-Jasso et al., 2021)

### 1.2.10.3 Comportamiento edáfico

- **Uso de la zeolita en la agricultura**

Montoya-Jasso et al. (2021) expone que, el uso de la zeolita data desde los años 60 como mejoradores de la calidad del suelo, aditivos para fertilizantes y material retenedor de nutrientes de lenta liberación; es por eso que este mineral solido microporoso es muy eficiente en la capacidad de retención de agua y como intercambiadores catiónicos.

### 1.2.10.4 Granulometría

La granulometría de la zeolita se refiere al tamaño de sus partículas. Las zeolitas pueden tener una variedad de tamaños de partículas, desde muy finas hasta muy gruesas. El tamaño de las partículas de zeolita afecta su capacidad de adsorber y retener agua. Las zeolitas con partículas finas tienen una mayor superficie de área que las zeolitas con partículas gruesas. Esto significa

que las zeolitas con partículas finas pueden adsorber y retener más agua que las zeolitas con partículas gruesas (Soca et al., 2016a).

### Figura 1.24

Tamaño de partículas en la zeolita (0.3mm; 0.6mm; 1mm; 2mm)



Fuente. Propia

#### 1.2.10.5 Importancia

- **Ventajas:** mejora la retención de agua, aumentar la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), regulador de pH, acondicionador de características físicas del suelo, adsorbente de contaminantes (remediador ambiental).
- **Desventajas:** costo elevado, necesidad granulométrica deseada, saturación de cationes no deseados.

### 1.3 Metodologías de Evaluación de la Retención de Humedad

La revisión de Tello et al. (2015) expone, dos métodos de evaluación de retención de humedad:

#### 1.3.1 Test Methods for the Examination of Composting and Compost (TMECC)

Es un método que se realiza de la siguiente manera: a un recipiente de volumen conocido (con agujeros tapados con cinta para evitar salidas de agua) se le añade cierta cantidad de compost, posterior a eso se le incorpora agua desionizada de manera lenta hasta el punto de forma un espejo de agua y se tapa de Parafilm para evitar evaporación, pasado 5 minutos se anota el volumen de agua utilizado para la saturación, posterior se retira la cinta y deja caer por gravedad el agua con una rejilla a un envase y se devuelve nuevamente al recipiente para “volver a saturar” haciéndolo usualmente 3 veces, después de este proceso se liberan los agujeros y se dejan drenar por aproximadamente 4 horas (tiempo para aparentar la capacidad de campo CC)

anotando el volumen de agua drenada; finalmente se pesa el recipiente con compost saturado, se resta el peso del recipiente con compost para así obtener el peso del agua saturada.

- Determinación del peso seco a la estufa de la muestra.
- Modificación del recipiente de volumen conocido (hacer y tapar con cinta a los agujeros del recipiente).
- Llenado de composto al recipiente.
- Peso del sistema (recipiente más compost).
- Saturación del sistema con agua desionizada.
- Estimación del espacio poroso.
- Cálculo de agua saturada.

### **1.3.2 Método del Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la Universidad La Molina**

Es el método se basa en construir un sistema de drenaje con embudo, manguera y llave; seguidamente se pesa 500g de compost triturado; se añade agua destilada hasta el punto de generar un sobrenadante y se deja así durante una semana asegurándose que el compost se haya hidratado completamente; posterior se abre las llaves y se deja drenar por 24 horas; se toma una porción del compost para calcular su contenido de humedad (% de retención de agua).

$$\text{Humedad (\%)} = \left( \frac{(\text{peso de material humedo} - \text{peso material seco a estufa})}{\text{peso material seco a estufa}} \right) * 100$$

### **1.3.3 Método específico utilizado en la investigación: índice Reas, desarrollada por el Área de Suelos en la Escuela Profesional de Agronomía de la UNSCH. Reas**

Es el método que se basa en evaluar la variación de la evaporación de la humedad del suelo con un material retenedor frente a un tratamiento testigo; este método tiene los siguientes pasos:

- a) Seleccionar baldes (evaporímetros de balanza), y medir su diámetro, altura y peso de balde y rotular de acuerdo a sus tratamiento y repetición (incluyendo al tratamiento testigo); para obtener el área del tanque evaporímetro.
- b) Seleccionar el suelo deseado y tamizarlo por una malla de 4mm.

- c) Secar la muestra de suelo por 3 días, remover cada día para generar la uniformidad en el secado y pesar 3.5kg a cada U.E. e incorporar a los evaporímetros de balanza (peso del sistema).
- d) Añadir el material a evaluar (retenedor de humedad) en los primeros 5cm de la superficie del suelo.
- e) Incorporar agua reposada a medida del 38% del peso del suelo (1330ml) y colocar en la zona a evaluar, la cual debe tener las siguientes características (todos los tratamientos deben recibir la misma intensidad de luminosidad y energía lumínica, evitar sombras que eviten su evaporación correcta, disposición de los baldes con orientación sur - norte "con el objetivo de que los tratamientos reciban la mayor cantidad y mismas horas luz").
- f) Evaluar la reducción de peso cada 24horas exactamente y registrarlas hasta el día que la diferencia de reducción de pesos entre los tratamientos no sea tan lejanos.

**Evaluación del índice Reas:**

- g) Ya teniendo los datos se procede a calcular cada uno de los tratamientos vs el testigo con la siguiente operación:  $\text{Reas (\%)} = ((\text{evaporación en testigo} - \text{evaporación en tratamiento}) / \text{evaporación en testigo}) * 100$  para así sacar en porcentaje
- h) Con estos datos se obtiene la reducción de la pérdida de humedad que tuvieron cada uno de los tratamientos.

## II. CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

#### 2.1 Condiciones

##### 2.1.1 Ubicación

El trabajo de investigación se ejecutó en un domicilio en la asociación los vencedores Mz. D Lt. 3, ubicado en la zona de artesanos en el distrito Ayacucho, provincia Huamanga, departamento Ayacucho; 2801 m.s.n.m.; con las características geográficas:

Según la clasificación bioclimática (Holdridge, 1982), el lugar corresponde a un bosque seco montano bajo sub tropical (bsMBS) caracterizado como una región semiárida. La flora más representativa de esta zona, son:

Flora:

- Cabuya (*Agave spp*)
- Tuna (*Opuntia ficus*)
- Molle (*Schinus molle*)
- Huarango (*Acacia macratantha*)
- Tara (*Caesalpinia spinosa*)
- Variedad de pastos naturales, y otros.

**Tabla 2.1**

*Datos geográficos de la localización del experimento*

Departamento	Ayacucho
Provincia	Huamanga
Distrito	Ayacucho
Sector	Artesanos
Latitud	Sur 13°08'17.80''
Longitud	Oeste 74°13'48.96''
Altitud	2.801 m.s.n.m.

**Figura 2.1**

*Ubicación geográfica del experimento*



## Figura 2.2

Vista satelital del lugar del experimento



Nota. Imagen obtenida de Google Earth Pro

### 2.1.2 Características climáticas

La zona de Artesanos está en el distrito de Ayacucho, cual es catalogada como una zona valle entre montañas con una media de lluvia de 560 mm / año. Recalcando la ausencia de lluvias de mayo a setiembre; descenso de temperaturas en los meses junio, julio y agosto; y la presencia de lluvias inicia en el mes de octubre, finalizando regularmente en el mes de marzo.

### 2.1.3 Características del suelo

Para el experimento, la muestra de suelo evaluada se colectó en Pampa del Arco (alrededores de los pabellones de la Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga - UNSCH), distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho; siendo la muestra superficial colectada de los primeros 20 cm de profundidad. La cualidad del terreno en pendiente, se caracteriza por ser variable, componiéndose de zonas completamente planas a otras con pendientes suaves.

**Tabla 2.2***Resultados del análisis de caracterización del suelo de Pampa del Arco*

Nro.	Parámetro	Resultado	Unidad	Clasificación
1	pH (1:1)	7.85	Unidad pH	Moderadamente alcalino
2	Conductividad (1:1)	1.23	dS.m. <sup>-1</sup>	No salino
3	Carbonatos	6.96	%	Medio
4	Materia orgánica	1.74	%	Bajo
5	Fósforo disponible	12.48	ppm	Medio
6	Potasio disponible	340	ppm	Muy alto
7	Nitrógeno total	0.09	%	Bajo
8	C.I.C.	26.29	Cmol (+) kg <sup>-1</sup>	Alto
9	Ca <sup>++</sup>	19.01	Cmol (+) kg <sup>-1</sup>	Alto
10	Mg <sup>++</sup>	4.33	Cmol (+) kg <sup>-1</sup>	Alto
11	K <sup>+</sup>	2.58	Cmol (+) kg <sup>-1</sup>	Muy alto
12	Na <sup>+</sup>	0.36	Cmol (+) kg <sup>-1</sup>	Bajo
13	Al <sup>+2</sup> + H <sup>+</sup>	0.00	Cmol (+) kg <sup>-1</sup>	Muy bajo
14	Saturación de bases	100	%	Alto
Clase textural				
Arena	%	63	Clase	Fr. A. Franco arenoso
Limo	%	19		
Arcilla	%	18		
Relaciones catiónicas				
Parámetro	Resultado	Valoración		
Ca / K	7.37	Deficiencia de calcio		
Ca / Mg	4.39	Deficiencia de calcio		
Mg / K	1.68	Deficiencia de magnesio		
(Ca + Mg / K) / Al	-	-		

**Nota.** Análisis realizado a través del laboratorio de suelo, plantas, aguas y fertilizantes MULTISERVICIOS AGROLAB.

### 2.1.3.1 Interpretación del análisis de suelo:

Dándose el caso de un suelo Franco arenoso, presenta las siguientes notas descriptivas:

- **Textura Gruesa y Drenaje Rápido:** El suelo es principalmente de clase Franco Arenoso (63 % arena, 19 % limo y 18 % arcilla), lo que indica una textura gruesa. Esto significa que el agua drena ligeramente rápido, lo cual es bueno para evitar el encharcamiento, pero puede requerir riego frecuente y hace que los nutrientes se laven con facilidad.
- **Suelo Alcalino:** Con un pH de 7.85, el suelo es moderadamente alcalino. Este pH puede hacer que ciertos micronutrientes no estén tan disponibles para las plantas, limitando su absorción a pesar de que el nutriente esté presente en el suelo.
- **Fertilidad Natural Alta, Potasio Excelente:** El suelo tiene una Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.) Alta (26.29 Cmol (+) kg<sup>-1</sup>) y niveles de Potasio (K) Muy Altos. Esto

sugiere una buena capacidad natural para retener nutrientes (en general) y una excelente reserva de Potasio, vital para la resistencia a enfermedades y la calidad de los frutos.

- Deficiencia de materia orgánica y nitrógeno: Los niveles de materia orgánica (1.74 %) y nitrógeno (0.09 %) son bajos. Esto es una limitación clave, ya que la materia orgánica es crucial para la estructura del suelo, la retención de agua y la liberación gradual de nitrógeno, el nutriente esencial para el crecimiento vegetativo.
- Fósforo en rango medio: El fósforo disponible (12.48 ppm) se encuentra en un nivel medio. Este nutriente es adecuado para muchas etapas de crecimiento, pero podría necesitar un suplemento en momentos clave de floración o establecimiento de la planta.
- Problemas catiónicos y nutricionales: Las relaciones catiónicas indican una deficiencia de calcio (Ca) y magnesio (Mg) en relación con el potasio (K). Aunque el calcio y el Magnesio están presentes a niveles clasificados como "Altos" en la tabla, las proporciones Ca/K (7.37) y Mg/K (1.68) sugieren un desequilibrio. Este desbalance puede afectar la correcta absorción de calcio y magnesio por parte de la planta, provocando problemas nutricionales visibles.
- Ausencia de salinidad y toxicidad por aluminio: El suelo presenta una conductividad eléctrica no salina ( $1.23 \text{ dS m}^{-1}$ ) y no hay presencia de aluminio intercambiable.

## **2.2 Variables**

### **2.2.1 Variables independientes**

Retenedores de humedad:

- Diatomita
- Zeolita

### **2.2.2 Variables dependientes**

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

**Tabla 2.3***Variable, dimensión e indicador*

<b>Variable</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>
<b>Variables independientes (granulometría)</b>		
Diatomita	2000 $\mu\text{m}$	0.5 t ha <sup>-1</sup>
Diatomita	1000 $\mu\text{m}$	0.5 t ha <sup>-1</sup>
Diatomita	600 $\mu\text{m}$	0.5 t ha <sup>-1</sup>
Diatomita	300 $\mu\text{m}$	0.5 t ha <sup>-1</sup>
Zeolita	2000 $\mu\text{m}$	0.5 t ha <sup>-1</sup>
Zeolita	1000 $\mu\text{m}$	0.5 t ha <sup>-1</sup>
Zeolita	600 $\mu\text{m}$	0.5 t ha <sup>-1</sup>
Zeolita	300 $\mu\text{m}$	0.5 t ha <sup>-1</sup>
<b>Variables dependientes</b>		
Evaporación del agua del suelo	Altura	mm / día
Índice REAS	Porcentaje	%

## 2.3 Procedimiento

### 2.3.1 Fase 1: Preparación de muestras de unidades experimentales

#### a) Molienda, tamizado y selección de diatomita y zeolita

Se molió pequeños bloques de diatomita recolectados de la zona de Quicapata, posteriormente el material pasó por una serie de tamices de tamaño (2000, 1000, 600 y 300  $\mu\text{m}$ ) para clasificarlos según su tamaño; la diatomita se caracteriza por tener un 80 % de SiO<sub>2</sub> y una capacidad de retención de humedad del 45 %. Este proceso se replicó para la Zeolita de marca "ZeoSant" (de origen ecuatoriano), la cual es una mezcla de Clinoptilolita y Heulandita. Para su aplicación, se midieron 1.5 g por U.E., equivalente a una dosis de 0.5 t ha<sup>-1</sup>. El material se mezcló directamente en los cinco centímetros superficiales del suelo de cada U.E. y se distribuyeron por toda la capa superficial para mejorar la homogeneidad.

#### b) Acondicionamiento de los evaporímetros de balanza

Se seleccionan las U.E. (evaporímetros de balanza o lisímetros). Se mide y registra su diámetro, altura y peso inicial del evaporímetro de balanza. Estos datos permiten calcular el área

superficial de evaporación de cada U.E., cada unidad se rotula según su tratamiento (nueve tratamientos incluido el testigo) y repetición (tres por cada tratamiento).

**c) Homogenización del suelo**

Se colectó una muestra de 150 kg de suelo de los primeros 20 cm de profundidad de los alrededores de la Escuela Profesional de Agronomía de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, el suelo colectado se sometió a tamizado utilizando una malla de 4mm para estandarizar la granulometría, eliminar raíces y residuos gruesos.

**d) Secado del suelo y pesado del sistema**

El suelo tamizado se somete a secado al aire por un periodo de 3 días para alcanzar la humedad mínima, asegurando una uniformidad gravimétrica. Se pesan 3.5 kg de suelo seco y se incorporan a los evaporímetros de balanza. Se registra el peso inicial del sistema (peso de tanque evaporímetro + peso del suelo).

**2.3.2 Fase 2: Aplicación del material retenedor e hidratación**

**e) Aplicación del material retenedor de humedad**

Se incorporó (1.5 g / U.E.) de material retenedor a evaluar y se homogenizó en la capa superficial del suelo, en los primeros 5 cm.

**f) Hidratación y disposición de los evaporímetros de balanza**

Se añadió agua reposada en una proporción del 38 % del peso del suelo (siendo este caso 1330 ml es el 38 % del peso total del suelo). El agua se incorporó de manera lenta y colocando una placa plana para evitar la remoción del suelo en la superficie de los evaporímetros. Los evaporímetros de balanza se colocan en el área de evaluación bajo condiciones controladas para garantizar que todos los tratamientos reciban la misma intensidad y energía lumínica (sin sombras, con orientación preferente Sur - Norte para la máxima exposición uniforme).

**2.3.3 Fase 3: Obtención de datos y cálculos**

### **g) Monitoreo de datos**

Se procede al monitoreo gravimétrico de los evaporímetros de balanza. El control y registro de datos se realizó con una periodicidad estricta de 24 horas, dándose el día de instalación (día 0) el 22 de agosto del 2025 y por último día de registro (día 10) el 01 de setiembre del 2025. El monitoreo se mantiene hasta que la tasa de reducción de peso entre el tratamiento y el testigo sea estadísticamente insignificante.

### **h) Cálculo de la lámina de agua**

Es una operación de fácil operatividad donde por medio del diferencial de peso de la pérdida diaria (ml o  $\text{cm}^3$ ) se divide con el área calculada de cada U.E. ( $\text{cm}^2$ ), obteniendo la altura de la lámina del agua ( $L_a$ ) en cm; y para obtener en mm se convierte a través de la multiplicación por diez como se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$L_a \text{ (mm)} = \left( \frac{\text{evaporación (cm}^3\text{)}}{\text{área de la U. E. (cm}^2\text{)}} \right) * 10$$

### **i) Cálculo del índice REAS**

Una vez obtenidos los datos, se calcula el Índice de Reducción de Evaporación del Agua del Suelo (REAS) en porcentaje, comparando la evaporación acumulada del tratamiento versus el testigo, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Índice REAS (\%)} = \left( \frac{\text{evaporación testigo} - \text{evaporación en tratamiento}}{\text{evaporación en testigo}} \right) * 100$$

### **j) Interpretación de datos**

El valor de la lámina de agua indica los mm de agua perdidos sobre una superficie (siendo  $1\text{mm} = 10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), dándonos a conocer la diferencia de cada tratamiento con diferente retenedor de humedad frente al testigo.

El valor REAS representa la eficiencia porcentual del tratamiento en la reducción de la evaporación del agua de suelo en comparación con el tratamiento.

## **2.4 Medición de la variable dependiente y cálculo de la Reas**

### **2.4.1 Evaporación del agua de suelo**

Para determinar cuánta agua se perdió por evaporación, se utilizó el método de la gravimetría. El procedimiento consistió en pesar cada Unidad Experimental todos los días en intervalos de 24 horas en hora fija (6:00 am) durante un periodo de diez días. La diferencia que se registró entre dos pesajes consecutivos es, por consecuencia, la masa de agua que se evaporó (en gramos), lo cual es equivalente a un volumen (en mililitros). Finalmente, para calcular la lámina de agua evaporada (expresada en milímetros) durante ese lapso de un día, simplemente se dividió la masa de agua medida (el volumen) entre la superficie del evaporímetro correspondiente a cada uno de los tratamientos.

### **2.4.2 Índice REAS**

Para determinar la eficiencia del retenedor en la reducción de la evaporación del agua del suelo respecto al testigo, se hicieron cálculos matemáticos con la siguiente fórmula:

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

## **2.5 Población y muestra**

La población evaluada en este estudio es el suelo que se tomó de un lugar característico dentro del campus universitario de la UNSCH, Escuela Profesional de Agronomía, concretamente de la zona de Pampa del Arco. Para la muestra se extrajeron unos 150 kg de tierra superficial (a unos 20 cm de profundidad). Posteriormente, esta tierra se tamizó con una malla de 4 mm, para luego ser repartidas en las unidades experimentales. En cuanto a sus características, el suelo

tiene una granulometría moderadamente fina y textura franco arenosa. Está compuesto por un 63 % de arena, 19 % de limo y un 18 % de arcilla.

## 2.6 Materiales y equipos

Los materiales y equipos clave que se usó en el experimento se detallan a continuación en la tabla 2.4. Además, hay imágenes de apoyo en el anexo fotográfico.

**Tabla 2.4**

*Lista de materiales y equipos*

<b>Materiales / insumos</b>	<b>Equipos</b>
	Malla de 4 mm
Suelo agrícola	Baldes plásticos de 4 kg
	Pico
Diatomita desmenuzada	Pala
	Tamiz de (2000, 1000, 600 y 300 $\mu\text{m}$ )
Zeolita comercial en polvo	Balanza gramera de capacidad de 5 kg
	Probetas de 200 ml, 100 ml y 50 ml
Lapicero	Etiquetas / marcadores
	Regla
Libreta de apuntes	Laptop

## 2.7 Diseño experimental

Para organizar y analizar los datos se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA). El experimento incluyó un total de ocho tratamientos con retenedores de humedad: T1: diatomita 2000  $\mu\text{m}$ ; T2: diatomita 1000  $\mu\text{m}$ ; T3: diatomita 600  $\mu\text{m}$ ; T4: diatomita 300  $\mu\text{m}$ ; T5: zeolita 2000  $\mu\text{m}$ ; T6: zeolita 1000  $\mu\text{m}$ ; T7: zeolita 600  $\mu\text{m}$  y T8: zeolita 300  $\mu\text{m}$ . Además, se incluyó un testigo (que no llevaba ningún retenedor). Cada uno de estos nueve tratamientos se probó

con tres repeticiones. El modelo empleado para el análisis estadístico de este diseño es el Modelo Aditivo Lineal (MAL), que se representa así:

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

**Donde:**

$Y_{ij}$  = es la observación del valor de evaporación o pérdida de peso que se anotó en la libreta de apuntes para un balde específico (la  $i$ -ésima unidad de tratamiento y la  $j$ -ésima repetición).

$\mu$  = es el promedio general de la evaporación de todos los baldes por tratamiento en el experimento, como un punto de referencia.

$\tau_i$  = es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.

$\varepsilon_{ij}$  = es el error experimental.

$i$  = oscila de 1, 2, 3, ...,  $t$  (tratamientos)

$j$  = oscila de 1, 2, 3, ...,  $r$  (repeticiones)

$t$  = es el número de tratamientos (8)

$r$  = es el número de repeticiones (3)

## 2.8 Descripción de tratamientos

- **T0: testigo:** Se basó solamente en la utilización de la muestra de suelo de Pampa del Arco, donde no se incorporó ningún retenedor de humedad.
- **T1: diatomita 2000  $\mu\text{m}$ :** Consistió en el uso de diatomita de granulometría de 2 mm.
- **T2: diatomita 1000  $\mu\text{m}$ :** Consistió en el uso de diatomita de granulometría de 1 mm.
- **T3: diatomita 600  $\mu\text{m}$ :** Consistió en el uso de diatomita de granulometría de 600  $\mu\text{m}$ .
- **T4: diatomita 300  $\mu\text{m}$ :** Consistió en el uso de diatomita de granulometría de 300  $\mu\text{m}$ .
- **T5: zeolita 2000  $\mu\text{m}$ :** Consistió en el uso de zeolita de granulometría de 2 mm.
- **T6: zeolita 1000  $\mu\text{m}$ :** Consistió en el uso de zeolita de granulometría de 1 mm.
- **T7: zeolita 600  $\mu\text{m}$ :** Consistió en el uso de zeolita de granulometría de 600  $\mu\text{m}$ .
- **T8: zeolita 300  $\mu\text{m}$ :** Consistió en el uso de zeolita de granulometría de 300  $\mu\text{m}$ .

**Tabla 2.5***Descripción de tratamientos*

Tratamiento	Código	Material	Nivel	g/maceta (4 kg)
<b>T0</b>	t	Testigo	-	-
<b>T1</b>	d2.0	diatomita (2000 um)	0,5 t ha <sup>-1</sup>	1,50
<b>T2</b>	d1.0	diatomita (1000 um)	0,5 t ha <sup>-1</sup>	1,50
<b>T3</b>	d0.6	diatomita (600 um)	0,5 t ha <sup>-1</sup>	1,50
<b>T4</b>	d0.3	diatomita (300 um)	0,5 t ha <sup>-1</sup>	1,50
<b>T5</b>	z2.0	zeolita (2000 um)	0,5 t ha <sup>-1</sup>	1,50
<b>T6</b>	z1.0	zeolita (1000 um)	0,5 t ha <sup>-1</sup>	1,50
<b>T7</b>	z0.6	zeolita (600 um)	0,5 t ha <sup>-1</sup>	1,50
<b>T8</b>	z0.3	zeolita (300 um)	0,5 t ha <sup>-1</sup>	1,50

**Nota.** Para 1t ha<sup>-1</sup> = 3,0 g de retenedor / tanque evaporímetro (0.03 m<sup>2</sup>)

## 2.9 Unidad experimental (U.E.)

Las unidades experimentales consistieron en un evaporímetro de balanza (como se observa en la Figura 2.3, recipiente cilíndrico de plástico, de color blanco. Sus dimensiones oscilan de 18.5 cm a 19.4 cm de diámetro (lo que da un área de apertura de 0.03 m<sup>2</sup> aproximadamente) y 17.0 cm de altura. Cada recipiente se llenó con 3.5 kg de suelo y, para simular un terreno recién regado, se añadió agua a un 38 % (1330 ml).

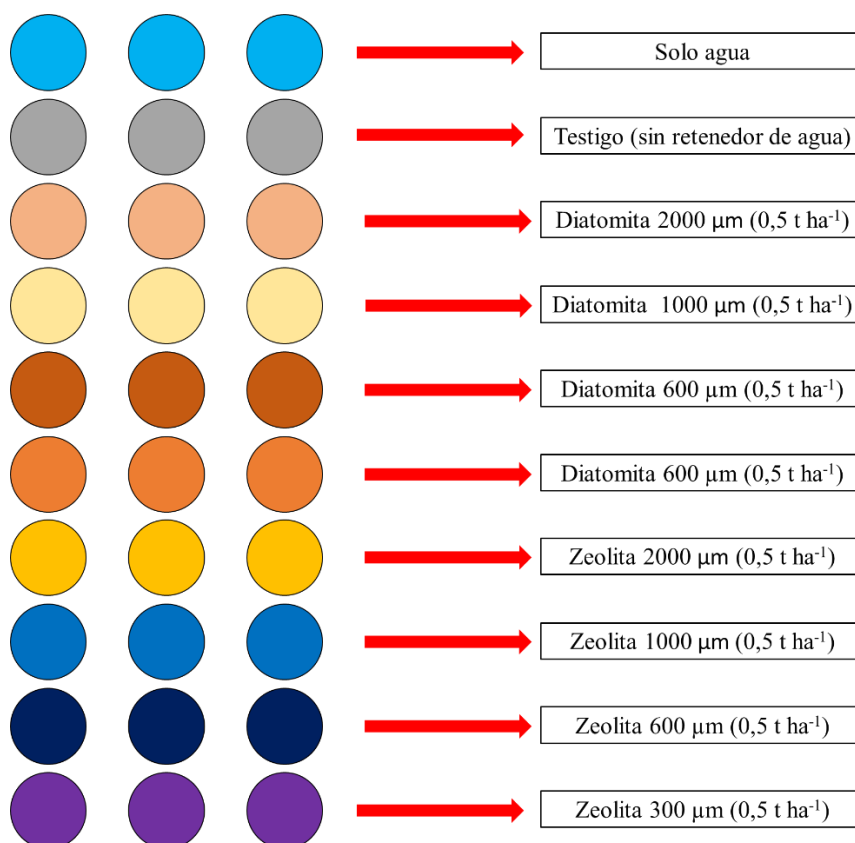
**Figura 2.3***Evaporímetro de balanza*

Fuente. Propia.

## 2.10 Instalación y conducción del experimento

- **Disposición experimental:** Se instaló las U.E. (evaporímetros de balanza) manteniendo una separación de 0.1 m entre cada una. Como referencia adicional, incluimos dos evaporímetros de balanza de contenido solamente de agua de volumen inicial de 4 litros con el objetivo de contrastar las temperaturas diarias y así guardar relación con la pérdida de peso de los evaporímetros de balanza. La disposición se puede ver en la Figura 2.4.
- **Registro diario de datos:** Se llevó un registro riguroso de los pesos de los evaporímetros cada 24 horas (una vez al día). Para esto, se usó una balanza con capacidad de 5 kg y una precisión de hasta un gramo, este proceso se mantuvo durante un periodo total de diez días.
- **Cálculo de la Evaporación:** Para el cálculo de la lámina de agua evaporada (mm) por día, tomamos la diferencia de peso entre dos registros consecutivos ( $\text{cm}^3$ ) dividiéndola por el área superficial del evaporímetro ( $\text{cm}^2$ ) y finalizando con una operación de multiplicación por 10 para convertirla en mm.

**Figura 2.4**  
*Distribución de tratamientos*



Fuente. Elaboración propia.

## **2.11 Procesamiento de datos**

Se realizaron llevamos a cabo los análisis de varianza (ANVA) necesarios. Para la evaporación del agua, el análisis se hizo con las 27 (U.E.), empleando el contraste de polinomios ortogonales y la prueba de Tukey. En el caso del índice Reas, el análisis de varianza se limitó a las 24 (U.E.). que correspondían únicamente a los tratamientos que contenían retenedores de humedad.

### III. CAPÍTULO III

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Evaluación del impacto de los retenedores de humedad en la evaporación de agua

La tabla 3.1 y figuras 3.1 y 3.2 muestran los valores de evaporación promedio (mm / día), donde se observa que la mayor evaporación de agua corresponde al testigo T0 (sin retenedor), frente a los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 y T8 (con aplicación de material retenedor); asimismo, se refleja que la menor pérdida de evaporación pertenece a los tratamientos de granulometría gruesa, tanto diatomita como zeolita (z2.0, z1.0, d2.0 y d1.0) a lo largo del experimento; por otro lado, los tratamientos con mayor pérdida de humedad son los de granulometría fina (d0.6, d0.3, z0.6 y z0.3).

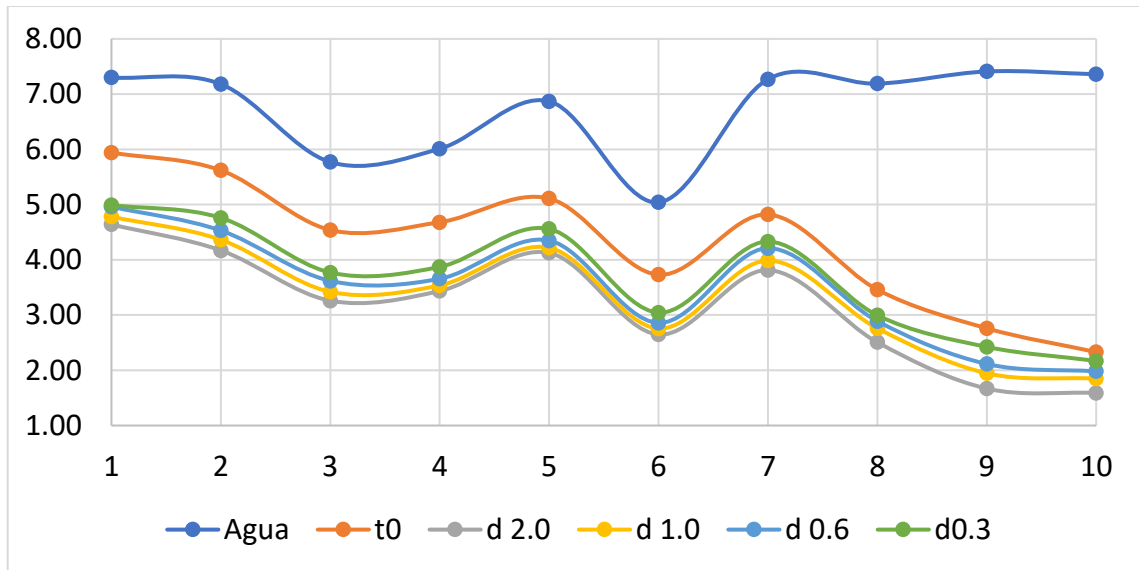
**Tabla 3.1**

*Lámina de agua promedio evaporada (mm) para todos los tratamientos*

<b>Tratamiento</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>	<b>Día 10</b>
<b>Agua</b>	7.30	7.18	5.77	6.01	6.87	5.04	7.27	7.19	7.41	7.36
<b>t0</b>	5.94	5.62	4.54	4.68	5.11	3.73	4.82	3.46	2.76	2.33
<b>d2.0</b>	4.64	4.17	3.26	3.43	4.13	2.65	3.81	2.51	1.67	1.59
<b>d1.0</b>	4.78	4.36	3.42	3.54	4.22	2.76	3.99	2.76	1.95	1.85
<b>d0.6</b>	4.96	4.53	3.62	3.66	4.35	2.86	4.21	2.89	2.11	1.98
<b>d0.3</b>	4.99	4.76	3.77	3.87	4.56	3.04	4.33	3.00	2.42	2.17
<b>z2.0</b>	4.41	3.82	3.26	3.29	4.01	2.54	3.74	2.62	1.60	1.51
<b>z1.0</b>	4.52	4.25	3.40	3.43	4.13	2.66	4.12	2.87	1.92	1.80
<b>z0.6</b>	4.70	4.42	3.55	3.63	4.30	2.81	4.23	2.99	2.13	1.96
<b>z0.3</b>	4.83	4.68	3.74	3.76	4.50	3.01	4.48	3.10	2.35	2.15

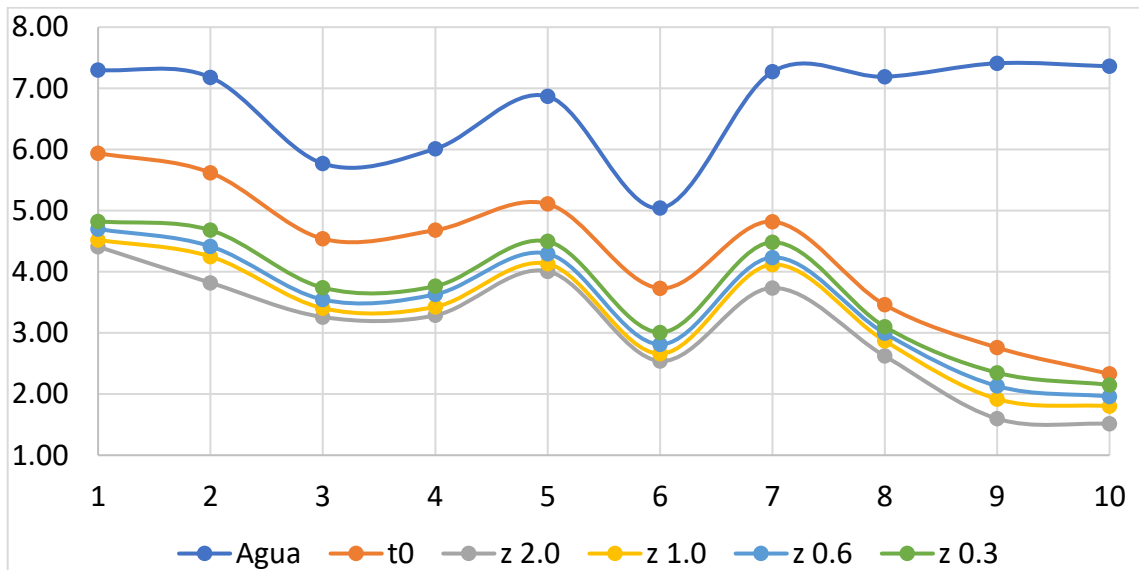
**Figura 3.1**

Evaporación de agua en los tratamientos de diatomita (2000  $\mu\text{m}$ , 1000  $\mu\text{m}$ , 600  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$ )



**Figura 3.2**

Evaporación de agua en los tratamientos de zeolita (2000  $\mu\text{m}$ , 1000  $\mu\text{m}$ , 600  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$ )



El análisis estadístico para la lámina de agua perdida por evaporación (tablas 3.2 y 3.3), presentó diferencias altamente significativas durante el periodo. El tratamiento z2.0 alcanzó menor evaporación con 4.41 mm (día 1), 3.29 mm (día 4), 3.74 mm (día 7) y 1.51 mm (día 10); por otra parte, el tratamiento con aplicación de material retenedor con mayor pérdida de lámina de agua fue d0.3 con 4.99 mm (día 1), 3.87 mm (día 4), 4.48 mm (día 7) y 2.17 mm (día 10); la mayor pérdida de agua ocurrió en el t0 con 5.94 mm (día 1), 4.68 mm (día 4), 4.82 mm (día 7) y 2.33 mm (día 10). De manera general, la menor pérdida ocurrió en el tratamiento z2.0.

**Tabla 3.2***Análisis de la varianza para la evaporación diaria de agua edáfica*

FV	GL	LA1	LA2	LA3	LA4	LA5	LA6	LA7	LA8	LA9	LA10
<b>Trat.</b>	8	70.079 **	82.481 **	37.812 **	46.251 **	32.384 **	34.003 **	28.105 **	19.573 **	38.933 **	19.632 **
<b>Error</b>	18	70.079	82.481	37.812	46.251	32.384	34.003	28.105	19.573	38.933	19.632
<b>Total</b>	26	4.931	6.206	3.928	4.212	2.801	3.197	2.898	2.079	3.463	1.955
<b>CV</b>		1.989	2.121	3.06	2.817	2.302	3.626	2.606	3.749	4.879	5.485

Nota. (LA1: lámina de agua del día 1;... ;LA10: lámina de agua del día 10).

**Tabla 3.3***Prueba de Tukey del efecto de la aplicación de distintos tratamientos en la evaporación diaria de agua edáfica*

Trat.	LA1	LA2	LA3	LA4	LA5	LA6	LA7	LA8	LA9	LA10
<b>d2.0</b>	4.64 abc	4.17 b	3.26 a	3.43 ab	4.13 ab	2.65 ab	3.81 ab	2.51 a	1.67 ab	1.59 ab
<b>d1.0</b>	4.78 bcde	4.36 bc	3.42 ab	3.54 abc	4.22 abc	2.76 abc	3.99 abc	2.76 abc	1.95 bc	1.85 bcd
<b>d0.6</b>	4.96 de	4.53 bcd	3.62 abc	3.66 bcd	4.35 bcd	2.86 bc	4.21 cde	2.89 bcd	2.11 cd	1.98 cde
<b>d0.3</b>	4.99 e	4.76 e	3.77 c	3.87 d	4.56 d	3.04 c	4.33 de	3.00 cd	2.42 e	2.17 ef
<b>z2.0</b>	4.41 a	3.82 a	3.26 a	3.29 a	4.01 a	2.54 a	3.74 a	2.62 ab	1.60 a	1.51 a
<b>z1.0</b>	4.52 ab	4.25 b	3.40 ab	3.43 ab	4.13 ab	2.66 ab	4.12 bcd	2.87 bcd	1.92 bc	1.80 abc
<b>z0.6</b>	4.70 bcd	4.42 bcd	3.55 abc	3.63 bcd	4.30 bcd	2.81 abc	4.23 cde	2.99 cd	2.13 cde	1.96 cde
<b>z0.3</b>	4.83 cde	4.68 de	3.74 c	3.76 cd	4.50 cd	3.01 c	4.48 e	3.10 d	2.35 de	2.15 def
<b>t0</b>	5.94 f	5.62 f	4.54 d	4.68 e	5.11 e	3.73 d	4.82 f	3.46 e	2.76 f	2.33 f

Nota. (d: diatomita; z: zeolita; 2.0: 2000 µm; 1.0: 1000 µm; 0.6: 600 µm y 0.3: 300 µm).

Las figuras 3.1 y 3.2, y la tabla 3.3 evidencian que, a lo largo del experimento los tratamientos con granulometría gruesa presentan menor evaporación siguiendo una tendencia inversamente proporcional, a menor granulometría mayor es la pérdida de humedad edáfica. Estos resultados reflejan que la aplicación de material retenedor aporta la reducción de la evaporación de agua edáfica de un suelo de textura franco arenoso (Fr. A.), obtenida en el análisis de caracterización (tabla 2.2); analizando que la cualidad de esta textura tiene baja capacidad de retención de agua, se observa que la aplicación de diatomita y zeolita demuestran

diferencias significativas independientemente de la granulometría (2000  $\mu\text{m}$ , 1000  $\mu\text{m}$ , 600  $\mu\text{m}$  y 300  $\mu\text{m}$ ).

La eficiencia demostrada por la aplicación de material retenedor en la reducción de evaporación edáfica coincide con lo manifestado por Vijay y Suhas, (2018); Yu y Zhao, (2022); Flores et al. (2021). Girijaveni et al. (2025) aplicó 200 kg ha<sup>-1</sup> de zeolita en el cultivo de tomate, resultando en incremento de la retención de agua del suelo; asimismo, Soca et al. (2016) aplicó 0, 5, 12, 18 y 24 t ha<sup>-1</sup> de zeolita, incrementando el C.I.C. y retención de agua; según Cerda (2019) la aplicación de diatomita de 2000  $\mu\text{m}$  al (15 % v/v) aumentó la capacidad de campo de un suelo franco arenoso (Fr. A.) en un 9.77%. El trabajo de Bardales y Carrillo (2021) reporta la reducción de evaporación edáfica con la aplicación de diatomita al 4 % del peso total de suelo; y el trabajo de Espinosa et al. (2021) en la aplicación de 25 t ha<sup>-1</sup> de zeolita de 1 a 5 mm acompañada de estiércol vacuno aportaron en la retención de agua; Ibrahim (2021) aplicó zeolita de (20, 2 y 0.2  $\mu\text{m}$ ) al 1% del peso total del suelo, encontrando el incremento de la retención de humedad, siendo experimentos que no se podrían replicar en los productores de bajos recursos por sus altas dosis de aplicación y costos de adquisición excesivos. Otros autores contradicen lo encontrado en la presente investigación; Szatanik (2021) quien aplicó de 1 a 8 t ha<sup>-1</sup> de zeolita acompañada de fertilizante nitrogenado, concluyó que no hay mejora en la capacidad de retención de agua, igualmente Anicua et al. (2023) expresa que la granulometría con mejor capacidad de retención de humedad edáfica es la de 1000  $\mu\text{m}$  respecto a otros de mayor y menor granulometría de rango (3360  $\mu\text{m}$  a 130  $\mu\text{m}$ ).

### **3.2 Influencia de la aplicación de retenedores de humedad en el índice de Reducción de evaporación del agua del suelo (Reas)**

La tabla 3.4 y figuras 3.3 y 3.4 muestran los valores del índice Reas correspondientes a los tratamientos a lo largo del experimento. Los valores obtenidos permitieron establecer el siguiente orden decreciente de índice Reas: T5: z2.0 con una media de 26.5 %, T1: d2.0 con 24.8 %, T6: z1.0 con 24.7 %, T2: d1.0 con 22.0 %, T7: z0.6 con 21.8 %, T3: d0.6 con 17.9%, T8: z0.3 con 16.2 % y T4: d0.3 con 15.9 %. Los resultados del tratamiento T5: z1.0 presentaron mayores valores que el T1: d2.0 durante los días 1 al 5; sin embargo, a partir del día 6 al 10 se invirtió, registrando los mayores valores el T1: d2.0 y menores el T5: z1.0.

**Tabla 3.4**

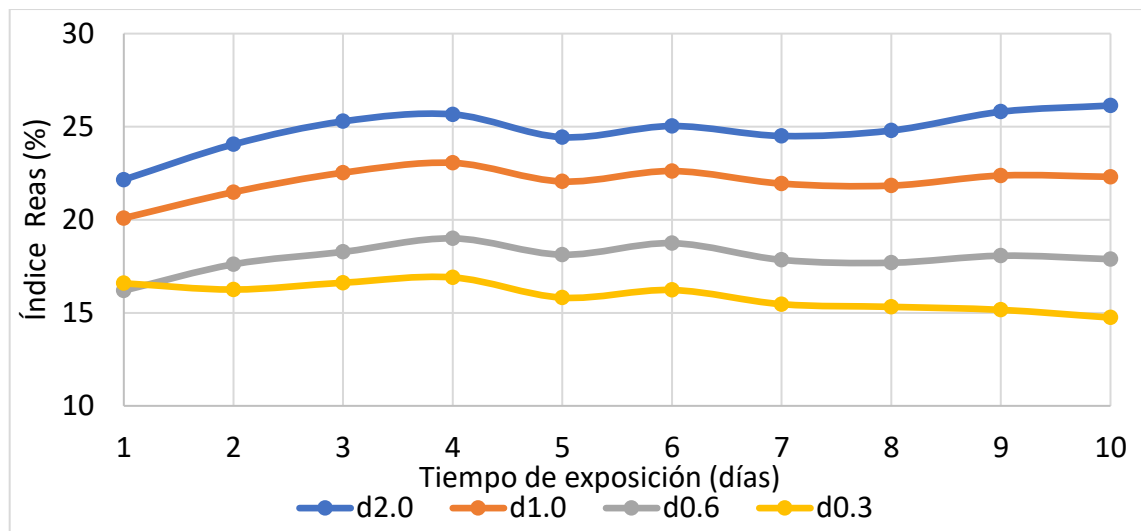
*Cálculo del índice REAS de los tratamientos con respecto al testigo*

Trat.	Día1	Día2	Día3	Día4	Día5	Día6	Día7	Día8	Día9	Día10
d2.0	22.2	24.0	25.3	25.7	24.4	25.0	24.5	24.8	25.8	26.1
d1.0	20.1	21.5	22.5	23.1	22.1	22.6	21.9	21.8	22.4	22.3
d0.6	16.2	17.6	18.3	19.0	18.1	18.7	17.8	17.7	18.1	17.9
d0.3	16.6	16.3	16.6	16.9	15.8	16.2	15.5	15.3	15.2	14.7
z2.0	24.5	27.6	27.4	27.6	26.2	26.7	25.9	25.7	26.7	27.1
z1.0	24.9	25.2	25.4	25.9	24.8	25.4	24.1	23.5	24.1	24.0
z0.6	22.3	22.5	22.7	22.9	21.8	22.3	21.1	20.6	20.8	20.6
z0.3	18.1	17.1	17.1	17.6	16.3	16.6	15.2	14.7	14.7	14.2

Nota. (d: diatomita; z: zeolita; 2.0: 2000 µm; 1: 1000 µm; 0.6: 600 µm y 0.3: 300 µm).

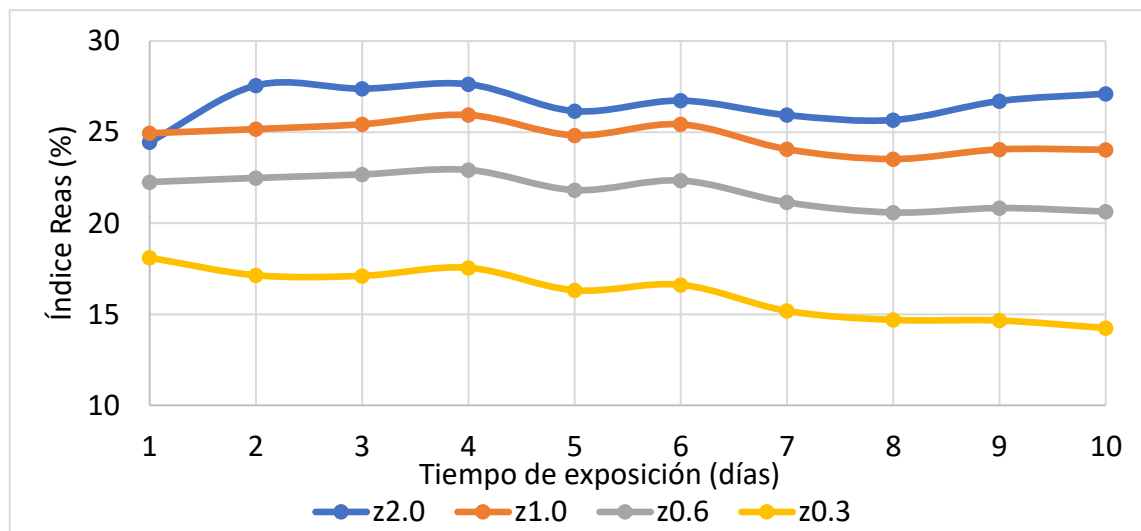
**Figura 3.3**

*Gráfico del del índice Reas de los tratamientos de diatomita con respecto al testigo*



**Figura 3.4**

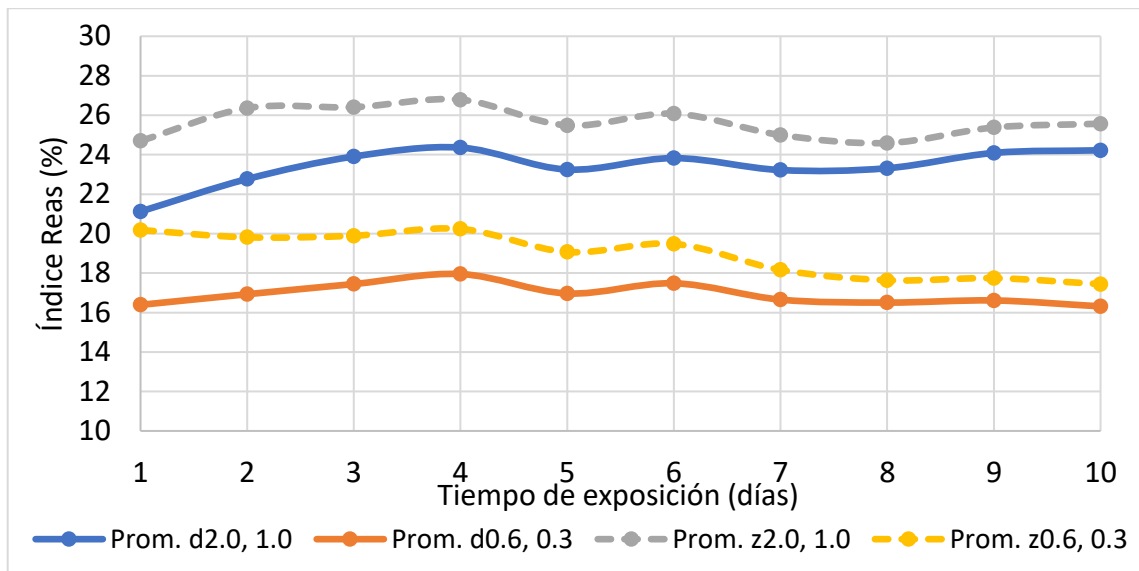
*Gráfico del del índice Reas de los tratamientos de zeolita con respecto al testigo*



La figura 3.5 muestra la comparación de los promedios de las granulometrías gruesas (d2 y d1; z2 y z1) y finas (d0.6 y d0.3; z0.6 y z0.3). Los mayores índices Reas corresponden a las granulometrías gruesas, mientras que los valores más bajos están asociados a las granulometrías finas. Prom. z2.0,1.0 con una media de 25.6 %, seguidos de Prom. d2.0, 1.0 con 23.4 %; Prom. z0.6, 0.3 con 19.0 %; y Prom. d0.6,0.3 con 16.9 %, demostrando nuevamente la eficiencia de las granulometrías gruesas (2000 – 1000  $\mu\text{m}$ ) en la reducción de la evaporación de agua del suelo.

**Figura 3.5**

*Índice Reas de la comparación de granulometría gruesa y delgada de diatomita y zeolita frente al testigo*



Nota. (D: diatomita; Z: zeolita).

En la tabla 3.5 del análisis de varianza del índice y tabla 3.6 prueba de Tukey, los resultados muestran diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) a lo largo del trabajo, donde: T1: d 2000  $\mu\text{m}$  obtuvo una media de 27.279 %, T2: d 1000  $\mu\text{m}$  con 22.71 %, T3: d 600  $\mu\text{m}$  con 18.076 %, T4: d 300  $\mu\text{m}$  14.35 %, T5: z 2000  $\mu\text{m}$  con 28.07 %, T6: z 1000  $\mu\text{m}$  con 24.291 %, T7: z 600  $\mu\text{m}$  con 20.552 %, y T8: z 300  $\mu\text{m}$  con 13.77 %.

**Tabla 3.5**

*Análisis de la varianza para el índice de Reas diario*

FV	GL	Reas i	Reas f
Trat	7	66.301 **	80.065 **
Error	24	0.344	0.192
Total	31		
CV		2.698	2.110

**Tabla 3.6***Prueba de Tukey del índice de Reas inicial y final*

F	N	Reas i (días 2, 3, 4 y 5)	Reas f (días 7, 8, 9 y 10)
d	2	24.858 % b	25.307 % b
d	1	22.281 % c	22.114 % d
d	0.6	18.250 % d	17.871 % f
d	0.3	16.396 % e	15.172 % g
z	2	27.180 % a	26.351 % a
z	1	25.339 % b	23.916 % c
z	0.6	22.476 % c	20.799 % e
z	0.3	17.030 % d e	14.693 % g

Nota. (F: fuente, N: nivel).

Al respecto, Cerda, (2019) manifiesta que la aplicación de dosis de diatomita (0, 5, 10 y 15 % v/v) de 2 mm en un suelo franco arenoso (Fr. A.) incubada durante 6 meses a condiciones de capacidad de campo, aumenta significativamente la capacidad de campo en 3.14 %, 6.4 6%, 9.77 % con respecto al testigo. (p.91). Tineo (2021), evaluó la influencia de granulometría de diatomita (500  $\mu\text{m}$ , 2000  $\mu\text{m}$ , 3500  $\mu\text{m}$  y 5000  $\mu\text{m}$ ) en dos niveles (0.5 y 1.0 t ha<sup>-1</sup>), la menor evaporación de agua edáfica corresponde a los niveles (0.5 y 1.0 t ha<sup>-1</sup>) en las granulometrías 2000  $\mu\text{m}$  y 3500  $\mu\text{m}$ . En contraste de los resultados del presente trabajo, Szatanik et al. (2021) reportó que la aplicación de zeolita no reportó aumento en la capacidad de retención de humedad y para tener resultados valores positivos, la aplicación debe ser en una proporción de 40 g de zeolita por cada 100g de suelo; cantidades que en la práctica son inviables; a su vez Ibrahim et al. (2021) analizó la influencia del tamaño de partículas de zeolita (20, 2,0 y 0,2  $\mu\text{m}$ ), aplicada al 1% en un suelo franco arenoso (Fr. A.) en columnas instrumentadas con ciclos de humectación y secado, concluyendo que la partícula (0.2  $\mu\text{m}$ ) mostró mayor reducción de humedad edáfica y reducción en la infiltración respecto al control.

### 3.3 Costo del material retenedor

#### Diatomita

Rodrigo Romero, (2019) establece que el costo de la diatomita es de 0.9 a 1 sol, siendo un punto de referencia para la evaluación económica en la región.

#### Zeolita

Debido a la naturaleza de la comercialización de insumos agrícolas a granel en el Perú, el precio final de la zeolita (clinoptilolita) presenta una alta variabilidad que depende del volumen de compra, la malla granulométrica; para establecer la viabilidad económica del tratamiento de

zeolita en este estudio, se ha adoptado una metodología de cotización directa, donde se encontró un precio promedio de 8 soles por kilogramo.

**Tabla 3.7**

*Costo de material retenedor para evaporímetro de balanza (baldes) y dosis por ha*

Material	Cantidad	Unidad	Precio unitario (s/.)	Parcial (s/.)	Total (s/.)
Diatomita por 0.03 m <sup>2</sup>	0.0015	kg	1	0.0015	0.0015
Diatomita por ha	500	kg	1	500	500
Zeolita por 0.03 m <sup>2</sup>	0.0015	kg	8	0.012	0.012
Zeolita por ha	500	kg	8	4000	4000

La tabla 3.7 presenta el costo de los materiales retenedores de agua (diatomita y zeolita) para la escala experimental correspondiente al área de un evaporímetro de balanza (0,03 m<sup>2</sup>) como para su extrapolación a una hectárea. Observándose que los costos a escala experimental son bajos, mientras que llevarlos a nivel de hectárea la zeolita incrementa significativamente el costo total en comparación con la diatomita, evidenciando una marcada diferencia económica entre ambos materiales.

## CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se plantean las siguientes conclusiones:

1. La retención de humedad del suelo es influenciada por la granulometría de diatomita y zeolita, siendo la gruesa la que contribuye a mayor retención de agua edáfica respecto de la fina. El testigo registró mayores pérdidas de agua por evaporación.
2. La influencia de las diferentes granulometrías de diatomita y zeolita en el índice de reducción relativa de la evaporación del agua del suelo (Reas) es significativa durante el periodo evaluado. El mayor índice Reas corresponde a la zeolita de 2000  $\mu\text{m}$ ; asimismo, la menor Reas se alcanzó con la diatomita de 300  $\mu\text{m}$ .
3. La aplicación de diatomita se presenta como la alternativa económicamente más viable para la reducción de la evaporación del agua del suelo en Pampa del Arco, Ayacucho (2760 msnm).

## **RECOMENDACIONES**

- Evaluar la aplicación de materiales retentivos de humedad en condiciones de campo, incorporando cultivos de interés agrícola y considerando diferentes texturas de suelo, a fin de validar su comportamiento bajo escenarios productivos reales.
- Evaluar el efecto de dosis crecientes de estos materiales para determinar la dosis óptima de aplicación que optimice la retención de humedad sin generar alteraciones negativas en las propiedades físicas y químicas del suelo bajo un criterio de rentabilidad económica.
- En estudios que empleen tanques evaporímetros tipo balde, estandarizar el uso de recipientes del mismo color entero (blanco), con la finalidad de minimizar la absorción calorífica.

#### IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, C. (2007). *El suelo agrícola, un ser vivo*. <https://www.semanticscholar.org/paper/El-suelo-agr%C3%ADcola%2C-un-ser-vivo-Acosta/6e601a3ff1daf8dca9ca85c5325176a06d966bbc#citing-papers>
- Agronomos.org. ((s/f)). *¿Qué es Capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases? - Agrónomos*. <https://agronomos.org/que-es-la-capacidad-de-intercambio-cationico/>
- AGRONOTIPS. (2022, mayo 3). *La estrecha y vital relación suelo-agua-planta—PortalFruticola.com*. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2022/05/03/la-estrecha-y-vital-relacion-suelo-agua-planta/>
- Alimac. (2020, junio 10). *DIATOMITA – ALIMAC SAC*. <https://alimac.com.pe/diatomita/>
- Analitiks. ((s/f)). *Granulometría – Analitiks*. <https://analitiks.cl/granulometria/>
- Anicua, R., Gutiérrez Castorena, M. del C., Sánchez García, P., Ortiz Solorio, C., Volke Halle, V. H., & Rubiños Panta, J. E. (2009). Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. *Agricultura técnica en México*, 35(2), 147-156.
- Arciniegas, M. (2020, octubre 19). *El poder de la diatomita*. zeonatec. <https://www.zeonatec.com/post/el-poder-de-la-diatomita>
- Arias, N. M. M., Rangel, M. del C. N., López, I. C. P., Sánchez, E. C., & Cruz, J. M. de la. (2018). El suelo y su multifuncionalidad: ¿qué ocurre ahí abajo? *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 25(3). <https://www.redalyc.org/journal/104/10455646009/html/>
- Bardales, V. J., & Carrillo, M. J. (2021). Sistema de tratamiento con diatomita para la retención de agua de los suelos arenosos en el Huerto San Antonio, Ica, 2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/63467>

- Calderón, C. L., Bautista-Mantilla, G. P., & Rojas-González, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *ORINOQUIA*, 22(2), 141-157.
- Cerda, M. (2019). Efecto de niveles de diatomita en propiedades físicas de suelos, en laboratorio-Ayacucho. 2019. *Investigación*, 28(1), Article 1. <https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.28.1.2020.360>
- Curi, A., Granda, W. J. V., Lima, H. M., & Sousa, W. T. (2006). Las Zeolitas y su Aplicación en la Descontaminación de Efluentes Mineros. *Información tecnológica*, 17(6), 111-118. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642006000600017>
- EcuRed. ((s/f)). *Agua capilar—EcuRed*. [https://www.ecured.cu/Agua\\_capilar](https://www.ecured.cu/Agua_capilar)
- Edafología.ugr. ((s/f)). *Estructuras*. [http://edafologia.ugr.es/programas\\_suelos/practprop/comun/estruct.htm](http://edafologia.ugr.es/programas_suelos/practprop/comun/estruct.htm)
- Espinosa, W., Ríos Albuerno, C., Díaz Ercia, T., Espinosa Aguilera, W., Ríos Albuerno, C., & Díaz Ercia, T. (2021). Producción ecológica del tomate *Solanum Lycopersicum* L. (var. Campbell 28) con el uso de zeolita natural mezclada con estiércol vacuno. *Centro Agrícola*, 48(1), 23-27.
- Estudios Geotécnicos. (2013, enero 1). *Descriptorios geotécnicos (3): Granulometría y parámetros derivados - Estudios Geotécnicos*. <https://estudiosgeotecnicos.info/index.php/descriptorios-geotecnicos-3-granulometria-y-parametros-derivados/>
- FAO. (2023, marzo 21). “La escasez de agua supone menos agua para la producción agrícola, lo cual, a su vez, se traduce en una menor disponibilidad de alimentos y pone en peligro la seguridad alimentaria y la nutrición”. Newsroom. <https://www.fao.org/newsroom/detail/water-scarcity-means-less-water-for-agriculture->

production-which-in-turn-means-less-food-available-threatening-food-security-and-nutrition/es?utm\_source=chatgpt.com

FAO. (s/f). *I. GENERALIDADES.*

[https://www.fao.org/fishery/static/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s01.htm](https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s01.htm)

FAO. ((s/f)a). *Estructura del Suelo.*

[https://www.fao.org/fishery/static/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s07.htm](https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s07.htm)

FAO. ((s/f)b). *Propiedades Biológicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.* <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-biologicas/es/>

FAO. ((s/f)c). *Propiedades Químicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.* <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>

FAO. ((s/f)d). *Suelos afectados por salinidad | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.* <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-afectados-por-salinidad/es/>

FAO. ((s/f)e). *TEXTURA DEL SUELO.*

[https://www.fao.org/fishery/static/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s06.htm](https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm)

Flores, E. S., Juambelz, I. R. L., Velázquez-Vázquez, D., Moreno-Pérez, E., & Hernández-Ávila, J. (2021). Modificación del comportamiento del mortero con respecto a la humedad por adición de zeolita. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e*

*Ingenierías del ICBI*, 9(Especial2), Article Especial2.  
<https://doi.org/10.29057/icbi.v9iEspecial2.8008>

Gavrilescu, M. (2021). Water, Soil, and Plants Interactions in a Threatened Environment. *Water*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/w13192746>

Gil, R. (2024). *Agua Edáfica: Resumen y Cálculo de Humedad del Suelo en Edafología*. Studocu. <https://www.studocu.com/gt/document/escuela-nacional-central-de-agricultura/edafologia-general/agua-edafica-resumen-edafologia-general/96133612>

Girijaveni, V., Sammi, R., Srinivasarao, C., Raju, B. M. K., Balakrishnan, D., Kundu, S., Pushpanjali, Rohit, J., V K, S., & Pushpanjali. (2025). Role of mordenite zeolite in improving nutrient and water use efficiency in Alfisols. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1404077>

Guy, I. G. S., emprendedor. (2020, febrero 19). *El agua del suelo: Importancia y gestión* | Ing. Guy Sela. <https://croipaia.com/es/blog/el-agua-del-suelo/>

Ha, M., Morrow, M., & Algiers, K. (2022, octubre 29). *17.1.1: Potencial de agua*. LibreTexts Español. [https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Biologia/Botanica/Bot%C3%A1nica\\_\(Ha%2C\\_Morrow\\_y\\_Argel\)/Unit\\_3%3A\\_Fisiolog%C3%ADa\\_y\\_Regulaci%C3%B3n\\_Vegetal/17%3A\\_Transporte/17.01%3A\\_Transporte\\_Acu%C3%A1tico/17.1.01%3A\\_Potencial\\_de\\_agua](https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Biologia/Botanica/Bot%C3%A1nica_(Ha%2C_Morrow_y_Argel)/Unit_3%3A_Fisiolog%C3%ADa_y_Regulaci%C3%B3n_Vegetal/17%3A_Transporte/17.01%3A_Transporte_Acu%C3%A1tico/17.1.01%3A_Potencial_de_agua)

Horel, Á. (2024). Soil–Plant–Water Systems and Interactions. *Plants*, 13(3), 358. <https://doi.org/10.3390/plants13030358>

Ibrahim, H. M., Alghamdi, A. G., Ibrahim, H. M., & Alghamdi, A. G. (2021). Effect of the Particle Size of Clinoptilolite Zeolite on Water Content and Soil Water Storage in a Loamy Sand Soil. *Water*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/w13050607>

- Infoagronomo. (2020, abril 17). *Clasificación de Humedad en el suelo—InfoAgronomo*.  
<https://infoagronomo.net/clasificacion-de-humedad-en-el-suelo/>
- Intagri. (2024). *Disponibilidad de Nutrimientos y el pH del Suelo | Intagri S.C.*  
<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/disponibilidad-de-nutrimientos-y-el-ph-del-suelo>
- Koda, K. K., Mayahara, J. Y. S., & Insfran, A. (2009). IMPORTANCIA ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA CAPTACIÓN Y MANEJO DE AGUA DE LLUVIA PARA UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE EN EL DISTRITO DE PIRAPÓ. *Revista sobre estudios e investigaciones del saber académico*, 3, Article 3.
- LabFerrer. (2015, octubre 8). *¿Qué es la Curva de Retención de Humedad y la Curva de Conductividad Hidráulica? - BLOG BIOFÍSICA AMBIENTAL*.  
<https://blog.biofisicaambiental.com/que-es-la-curva-de-retencion-de-humedad-y-la-curva-de-conductividad-hidraulica/>
- Lamz, A., & González, M. C. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: La mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales*, 34(4), 31-42.
- Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo H, E. (2008). CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96. <https://doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>
- Meter. (2023, mayo 1). *Definición del potencial hídrico: Qué es. Cómo utilizarlo. - METER Group*. <https://metergroup.com/es/measurement-insights/defining-water-potential-what-it-is-how-to-use-it/>
- Montoya-Jasso, V. M., Ordaz-Chaparro, V. M., Benedicto-Valdés, G. S., Ruiz-Bello, A., Arreola-Tostado, J. M., Montoya-Jasso, V. M., Ordaz-Chaparro, V. M., Benedicto-Valdés, G. S., Ruiz-Bello, A., & Arreola-Tostado, J. M. (2021). Caracterización

- química y física de sustratos enriquecidos con minerales y composta. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.601>
- Moreira, D. A., Álvarez-Sánchez, A. R., Reyes-Pérez, J. J., & Muñoz-Pinela, A. G. (2022). Efecto de la inclusión de diatomeas (bacillariophyceae sp.) en las primeras etapas de desarrollo vegetal del cultivo de nabo chino (brassica rapa). *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 3088-4000. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i6.3754](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3754)
- Mundoagro. (2022, julio 14). *El pH: Indicador clave de la calidad del suelo por su influencia en aspectos químicos y biológicos* | Mundoagro. <https://mundoagro.io/cl/el-ph-indicador-clave-de-la-calidad-del-suelo-por-su-influencia-en-aspectos-quimicos-y-biologicos/>
- Obregón-Portocarrero, N., Díaz-Ortiz, J. E., Daza-Torres, M. C., & Aristizabal-Rodríguez, H. F. (2016). Efecto de la aplicación de zeolita en la recuperación de nitrógeno y el rendimiento de maíz. *Acta Agronómica*, 65(1), 24-30. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n1.47762>
- Ondarse, D. (2025, septiembre 25). *Ciclo del nitrógeno—Qué es, etapas y su importancia*. <https://concepto.de/ciclo-del-nitrogeno/>
- Pioneer. ((s/f)). *Porosidad del Suelo*. [https://www.pioneer.com/ar/articulos/porosidad\\_suelos.html](https://www.pioneer.com/ar/articulos/porosidad_suelos.html)
- Rey, I. del. (2022, mayo 10). ▷ Retenedores de humedad—¿Cuándo se usan? *Tiloom*. <https://www.tiloom.com/retenedores-de-humedad-cuando-se-usan/>
- Robinson, L. (2025, julio 16). Water Retention in Soil: Key Benefits of Soil Additives. *Verdesian Life Sciences*. <https://vlsci.com/blog/soil-additives-for-water-retention-in-soil/>

- Rodrigo Romero, E. E. (2019). *Estudio Experimental del Empleo de la Diatomita Proveniente de Ayacucho Como Aditivo Natural para Concretos de Resistencias  $F'C = 210$  KGF/CM<sup>2</sup> Y 280 KGF/CM<sup>2</sup> En La Ciudad De Arequipa*.  
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/8879>
- Rolmako. ((s/f)). *Capacidad de retención de agua del suelo, de qué depende, clasificación de los poros del suelo, de qué poros el agua está disponible para las plantas*.  
<https://rolmako.es/know-how/capacidad-de-retencion-de-agua-del-suelo.html>
- Soca, M., Daza-Torres, M. C., Soca, M., & Daza-Torres, M. C. (2016a). Evaluación de fracciones granulométricas y dosis de zeolita para la agricultura. *Agrociencia*, 50(8), 965-976.
- Soca, M., Daza-Torres, M. C., Soca, M., & Daza-Torres, M. C. (2016b). Evaluación de fracciones granulométricas y dosis de zeolita para la agricultura. *Agrociencia*, 50(8), 965-976.
- Sosa Pérez, G., Hermosillo Rojas, D. E., Guerra, P. J., Alarcón Bustamante, M. P., & García Pérez, J. L. (2021). Efectividad De Un Polímero Retenedor De Humedad Para Elevar La Supervivencia En Plantaciones De Mezquite (*Prosopis Glandulosa* Torr.) En Zonas Áridas. *European Scientific Journal, ESJ*, 17(7), 55.  
<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n7p55>
- Spaulding, S. A., Potapova, M. G., Bishop, I. W., Lee, S. S., Gasperak, T. S., Jovanoska, E., Furey, P. C., & Edlund, M. B. (2021). *Diatoms.org*: Supporting taxonomists, connecting communities. *Diatom Research*, 36(4), 291-304.  
<https://doi.org/10.1080/0269249X.2021.2006790>
- Szatanik, A., Szerement, J., Adamczuk, A., & Józefaciuk, G. (2021). Effect of Low Zeolite Doses on Plants and Soil Physicochemical Properties. *Materials*, 14(10), 2617.  
<https://doi.org/10.3390/ma14102617>

- Tello, P., Lily, D., Vega, R., & Ruby, A. (2015). Metodologías para determinar la retención de humedad y la densidad en el compost. *Anales Científicos*, 76(1), ág. 186-192. <https://doi.org/10.21704/ac.v76i1.780>
- Ticona, B., Vasquez-Regalado, J., Quispe-Poma, M., Ticona-Cortavitarte, B., Vasquez-Regalado, J., & Quispe-Poma, M. (2024). Comparison of the cylinder and test tube method for determining soil bulk density. *Idesia (Arica)*, 42(4), 61-68. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292024000400061>
- Tineo, A. L., Cabrera, C. F., & Fernández, S. (2021). NIVELES Y GRANULOMETRÍA DE DIATOMITA EN EL RENDIMIENTO DE TOMATE, EN SECANO. AYACUCHO, 2020. *Investigación*, 29(1), 73-82. <https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.29.1.2021.285>
- Vijay, J., & Suhas, W. (2018, mayo). *Zeolites: Potential soil amendments for improving nutrient and water use efficiency and agriculture productivity*. [https://www.researchgate.net/publication/325544295\\_Zeolites\\_Potential\\_soil\\_amendments\\_for\\_improving\\_nutrient\\_and\\_water\\_use\\_efficiency\\_and\\_agriculture\\_productivity](https://www.researchgate.net/publication/325544295_Zeolites_Potential_soil_amendments_for_improving_nutrient_and_water_use_efficiency_and_agriculture_productivity)
- Yu, J., & Zhao, D. (2022). Preface to special topic on new era of zeolite science. *National Science Review*, 9(9), nwac157. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwac157>
- Zamnesia. (2022, septiembre 5). *5 Factores Clave En La Disponibilidad De Nutrientes Del Cannabis—Zamnesia*. <https://www.zamnesia.es/cultivar-marihuana/502-disponibilidad-nutrientes-cannabis>
- Zgłobicka, I., Gluch, J., Liao, Z., Werner, S., Guttman, P., Li, Q., Bazarnik, P., Plocinski, T., Witkowski, A., & Kurzydowski, K. J. (2021). Insight into diatom frustule structures using various imaging techniques. *Scientific Reports*, 11, 14555. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94069-9>

Zuluaga, D., Slebi-Acevedo, C., Ruge, J. C., Camacho-Tauta, J., & Caicedo-Hormaza, B. (2023). Diatomaceous Soils and Advances in Geotechnical Engineering—Part II. *Buildings*, 14(1), 48. <https://doi.org/10.3390/buildings14010048>

## V. ANEXOS

### 1. Tabla de registro de datos de cada unidad experimental en el inicio de evaluación.

Trat.	U.E.	Peso de balde	Peso de suelo	Peso balde + suelo	Humedad (38 %)	Peso sistema día 0 (21 agosto)	Radio del balde (cm)	Diámetro del balde	Área del balde
<b>Agua</b>	a1	177	-	177	4000	4177	9.35	18.7	274.65
	a2	202	-	202	4000	4202	9.7	19.4	295.59
<b>Testigo</b>	0.1	200	3500	3700	1330	5030	9.5	19	283.53
	0.2	184	3500	3684	1330	5014	9.55	19.1	286.52
	0.3	184	3500	3684	1330	5014	9.3	18.6	271.72
<b>Diatomita</b>	1.1	190	3500	3690	1330	5020	9.45	18.9	280.55
	1.2	187	3500	3687	1330	5017	9.4	18.8	277.59
	1.3	194	3500	3694	1330	5024	9.45	18.9	280.55
	2.1	190	3500	3690	1330	5020	9.4	18.8	277.59
	2.2	194	3500	3694	1330	5024	9.45	18.9	280.55
	2.3	195	3500	3695	1330	5025	9.4	18.8	277.59
	3.1	199	3500	3699	1330	5029	9.5	19	283.53
	3.2	197	3500	3697	1330	5027	9.4	18.8	277.59
	3.3	177	3500	3677	1330	5007	9.5	19	283.53
	4.1	204	3500	3704	1330	5034	9.5	19	283.53
	4.2	191	3500	3691	1330	5021	9.35	18.7	274.65
	4.3	193	3500	3693	1330	5023	9.4	18.8	277.59
	<b>Zeolita</b>	5.1	200	3500	3700	1330	5030	9.7	19.4
5.2		186	3500	3686	1330	5016	9.45	18.9	280.55
5.3		193	3500	3693	1330	5023	9.45	18.9	280.55
6.1		182	3500	3682	1330	5012	9.25	18.5	268.80
6.2		193	3500	3693	1330	5023	9.45	18.9	280.55
6.3		192	3500	3692	1330	5022	9.45	18.9	280.55
7.1		174	3500	3674	1330	5004	9.35	18.7	274.65
7.2		191	3500	3691	1330	5021	9.4	18.8	277.59
7.3		184	3500	3684	1330	5014	9.35	18.7	274.65
8.1		195	3500	3695	1330	5025	9.45	18.9	280.55
8.2		201	3500	3701	1330	5031	9.55	19.1	286.52
8.3		185	3500	3685	1330	5015	9.45	18.9	280.55

**Nota:** Se consideró los siguientes datos para la evaluación de la evaporación en la mina de agua (mm): unidad experimental, donde el agua fue información de control con dos repeticiones; y los demás tratamientos incluido el testigo cada uno con tres repeticiones; peso de balde; peso de suelo; peso de balde más suelo humedad 38%; peso sistema día de instalación; radio de balde; diámetro de balde y área de balde.

**2. Tabla de registro de pérdida de peso diario de cada tratamiento y sus repeticiones**

<b>U.E.</b>	<b>Día 0</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>	<b>Día 10</b>
<b>a1</b>	4177	196.37	196.37	155.72	169.18	188.41	137.05	198.02	195.82	201.59	199.94
<b>a2</b>	4202	220.22	213.12	173.51	173.22	203.37	150.46	216.67	214.30	221.10	219.92
<b>t0 - 1</b>	5030	165.86	156.51	126.17	129.29	142.33	103.20	133.26	94.98	75.14	63.23
<b>t0 - 2</b>	5014	170.19	161.02	130.08	134.09	146.41	106.87	138.10	99.14	79.08	66.76
<b>t0 - 3</b>	5014	163.84	155.42	125.80	130.42	141.29	103.80	134.23	97.00	77.98	66.03
<b>d2 - 1</b>	5020	127.65	114.47	88.09	93.70	112.78	71.82	104.08	67.33	44.05	41.52
<b>d2 - 2</b>	5017	128.80	115.76	90.49	95.21	114.65	73.56	105.76	69.68	46.36	44.14
<b>d2 - 3</b>	5024	132.70	119.52	94.83	98.75	118.95	76.87	109.70	73.50	49.66	47.69
<b>d1 - 1</b>	5020	130.19	118.53	91.61	95.77	114.65	73.56	107.43	73.28	51.35	48.58
<b>d1 - 2</b>	5024	134.10	122.32	95.95	99.32	118.39	77.43	111.94	77.43	54.71	51.90
<b>d1 - 3</b>	5025	135.19	123.53	98.27	100.77	119.64	79.67	114.09	79.95	56.91	54.13
<b>d0.6 - 1</b>	5029	137.79	125.60	99.24	100.37	120.22	77.69	116.53	79.10	56.99	53.30
<b>d0.6 - 2</b>	5027	137.69	125.75	100.49	101.60	120.75	79.39	116.87	80.22	58.57	54.96
<b>d0.6 - 3</b>	5007	143.47	131.27	106.04	107.17	126.45	84.49	122.20	84.78	62.66	58.97
<b>d0.3 - 1</b>	5034	138.93	132.12	103.49	106.89	126.45	83.36	119.93	81.66	65.21	58.41
<b>d0.3 - 2</b>	5021	137.05	130.73	103.54	106.29	125.24	83.49	118.92	82.39	66.46	59.60
<b>d0.3 - 3</b>	5023	141.02	134.91	107.98	110.20	129.36	87.16	122.97	86.61	70.51	63.29
<b>z2 - 1</b>	5030	127.70	110.26	92.82	93.70	115.87	71.53	107.00	74.49	44.34	41.38
<b>z2 - 2</b>	5016	123.72	107.17	91.46	92.30	112.50	71.26	104.93	73.50	44.89	42.36
<b>z2 - 3</b>	5023	126.25	109.70	94.83	95.67	115.03	74.63	108.29	76.31	47.69	45.45
<b>z1 - 1</b>	5012	119.08	111.82	88.44	89.78	108.60	68.81	108.06	74.19	49.19	45.70
<b>z1 - 2</b>	5023	126.81	119.23	95.39	96.23	115.87	74.63	115.59	80.52	53.87	50.50
<b>z1 - 3</b>	5022	129.33	121.76	98.47	98.75	118.39	77.43	118.39	83.60	56.39	53.30
<b>z0.6 - 1</b>	5004	126.34	118.65	94.75	97.22	115.35	74.43	113.15	79.37	55.75	50.81
<b>z0.6 - 2</b>	5021	130.47	122.70	98.54	100.77	119.36	78.00	117.42	83.00	59.13	54.41
<b>z0.6 - 3</b>	5014	131.83	124.14	100.25	102.17	120.84	79.92	119.20	84.87	61.25	56.85
<b>z0.3 - 1</b>	5025	132.98	128.49	102.40	102.40	122.88	81.36	122.60	83.89	63.12	57.23
<b>z0.3 - 2</b>	5031	138.39	134.09	107.16	107.73	128.93	86.24	128.36	88.82	67.33	61.60
<b>z0.3 - 3</b>	5015	138.03	134.10	107.45	108.57	129.62	87.53	128.77	90.06	68.74	63.40

### 3. Tabla de pérdida de humedad (ml) acumulada en el experimento.

U.E.	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
<b>a1</b>	196.37	196.37	155.72	169.18	188.41	137.05	198.02	195.82	201.59	199.94
<b>a2</b>	220.22	213.12	173.51	173.22	203.37	150.46	216.67	214.30	221.10	219.92
<b>t0 - 1</b>	165.86	156.51	126.17	129.29	142.33	103.20	133.26	94.98	75.14	63.23
<b>t0 - 2</b>	170.19	161.02	130.08	134.09	146.41	106.87	138.10	99.14	79.08	66.76
<b>t0 - 3</b>	163.84	155.42	125.80	130.42	141.29	103.80	134.23	97.00	77.98	66.03
<b>d2 - 1</b>	127.65	114.47	88.09	93.70	112.78	71.82	104.08	67.33	44.05	41.52
<b>d2 - 2</b>	128.80	115.76	90.49	95.21	114.65	73.56	105.76	69.68	46.36	44.14
<b>d2 - 3</b>	132.70	119.52	94.83	98.75	118.95	76.87	109.70	73.50	49.66	47.69
<b>d1 - 1</b>	130.19	118.53	91.61	95.77	114.65	73.56	107.43	73.28	51.35	48.58
<b>d1 - 2</b>	134.10	122.32	95.95	99.32	118.39	77.43	111.94	77.43	54.71	51.90
<b>d1 - 3</b>	135.19	123.53	98.27	100.77	119.64	79.67	114.09	79.95	56.91	54.13
<b>d0.6 - 1</b>	137.79	125.60	99.24	100.37	120.22	77.69	116.53	79.10	56.99	53.30
<b>d0.6 - 2</b>	137.69	125.75	100.49	101.60	120.75	79.39	116.87	80.22	58.57	54.96
<b>d0.6 - 3</b>	143.47	131.27	106.04	107.17	126.45	84.49	122.20	84.78	62.66	58.97
<b>d0.3 - 1</b>	138.93	132.12	103.49	106.89	126.45	83.36	119.93	81.66	65.21	58.41
<b>d0.3 - 2</b>	137.05	130.73	103.54	106.29	125.24	83.49	118.92	82.39	66.46	59.60
<b>d0.3 - 3</b>	141.02	134.91	107.98	110.20	129.36	87.16	122.97	86.61	70.51	63.29
<b>z2 - 1</b>	127.70	110.26	92.82	93.70	115.87	71.53	107.00	74.49	44.34	41.38
<b>z2 - 2</b>	123.72	107.17	91.46	92.30	112.50	71.26	104.93	73.50	44.89	42.36
<b>z2 - 3</b>	126.25	109.70	94.83	95.67	115.03	74.63	108.29	76.31	47.69	45.45
<b>z1 - 1</b>	119.08	111.82	88.44	89.78	108.60	68.81	108.06	74.19	49.19	45.70
<b>z1 - 2</b>	126.81	119.23	95.39	96.23	115.87	74.63	115.59	80.52	53.87	50.50
<b>z1 - 3</b>	129.33	121.76	98.47	98.75	118.39	77.43	118.39	83.60	56.39	53.30
<b>z0.6 - 1</b>	126.34	118.65	94.75	97.22	115.35	74.43	113.15	79.37	55.75	50.81
<b>z0.6 - 2</b>	130.47	122.70	98.54	100.77	119.36	78.00	117.42	83.00	59.13	54.41
<b>z0.6 - 3</b>	131.83	124.14	100.25	102.17	120.84	79.92	119.20	84.87	61.25	56.85
<b>z0.3 - 1</b>	132.98	128.49	102.40	102.40	122.88	81.36	122.60	83.89	63.12	57.23
<b>z0.3 - 2</b>	138.39	134.09	107.16	107.73	128.93	86.24	128.36	88.82	67.33	61.60
<b>z0.3 - 3</b>	138.03	134.10	107.45	108.57	129.62	87.53	128.77	90.06	68.74	63.40

**4. Tabla de cálculo de lámina de agua evaporada en los tratamientos y repeticiones.**

<b>U.E.</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>	<b>Día 10</b>
<b>a1</b>	7.15	7.15	5.67	6.16	6.86	4.99	7.21	7.13	7.34	7.28
<b>a2</b>	7.45	7.21	5.87	5.86	6.88	5.09	7.33	7.25	7.48	7.44
<b>t0 - 1</b>	5.85	5.52	4.45	4.56	5.02	3.64	4.7	3.35	2.65	2.23
<b>t0 - 2</b>	5.94	5.62	4.54	4.68	5.11	3.73	4.82	3.46	2.76	2.33
<b>t0 - 3</b>	6.03	5.72	4.63	4.8	5.2	3.82	4.94	3.57	2.87	2.43
<b>d2 - 1</b>	4.55	4.08	3.14	3.34	4.02	2.56	3.71	2.4	1.57	1.48
<b>d2 - 2</b>	4.64	4.17	3.26	3.43	4.13	2.65	3.81	2.51	1.67	1.59
<b>d2 - 3</b>	4.73	4.26	3.38	3.52	4.24	2.74	3.91	2.62	1.77	1.7
<b>d1 - 1</b>	4.69	4.27	3.3	3.45	4.13	2.65	3.87	2.64	1.85	1.75
<b>d1 - 2</b>	4.78	4.36	3.42	3.54	4.22	2.76	3.99	2.76	1.95	1.85
<b>d1 - 3</b>	4.87	4.45	3.54	3.63	4.31	2.87	4.11	2.88	2.05	1.95
<b>d0.6 - 1</b>	4.86	4.43	3.5	3.54	4.24	2.74	4.11	2.79	2.01	1.88
<b>d0.6 - 2</b>	4.96	4.53	3.62	3.66	4.35	2.86	4.21	2.89	2.11	1.98
<b>d0.6 - 3</b>	5.06	4.63	3.74	3.78	4.46	2.98	4.31	2.99	2.21	2.08
<b>d0.3 - 1</b>	4.9	4.66	3.65	3.77	4.46	2.94	4.23	2.88	2.3	2.06
<b>d0.3 - 2</b>	4.99	4.76	3.77	3.87	4.56	3.04	4.33	3	2.42	2.17
<b>d0.3 - 3</b>	5.08	4.86	3.89	3.97	4.66	3.14	4.43	3.12	2.54	2.28
<b>z2 - 1</b>	4.32	3.73	3.14	3.17	3.92	2.42	3.62	2.52	1.5	1.4
<b>z2 - 2</b>	4.41	3.82	3.26	3.29	4.01	2.54	3.74	2.62	1.6	1.51
<b>z2 - 3</b>	4.5	3.91	3.38	3.41	4.1	2.66	3.86	2.72	1.7	1.62
<b>z1 - 1</b>	4.43	4.16	3.29	3.34	4.04	2.56	4.02	2.76	1.83	1.7
<b>z1 - 2</b>	4.52	4.25	3.4	3.43	4.13	2.66	4.12	2.87	1.92	1.8
<b>z1 - 3</b>	4.61	4.34	3.51	3.52	4.22	2.76	4.22	2.98	2.01	1.9
<b>z0.6 - 1</b>	4.6	4.32	3.45	3.54	4.2	2.71	4.12	2.89	2.03	1.85
<b>z0.6 - 2</b>	4.7	4.42	3.55	3.63	4.3	2.81	4.23	2.99	2.13	1.96
<b>z0.6 - 3</b>	4.8	4.52	3.65	3.72	4.4	2.91	4.34	3.09	2.23	2.07
<b>z0.3 - 1</b>	4.74	4.58	3.65	3.65	4.38	2.9	4.37	2.99	2.25	2.04
<b>z0.3 - 2</b>	4.83	4.68	3.74	3.76	4.5	3.01	4.48	3.1	2.35	2.15
<b>z0.3 - 3</b>	4.92	4.78	3.83	3.87	4.62	3.12	4.59	3.21	2.45	2.26

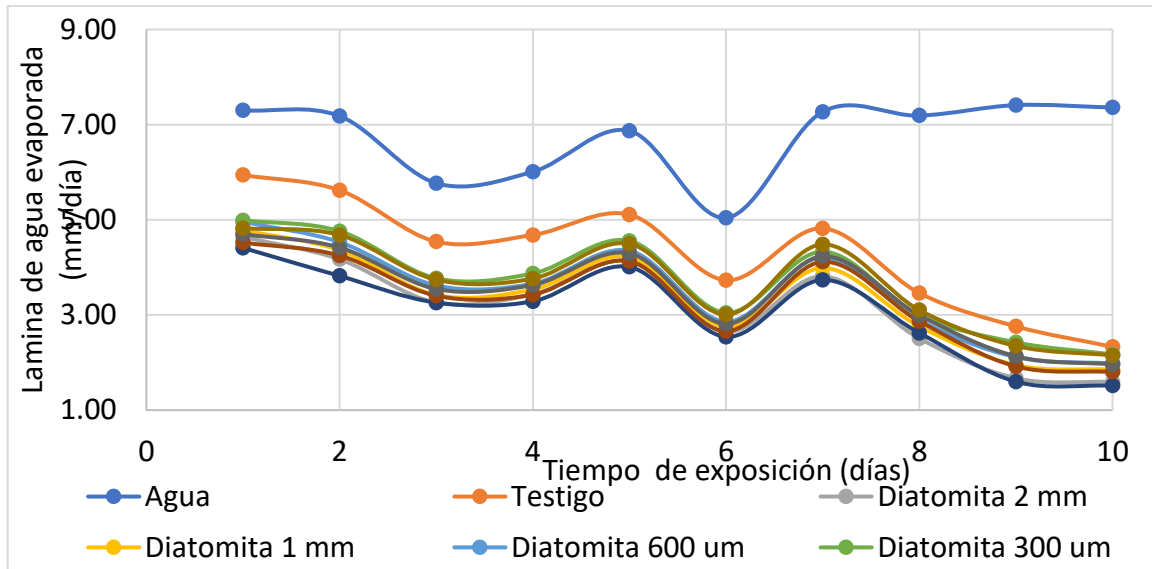
### 5. Tabla de cálculo de pérdida de agua acumulada (ml)

<b>Trat.</b>	<b>Día 0</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>	<b>Día 10</b>
<b>a1</b>	0	196	393	548	718	906	1043	1241	1437	1639	1838
<b>a2</b>	0	220	433	607	780	983	1134	1351	1565	1786	2006
<b>t0 - 1</b>	0	166	322	449	578	720	823	957	1052	1127	1190
<b>t0 - 2</b>	0	170	331	461	595	742	849	987	1086	1165	1232
<b>t0 - 3</b>	0	164	319	445	575	717	821	955	1052	1130	1196
<b>d2 - 1</b>	0	128	242	330	424	537	609	713	780	824	866
<b>d2 - 2</b>	0	129	245	335	430	545	618	724	794	840	884
<b>d2 - 3</b>	0	133	252	347	446	565	642	751	825	874	922
<b>d1 - 1</b>	0	130	249	340	436	551	624	732	805	856	905
<b>d1 - 2</b>	0	134	256	352	452	570	648	759	837	892	943
<b>d1 - 3</b>	0	135	259	357	458	577	657	771	851	908	962
<b>d0.6 - 1</b>	0	138	263	363	463	583	661	777	857	914	967
<b>d0.6 - 2</b>	0	138	263	364	466	586	666	783	863	921	976
<b>d0.6 - 3</b>	0	143	275	381	488	614	699	821	906	969	1028
<b>d0.3 - 1</b>	0	139	271	375	481	608	691	811	893	958	1016
<b>d0.3 - 2</b>	0	137	268	371	478	603	686	805	888	954	1014
<b>d0.3 - 3</b>	0	141	276	384	494	623	711	834	920	991	1054
<b>z2 - 1</b>	0	128	238	331	424	540	612	719	793	838	879
<b>z2 - 2</b>	0	124	231	322	415	527	598	703	777	822	864
<b>z2 - 3</b>	0	126	236	331	426	541	616	724	801	848	894
<b>z1 - 1</b>	0	119	231	319	409	518	587	695	769	818	864
<b>z1 - 2</b>	0	127	246	341	438	554	628	744	824	878	929
<b>z1 - 3</b>	0	129	251	350	448	567	644	763	846	903	956
<b>z0.6 - 1</b>	0	126	245	340	437	552	627	740	819	875	926
<b>z0.6 - 2</b>	0	130	253	352	452	572	650	767	850	909	964
<b>z0.6 - 3</b>	0	132	256	356	458	579	659	778	863	924	981
<b>z0.3 - 1</b>	0	133	261	364	466	589	671	793	877	940	997
<b>z0.3 - 2</b>	0	138	272	380	487	616	703	831	920	987	1049
<b>z0.3 - 3</b>	0	138	272	380	488	618	705	834	924	993	1056

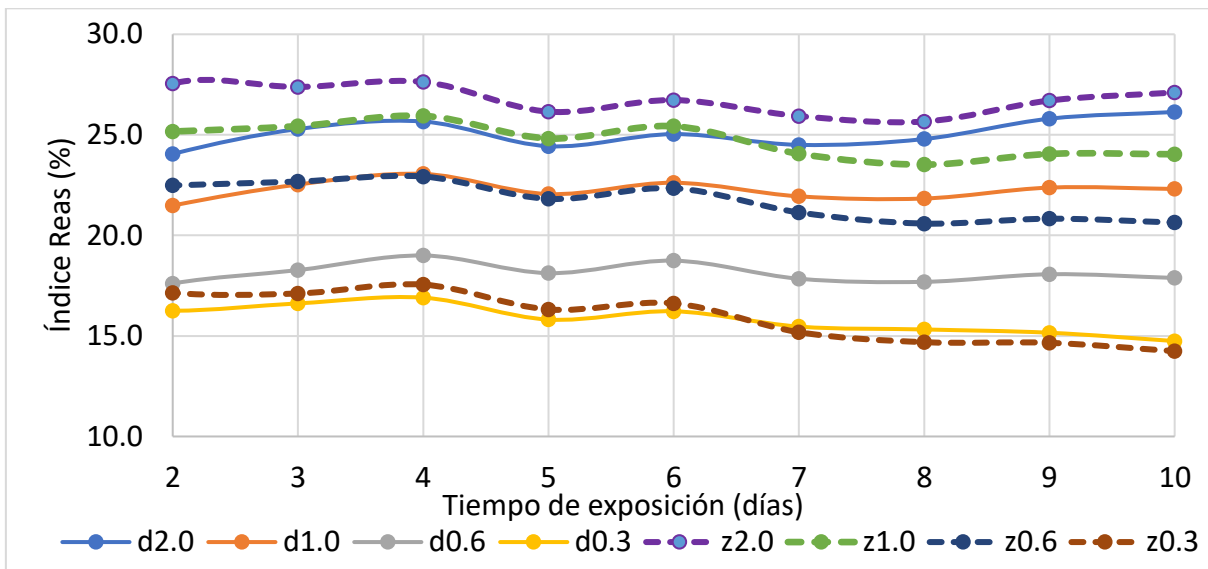
**6. Tabla de índice Reas (%) de los tratamientos:**

Trat.	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
<b>d2.0</b>	22.2	24.0	25.3	25.7	24.4	25.0	24.5	24.8	25.8	26.1
<b>d1.0</b>	20.1	21.5	22.5	23.1	22.1	22.6	21.9	21.8	22.4	22.3
<b>d0.6</b>	16.2	17.6	18.3	19.0	18.1	18.7	17.8	17.7	18.1	17.9
<b>d0.3</b>	16.2	17.6	18.3	19.0	18.1	18.7	17.8	17.7	18.1	17.9
<b>z2.0</b>	24.5	27.6	27.4	27.6	26.2	26.7	25.9	25.7	26.7	27.1
<b>z1.0</b>	24.9	25.2	25.4	25.9	24.8	25.4	24.1	23.5	24.1	24.0
<b>z0.6</b>	22.3	22.5	22.7	22.9	21.8	22.3	21.1	20.6	20.8	20.6
<b>z0.3</b>	18.1	17.1	17.1	17.6	16.3	16.6	15.2	14.7	14.7	14.2

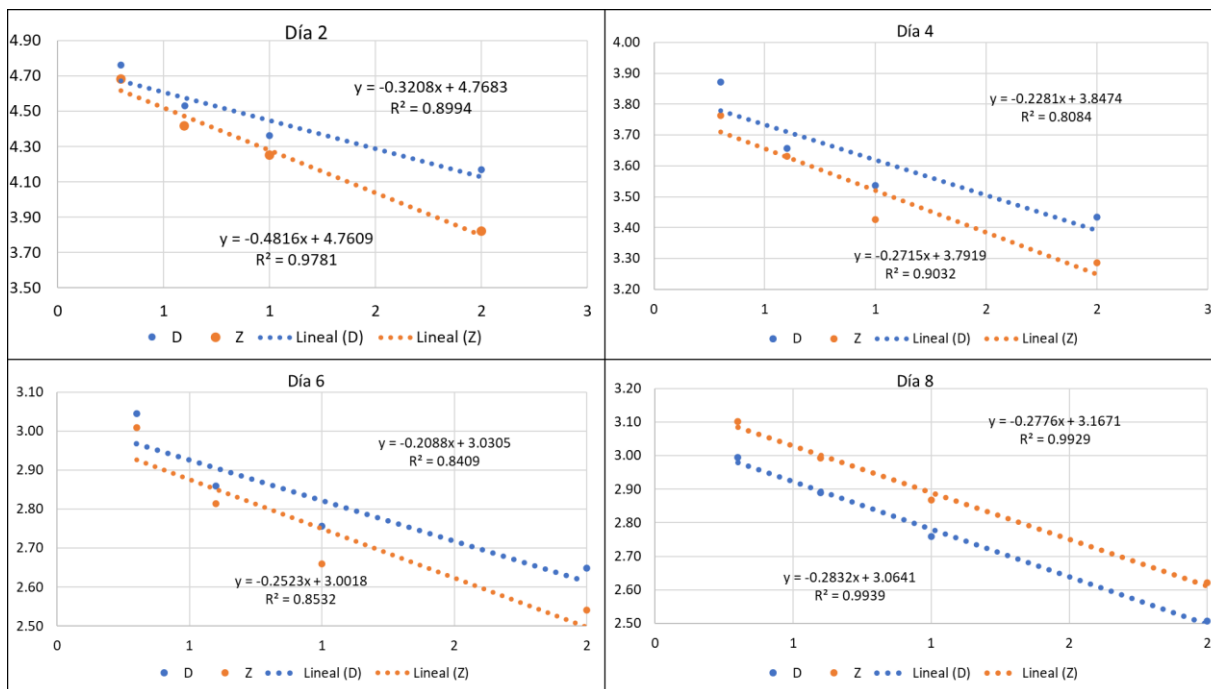
**7. Perdida de agua por evaporación (mm/día) durante el experimento**



## 8. Índice Reas de los tratamientos con respecto al testigo



## 9. Línea de tendencia de la aplicación de tratamientos de diatomita y zeolita



## 10. Análisis de varianza y prueba de Tukey para la evaporación en lámina de agua de cada día del experimento

### Lámina de agua; día 1

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
LA1	27	0.969	0.955	1.898

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.778	8	0.597	70.079	<0.0001
TRAT	4.778	8	0.597	70.079	<0.0001
Error	0.153	18	0.009		
Total	4.931	26			

#### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.26411

Error: 0.0085 gl: 18

TRAT	Medias	n	E.E.					
z2	4.410	3	0.053	a				
z1	4.520	3	0.053	a	b			
d2	4.640	3	0.053	a	b	c		
z0.6	4.700	3	0.053		b	c	d	
d1	4.780	3	0.053		b	c	d	e
z0.3	4.830	3	0.053			c	d	e
d0.6	4.960	3	0.053				d	e
d0.3	4.990	3	0.053					e
t0	5.940	3	0.053					f

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

### Lámina de agua; día 2

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
LA2	27	0.973	0.962	2.121

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6.041	8	0.755	82.481	<0.0001
TRAT	6.041	8	0.755	82.481	<0.0001
Error	0.165	18	0.009		
Total	6.206	26			

#### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.27374

Error: 0.0092 gl: 18

TRAT	Medias	n	E.E.					
z2	3.820	3	0.055	a				
d2	4.170	3	0.055		b			
z1	4.250	3	0.055		b			
d1	4.360	3	0.055		b	c		
z0.6	4.420	3	0.055		b	c	d	
d0.6	4.530	3	0.055			c	d	e
z0.3	4.680	3	0.055				d	e
d0.3	4.760	3	0.055					e
t0	5.620	3	0.055					f

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

### Lámina de agua; día 3

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
LA3	27	0.944	0.919	3.060

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.707	8	0.463	37.812	<0.0001
TRAT	3.707	8	0.463	37.812	<0.0001
Error	0.221	18	0.012		
Total	3.928	26			

#### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.31671

Error: 0.0123 gl: 18

TRAT	Medias	n	E.E.			
z2	3.260	3	0.064	a		
d2	3.260	3	0.064	a		
z1	3.400	3	0.064	a	b	
d1	3.420	3	0.064	a	b	
z0.6	3.550	3	0.064	a	b	c
d0.6	3.620	3	0.064		b	c
z0.3	3.740	3	0.064			c
d0.3	3.770	3	0.064			c
t0	4.540	3	0.064			d

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

### Lámina de agua; día 4

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
LA4	27	0.954	0.933	2.817

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.017	8	0.502	46.251	<0.0001
TRAT	4.017	8	0.502	46.251	<0.0001
Error	0.195	18	0.011		
Total	4.212	26			

#### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.29808

Error: 0.0109 gl: 18

TRAT	Medias	n	E.E.				
z2	3.290	3	0.060	a			
d2	3.430	3	0.060	a	b		
z1	3.430	3	0.060	a	b		
d1	3.540	3	0.060	a	b	c	
z0.6	3.630	3	0.060		b	c	d
d0.6	3.660	3	0.060		b	c	d
z0.3	3.760	3	0.060			c	d
d0.3	3.870	3	0.060				d
t0	4.680	3	0.060				e

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

## Lámina de agua; día 5

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
LA5	27	0.935	0.906	2.302

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.619	8	0.327	32.384	<0.0001
TRAT	2.619	8	0.327	32.384	<0.0001
Error	0.182	18	0.010		
Total	2.801	26			

### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.28767

Error: 0.0101 gl: 18

TRAT	Medias	n	E.E.				
z2	4.010	3	0.058	a			
d2	4.130	3	0.058	a	b		
z1	4.130	3	0.058	a	b		
d1	4.220	3	0.058	a	b	c	
z0.6	4.300	3	0.058		b	c	d
d0.6	4.350	3	0.058		b	c	d
z0.3	4.500	3	0.058			c	d
d0.3	4.560	3	0.058				d
t0	5.110	3	0.058				e

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

## Lámina de agua; día 6

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
LA6	27	0.938	0.910	3.626

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.998	8	0.375	34.003	<0.0001
TRAT	2.998	8	0.375	34.003	<0.0001
Error	0.198	18	0.011		
Total	3.197	26			

### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.30036

Error: 0.0110 gl: 18

TRAT	Medias	n	E.E.				
z2	2.540	3	0.061	a			
d2	2.650	3	0.061	a	b		
z1	2.660	3	0.061	a	b		
d1	2.760	3	0.061	a	b	c	
z0.6	2.810	3	0.061	a	b	c	
d0.6	2.860	3	0.061		b	c	
z0.3	3.010	3	0.061			c	
d0.3	3.040	3	0.061				c
t0	3.730	3	0.061				d

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

## Lámina de agua; día 7

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
LA7	27	0.926	0.893	2.606

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.683	8	0.335	28.105	<0.0001
TRAT	2.683	8	0.335	28.105	<0.0001
Error	0.215	18	0.012		
Total	2.898	26			

### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.31252

Error: 0.0119 gl: 18

TRAT	Medias	n	E.E.				
z2	3.740	3	0.063	a			
d2	3.810	3	0.063	a	b		
d1	3.990	3	0.063	a	b	c	
z1	4.120	3	0.063		b	c	d
d0.6	4.210	3	0.063			c	d e
z0.6	4.230	3	0.063			c	d e
d0.3	4.330	3	0.063				d e
z0.3	4.480	3	0.063				e
t0	4.820	3	0.063				f

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

## Lámina de agua; día 8

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
LA8	27	0.897	0.851	3.749

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.865	8	0.233	19.573	<0.0001
TRAT	1.865	8	0.233	19.573	<0.0001
Error	0.214	18	0.012		
Total	2.079	26			

### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.31223

Error: 0.0119 gl: 18

TRAT	Medias	n	E.E.				
d2	2.510	3	0.063	a			
z2	2.620	3	0.063	a	b		
d1	2.760	3	0.063	a	b	c	
z1	2.870	3	0.063		b	c	d
d0.6	2.890	3	0.063		b	c	d
z0.6	2.990	3	0.063			c	d
d0.3	3.000	3	0.063			c	d
z0.3	3.100	3	0.063				d
t0	3.460	3	0.063				e

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

## Lámina de agua; día 9

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
LA9	27	0.945	0.921	4.879

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.274	8	0.409	38.933	<0.0001
TRAT	3.274	8	0.409	38.933	<0.0001
Error	0.189	18	0.011		
Total	3.463	26			

### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.29331

Error: 0.0105 gl: 18

TRAT	Medias	n	E.E.			
z2	1.600	3	0.059	a		
d2	1.670	3	0.059	a	b	
z1	1.920	3	0.059		b	c
d1	1.950	3	0.059		b	c
d0.6	2.110	3	0.059			c d
z0.6	2.130	3	0.059			c d e
z0.3	2.350	3	0.059			d e
d0.3	2.420	3	0.059			e
t0	2.760	3	0.059			f

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

## Lámina de agua; día 10

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
LA10	27	0.897	0.851	5.485

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.754	8	0.219	19.632	<0.0001
TRAT	1.754	8	0.219	19.632	<0.0001
Error	0.201	18	0.011		
Total	1.955	26			

### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.30232

Error: 0.0112 gl: 18

TRAT	Medias	n	E.E.			
z2	1.510	3	0.061	a		
d2	1.590	3	0.061	a	b	
z1	1.800	3	0.061	a	b	c
d1	1.850	3	0.061		b	c d
z0.6	1.960	3	0.061			c d e
d0.6	1.980	3	0.061			c d e
z0.3	2.150	3	0.061			d e f
d0.3	2.170	3	0.061			e f
t0	2.330	3	0.061			f

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

## 11. Análisis de varianza y prueba Tukey para el índice Reas inicial (días 2, 3, 4 y 5) y final (días 7, 8, 9 y 10)

### Reas i (días 2, 3, 4 y 5)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Reas i	32	0.983	0.977	2.698

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	464.110	7	66.301	192.961	<0.0001
F	52.429	1	52.429	152.587	<0.0001
N	398.098	3	132.699	386.202	<0.0001
F*N	13.584	3	4.528	13.178	<0.0001
Error	8.246	24	0.344		
Total	472.357	31			

#### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.37275

Error: 0.3436 gl: 24

F	N	Medias	n	E.E.	
z	2.00	27.180	4	0.293	a
Z	1.00	25.339	4	0.293	b
D	2.00	24.858	4	0.293	b
Z	0.60	22.476	4	0.293	c
D	1.00	22.281	4	0.293	c
D	0.60	18.250	4	0.293	d
Z	0.30	17.030	4	0.293	d e
D	0.30	16.396	4	0.293	e

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

### Reas f (días 7, 8, 9 y 10)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Reas f	32	0.992	0.989	2.110

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	560.452	7	80.065	416.587	<0.0001
F	14.025	1	14.025	72.972	<0.0001
N	534.166	3	178.055	926.446	<0.0001
F*N	12.261	3	4.087	21.266	<0.0001
Error	4.613	24	0.192		
Total	565.064	31			

#### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.02667

Error: 0.1922 gl: 24

F	N	Medias	n	E.E.	
z	2.00	26.351	4	0.219	a
d	2.00	25.307	4	0.219	b
z	1.00	23.916	4	0.219	c
d	1.00	22.114	4	0.219	d
z	0.60	20.799	4	0.219	e
d	0.60	17.871	4	0.219	f
d	0.30	15.172	4	0.219	g
z	0.30	14.693	4	0.219	g

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

## 12. Panel fotográfico



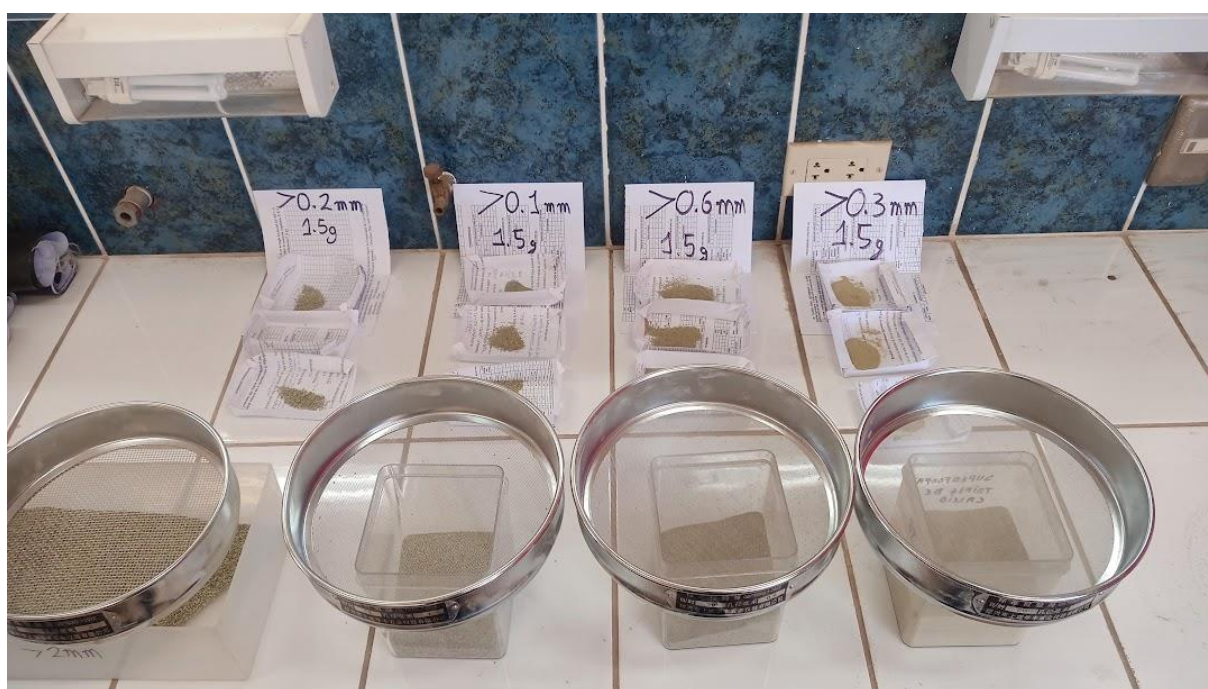
*Tamizaje, selección y clasificación de los materiales retenedores de acuerdo al requerimiento del experimento.*



*Proceso de pesaje del sistema (peso de balde, peso de suelo 3500 g).*



*Proceso de pesaje con balanza de precisión de la diatomita (1.5 g) de distintas granulometrías para sus respectivos tratamientos.*



*Proceso de pesaje con balanza de precisión de la zeolita (1.5 g) de distintas granulometrías para sus respectivos tratamientos.*



*Incorporación de material retenedor a cada tratamiento.*



ULEFONE  
SHOT ON ARMOR 6E

*Incorporación de agua al 38 % (1330 ml) para todos los tratamientos y 4000 ml para dos baldes de control, los cuales contienen solamente agua.*



ULEFONE  
SHOT ON ARMOR 6E

*Disposición final para la evaluación diaria de la pérdida de humedad de cada tanque evaporímetro.*

## 12. Análisis de caracterización de la muestra de suelo de Pampa del Arco



**MULTISERVICIOS AGROLAB**  
**INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE**  
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES  
**ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACIÓN**

**ASESORÍA Y CAPACITACIÓN EN:**

- EVALUACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS.
- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS AGRÍCOLA.
- USO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS.
- ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.
- AGRICULTURA SUSTENTABLE.

Solicitante	Sr. Kelvin Justo Fernández Cárdenas			Fecha	23/01/2024
Proyecto	N/A				
Departamento	Ayacucho	Provincia:	Huamanga	Distrito:	Ayacucho
Sector		Altitud (m.s.n.m.)	N/A	Superficie:	
				Coordenadas:	N/A
Código de muestra	12873	Referencia de Campo:	Pampa del Arco	Uso actual:	Cultivo a instalar:

Parámetro	Resultado	Unidad	Clasificación
1	pH (1:1)	Unidad pH	Moderadamente Alcalino
2	Conductividad (1:1)	ds m. -1	No salino
3	Carbonatos	%	Medio
4	Materia orgánica	%	Bajo
5	Fósforo disponible	ppm	Medio
6	Potasio disponible	ppm	Muy Alto
7	Nitrógeno total	%	Bajo
8	C.I.C.	Cmol (+).kg <sup>-1</sup>	Alto

Parámetro	Resultado	Unidad	Clasificación
10	Ca <sup>++</sup>	Cmol (+).kg <sup>-1</sup>	Alto
11	Mg <sup>++</sup>	Cmol (+).kg <sup>-1</sup>	Alto
12	K <sup>+</sup>	Cmol (+).kg <sup>-1</sup>	Muy Alto
13	Na <sup>+</sup>	Cmol (+).kg <sup>-1</sup>	Bajo
14	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	Cmol (+).kg <sup>-1</sup>	Muy bajo
15	Saturación de bases	%	Alto

Clase	Fr. A.
Acida	
Neutra	
Básica	
No salino	
F. Salino	
Muy bajo	
Medio	
Muy alto	
Bajo	
Medio	
Alto	

Clase textural	Clase	Fr. A.
Arena %	63	
Limo %	19	
Arcilla %	18	

Parámetro	Resultado	Valoración
Ca / K	7.37	Deficiencia de Calcio
Ca / Mg	4.39	Deficiencia de Calcio
Mg / K	1.68	Deficiencia de Magnesio
(Ca + Mg + K)/Al		

23/01/2024  
 Ph.D. Maribel Verda Gómez  
 Responsable Laboratorio

A = arena, A.Fr = Arena franca; Fr.A. = Franco arenoso; Fr = Franco; Fr.L = Franco limoso; L = Limoso; FrArA = Franco arcillo arenoso; FrAr = Franco arcilloso; FrArL = Franco arcillo limoso; ArA = Arcillo arenoso; ArL = Arcillo limoso; Ar = Arcilloso.

Urb. Mariscal Cáceres Mz. "G-12" - Ayacucho / 966938028 - 966631889 / 982781298 agrolab107@gmail.com

*Resultados del análisis de suelos de caracterización de la muestra de Pampa del Arco - Ayacucho*

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS  
Bach. KELVIN JUSTO FERNANDEZ CARDENAS

R.D. N° 505-2025-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho a los trece días del mes de marzo del año dos mil veintiséis, siendo las dieciséis 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 el Ph.D. Marhleni Cerda Gómez, M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez como asesor y Dr. José Antonio Quispe Tenorio; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Influencia de la granulometría de Diatomita y Zeolita en la retención de humedad del suelo; Pampa del Arco, 2760 m.s.n.m., Ayacucho 2023**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo, presentado por el Bachiller **KELVIN JUSTO FERNANDEZ CARDENAS**.

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
Ph.D. Marhleni Cerda Gómez	16	15	17	16
M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez	15	16	15	15
Dr. José Antonio Quispe Tenorio	16	14	15	15
PROMEDIO GENERAL				15

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

  
.....  
Ph.D. Marhleni Cerda Gómez  
Presidente

  
.....  
M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez  
Asesor

  
.....  
Dr. José Antonio Quispe Tenorio  
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 operativizar, 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.D N° 213-2025-UNSCH-FCA-D; hace constar que el trabajo titulado;

### **Influencia de la granulometría de Diatomita y Zeolita en la retención de humedad del suelo; Pampa del Arco, 2760 m.s.n.m., Ayacucho 2023**

Autor : Kelvin Justo FERNANDEZ CARDENAS  
Asesor : Alex Lázaro TINEO BERMÚDEZ

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de tesis, aprobando mediante de RCU 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de trece por ciento **(13%)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajo estándar**.

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

Nota: Se adjunta el resultado con identificador de la entrega: 2925349520

Ayacucho, 07 de abril de 2026

.....  
**Angela J. Requis Quintanilla**

M.Sc. en Fitopatología  
E.P. Agronomía

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

# Influencia de la granulometría de Diatomita y Zeolita en la retención de humedad del suelo; Pampa del Arco, 2760 m.s.n.m., Ayacucho 2023

*por* Kelvin Justo FERNANDEZ CARDENAS

---

**Fecha de entrega:** 07-abr-2026 08:01p. m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2925349520

**Nombre del archivo:** TI\_-\_KelvinJustoFernandezCardenas.pdf (3.26M)

**Total de palabras:** 23698

**Total de caracteres:** 111654

# Influencia de la granulometría de Diatomita y Zeolita en la retención de humedad del suelo; Pampa del Arco, 2760 m.s.n.m., Ayacucho 2023

## INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	3%
2	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.uteq.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	docplayer.es Fuente de Internet	1%
5	dspace.unila.edu.br Fuente de Internet	1%
6	cia.uagraria.edu.ec Fuente de Internet	1%
7	Gonzalez Vazquez, Mariela. "Poblaciones de microorganismos asociados a la rizosfera del cultivo de la Calabaza (Cucurbita moschata	<1%

# Dutch.) durante un programa de agricultura sustentable", Proquest, 20111108

Publicación

---

8	<a href="http://repository.uaeh.edu.mx">repository.uaeh.edu.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
9	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	<1 %
10	<a href="http://repositorio.unheval.edu.pe">repositorio.unheval.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://scielo.sld.cu">scielo.sld.cu</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://dspace.unl.edu.ec">dspace.unl.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://revistas.unsch.edu.pe">revistas.unsch.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://repositorio.unsaac.edu.pe">repositorio.unsaac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://pdfslide.net">pdfslide.net</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://smcsmx.org">smcsmx.org</a> Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to University of Pretoria Trabajo del estudiante	

---

<1 %

19

[grad.uprm.edu](http://grad.uprm.edu)

Fuente de Internet

<1 %

20

[ses.library.usyd.edu.au](http://ses.library.usyd.edu.au)

Fuente de Internet

<1 %

21

[repositorioinstitucional.buap.mx](http://repositorioinstitucional.buap.mx)

Fuente de Internet

<1 %

22

[repositorio.uts.edu.co:8080](http://repositorio.uts.edu.co:8080)

Fuente de Internet

<1 %

23

Wang, C.. "Laser-induced fluorescence studies of jet-cooled CF<sup>2</sup>: determination of A-state stretching frequencies", Chemical Physics Letters, 19980522

Publicación

<1 %

24

[chapingo.uruza.edu.mx](http://chapingo.uruza.edu.mx)

Fuente de Internet

<1 %

25

[www.coursehero.com](http://www.coursehero.com)

Fuente de Internet

<1 %

26

[core.ac.uk](http://core.ac.uk)

Fuente de Internet

<1 %

27

[repositorio.uaaan.mx](http://repositorio.uaaan.mx)

Fuente de Internet

<1 %

28

Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD

<1 %

29

[repositorio.utc.edu.ec](http://repositorio.utc.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

---

30

[www.buenastareas.com](http://www.buenastareas.com)

Fuente de Internet

<1 %

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

## **Influencia de la granulometría de Diatomita y Zeolita en la retención de humedad del suelo; Pampa del Arco, 2760 m.s.n.m., Ayacucho 2023**

### **Influence of Diatomite and Zeolite Granulometry on Soil Moisture Retention; Pampa del Arco, 2760 m.s.n.m., Ayacucho 2023**

Kelvin Justo Fernandez Cardenas<sup>1</sup>  
[kelvin.fernandez.01@unsch.edu.pe](mailto:kelvin.fernandez.01@unsch.edu.pe)

Alex Lázaro Tineo Bermúdez<sup>2</sup>  
[alex.tineo@unsch.edu.pe](mailto:alex.tineo@unsch.edu.pe)

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

#### **RESUMEN**

La escasez de lluvias y el estrés hídrico son un problema recurrente y grave en ambientes semiáridos, afectando directamente la actividad agropecuaria; en tal sentido el uso de retenedores de humedad se convierte en una alternativa agronómica imprescindible para mejorar la retención de agua edáfica y optimización de uso. Con el objetivo de evaluar la influencia de la granulometría de diatomita y zeolita en la retención de agua del suelo y la reducción de la evaporación del agua del suelo (Reas) se desarrolló este trabajo empleando la metodología del evaporímetro de balanza, constituido por baldes con capacidad para 3,5 kg de suelo y una balanza gramera; los tratamientos consistieron en la incorporación de diatomita y zeolita de diferentes granulometrías (2000, 1000, 600, 300  $\mu\text{m}$  de diámetro) a razón de 1,5 g por evaporímetro (equivalente a 0,5 t ha<sup>-1</sup>), además de un testigo T0 (sin retenedor). Se evaluó la evaporación diaria de agua (mm) y el índice de reducción de la evaporación

de agua del suelo (Reas) a lo largo de diez días, con los que se realizó los análisis estadísticos correspondientes; se encontró que la incorporación de diatomita y zeolita en las diferentes granulometrías (2000, 1000, 600, 300  $\mu\text{m}$ ) aportaron significativamente en la reducción de la evaporación de agua, siendo la zeolita de 2000  $\mu\text{m}$  la que más retuvo el agua del suelo durante los diez días respecto al testigo; igualmente el índice Reas, la z2.0 (zeolita 2000  $\mu\text{m}$ ) permitió el valor más alto (28.7 %), seguida del d2.0 (diatomita 2000  $\mu\text{m}$ ) con 27.77 %, z1.0 (zeolita 1000  $\mu\text{m}$ ) con 24.21 %, d1.0 (diatomita 1000  $\mu\text{m}$ ) con 23.79 %, y el Reas más bajo se obtuvo con diatomita 300  $\mu\text{m}$  (14.78 %). Se concluye que la granulometría en el rango de partículas estudiado influye directamente proporcional la retención de humedad.

Palabras clave: humedad, granulometría, retenedores, diatomita, zeolita, índice Reas.

## ABSTRACT

Rainfall scarcity and water stress constitute a recurrent and serious problem in semi-arid environments, directly affecting agricultural activity. In this context, the use of moisture-retaining materials becomes an indispensable agronomic alternative to enhance soil water retention and to optimize of use. With the aim of evaluating the influence of diatomite and zeolite particle size on soil water retention and on the reduction of soil water evaporation (Reas), this study was carried out using the balance evaporimeter method, consisting of containers with a capacity of 3.5 kg of soil and a precision balance. The treatments involved the incorporation of diatomite and zeolite of different particle sizes (2000, 1000, 600, and 300  $\mu\text{m}$  in diameter) at a rate of 1.5 g per evaporimeter (equivalent to 0.5  $\text{t ha}^{-1}$ ), in addition to a control treatment (T0) without a moisture retainer. Daily water evaporation (mm) and the soil water evaporation reduction index (Reas) were evaluated over a ten-day period, after which the corresponding statistical analyses were performed. The results showed that the incorporation of diatomite and zeolite at the different particle sizes (2000, 1000, 600, and 300  $\mu\text{m}$ ) significantly contributed to reducing water evaporation, with 2000  $\mu\text{m}$  zeolite exhibiting the greatest soil water retention throughout the ten-day period

compared to the control. Likewise, regarding the Reas index, z2.0 (zeolite 2000  $\mu\text{m}$ ) recorded the highest value (28.7 %), followed by d2.0 (diatomite 2000  $\mu\text{m}$ ) with 27.77 %, z1.0 (zeolite 1000  $\mu\text{m}$ ) with 24.21 %, and d1.0 (diatomite 1000  $\mu\text{m}$ ) with 23.79 %, whereas the lowest Reas value corresponded to d0.3 (diatomite 300  $\mu\text{m}$ ) with 14.78 %. It's concludes that the particle size distribution in the studied particle range directly and proportionally influences moisture retention.

**Keywords:** moisture, particle size, retainers, diatomite, zeolite, Reas index.

## I. INTRODUCCIÓN

El problema de la falta de agua para los diferentes fines (agricultura, ganadería, consumo humano, industria, etc.) es un problema que en los últimos años va incrementando a causa del crecimiento demográfico y calentamiento global, lo que causa que el recurso agua cada vez esté más escaso y su uso limitado. El cambio climático, provoca alteraciones y modificaciones en los patrones de lluvia, generando sequías o inundaciones extremas, recomendando a buscar nuevas técnicas de planificación para mitigar esta dificultad (FAO, 2023).

Los procedimientos de cosecha y manejo eficiente del agua son importantes para

optimizar su uso, ya que, estas metodologías están ligadas a la mejora al aumento de la producción agrícola (Koda et al. 2009), (pág.54)

En este contexto, el uso de retenedores de humedad edáfica (diatomita, y zeolita, mulch, hidrogel, entre otros muchos) toman un papel fundamental para optimizar el uso controlado del agua para sus distintos fines en la agricultura y sobre todo en regiones como Ayacucho, clasificada como bosque seco montano bajo sub tropical, según la clasificación bioclimática de Holdridge. Estos materiales retenedores tienen diferentes bondades, en las que una de ellas es objeto del presente experimento reducir la velocidad de evaporación del agua edáfica, es importante evaluar cómo las diferentes granulometrías de estos materiales influyen en la capacidad de retención de humedad edáfica.

Este trabajo de investigación se enfoca en determinar la influencia de distintas granulometrías de diatomita y zeolita en la retención de humedad del suelo en Pampa del Arco. Utilizando una metodología desarrollada por el Área de Suelos de la Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, donde, se medirá la reducción de la evaporación de agua del suelo en lámina de agua (mm) y el índice de

reducción relativa de la evaporación del agua del suelo (Reas) empleando distintos tamaños de partículas de estos materiales. Se determinó la influencia del uso de diferentes granulometrías de diatomita y zeolita (2000, 1000, 600 y 300  $\mu\text{m}$ ), además de baldes de control sin material retenedor ni suelo para contrastar la variación de temperaturas diarias, el cual nos ofrece mejores resultados en resultados en términos de evaporación diaria.

El objetivo principal de esta investigación es determinar la granulometría óptima de diatomita y zeolita, materiales retenedores de humedad en el suelo. Además, se evaluarán los costos asociados con la aplicación de estos retenedores de humedad, proporcionando así, conceptos claves para recomendar distintos sistemas que puedan ser implementados por agricultores, empresas y profesionales del agro. Al tratar estos aspectos, se espera contribuir a mejorar la sostenibilidad agrícola a nivel local, nacional e internacional que tengan condiciones similares. Planteándose los siguientes objetivos:

1. Evaluar la influencia de la granulometría de diatomita y zeolita en la retención de la humedad del suelo en Pampa del Arco, Ayacucho 2760 msnm.

2. Determinar el índice de reducción relativa de la evaporación del agua del suelo (Reas) para diferentes granulometrías de diatomita y zeolita en Pampa del Arco, Ayacucho 2760 msnm.
3. Evaluar los costos de la aplicación de diatomita y zeolita en Pampa del Arco, Ayacucho 2760 msnm.

## **II. METODOLOGÍA**

### **2.1. Ubicación del campo experimental**

El presente trabajo de investigación se ejecutó en la Asoc. Los vencedores Mz. D Lt. 3 ubicado en la zona de Artesanos del distrito de Ayacucho, Provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho a una altitud de 2801 m.s.n.m. con las coordenadas geográficas: 13°08'17.80" Latitud Sur y 74°13'48.96" Longitud Oeste con la clasificación bioclimática Bosque seco montano bajo sub tropical (bsMBS), según (Holdridge, 1982), catalogado como una región semiárida

### **2.2. Características climáticas**

La zona de Artesanos ubicada en el distrito de Ayacucho, la cual es catalogada como una zona valle entre montañas con una media de lluvia de 560 mm / año. Resaltando la ausencia de lluvias de mayo a setiembre; descenso de temperaturas en los

meses junio, julio y agosto; y la presencia de lluvias inicia en el mes de octubre, finalizando regularmente en el mes de marzo.

### **2.3. Características edáficas**

La muestra de suelo evaluada se colectó en Pampa del Arco (alrededores de los pabellones de la Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga - UNSCH), distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho; siendo la muestra superficial colectada de los primeros 20 cm de profundidad donde se encontró una textura Franco Arenosa (FR. A.) con 63 % arena, 19% limo, 18 % arcilla. La cualidad del terreno en pendiente, se caracteriza por ser variable, componiéndose de zonas completamente planas a otras con pendientes suaves.

### **2.4. Variables e indicadores**

#### **2.4.1. Variables independientes**

Retenedores de humedad

d: Diatomita

z: Zeolita

#### **2.4.2. Variables dependientes**

- Evaporación del agua de suelo (mm/día)

- Índice de reducción de la evaporación del agua del suelo – Reas (%)

## 2.5. Diseño experimental

Se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA) para nueve tratamientos (retenedores de humedad): T1: d2.0, T2: d1.0, T3: d0.6, T4: z0.3, T5: z2.0, T6: z1.0, T7: z0.6 y T8: z0.3; más 1 testigo (sin retenedor), cada una con tres repeticiones.

El modelo empleado para el análisis estadístico de este diseño es el Modelo Aditivo Lineal (MAL), que se representa así:

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

### Donde:

$Y_{ij}$  = es la observación del valor de evaporación o pérdida de peso que se anotó en la libreta de apuntes para un balde específico (la  $i$ -ésima unidad de tratamiento y la  $j$ -ésima repetición).

$\mu$  = es el promedio general de la evaporación de todos los baldes por

tratamiento en el experimento, como un punto de referencia.

$\tau_i$  = es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.

$\varepsilon_{ij}$  = es el error experimental.

$i$  = oscila de 1, 2, 3, ...,  $t$  (tratamientos)

$j$  = oscila de 1, 2, 3, ...,  $r$  (repeticiones)

$t$  = es el número de tratamientos (8)

$r$  = es el número de repeticiones (3)

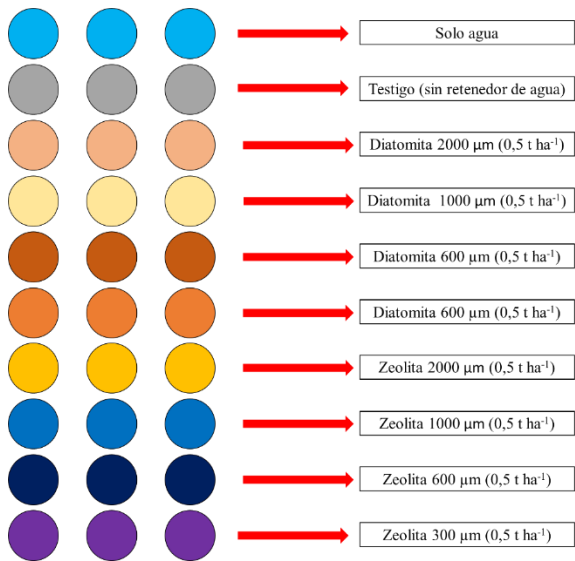
**Tabla 1**  
*Descripción de tratamientos*

Tratamiento	Código	Material	Nivel
<b>T0</b>	t	Testigo	-
<b>T1</b>	d2.0	diatomita (2000 um)	0,5 t ha <sup>-1</sup>
<b>T2</b>	d1.0	diatomita (1000 um)	0,5 t ha <sup>-1</sup>
<b>T3</b>	d0.6	diatomita (600 um)	0,5 t ha <sup>-1</sup>
<b>T4</b>	d0.3	diatomita (300 um)	0,5 t ha <sup>-1</sup>
<b>T5</b>	z2.0	zeolita (2000 um)	0,5 t ha <sup>-1</sup>
<b>T6</b>	z1.0	zeolita (1000 um)	0,5 t ha <sup>-1</sup>
<b>T7</b>	z0.6	zeolita (600 um)	0,5 t ha <sup>-1</sup>
<b>T8</b>	z0.3	zeolita (300 um)	0,5 t ha <sup>-1</sup>

## 2.6. Procedimiento experimental

Las unidades experimentales consistieron en evaporímetros de balanza separados a 0.1m de distancia entre ellas, para el registro de datos de referencia se acompañó de evaporímetros (baldes con solo agua). La distribución de los tratamientos se detalla en la Figura 2.1.

**Figura 2.1**  
*Distribución de tratamientos*



Fuente. Elaboración propia

El registro de los pesos se realizó un riguroso registro de peso de las U.E. cada 24 horas (6 am), utilizando una balanza con capacidad de 5 kg y una precisión de hasta un gramo, este proceso se mantuvo durante un periodo total de diez días. Para el cálculo de la lámina de agua evaporada (mm) por día, tomamos la diferencia de peso entre dos registros consecutivos ( $\text{cm}^3$ ) dividiéndola por el área superficial del evaporímetro ( $\text{cm}^2$ ) y finalizando con una operación de multiplicación por 10 para convertirla en mm.

### 2.7. Procesamiento de datos

Se realizaron llevamos a cabo los análisis de varianza (ANVA) necesarios. Para la evaporación del agua, el análisis se hizo con las 27 (U.E.), empleando el contraste de polinomios ortogonales y la prueba de

Tukey. En el caso del índice Reas, el análisis de varianza se limitó a las 24 (U.E.). que correspondían únicamente a los tratamientos que contenían retenedores de humedad.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Evaluación del impacto de los retenedores de humedad en la evaporación de agua

La tabla 3.1 lámina de agua evaporada y figuras 3.1 y 3.2 muestran los valores de evaporación promedio (mm / día), donde se observa que la mayor evaporación de agua corresponde al testigo T0 (sin retenedor), frente a los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 y T8 (con aplicación de material retenedor); asimismo, se refleja que la menor pérdida de evaporación pertenece a los tratamientos de granulometría gruesa, tanto diatomita como zeolita (z2.0, z1.0, d2.0 y d1.0) a lo largo del experimento; por otro lado, los tratamientos con mayor pérdida de humedad son los de granulometría fina (d0.6, d0.3, z0.6 y z0.3).

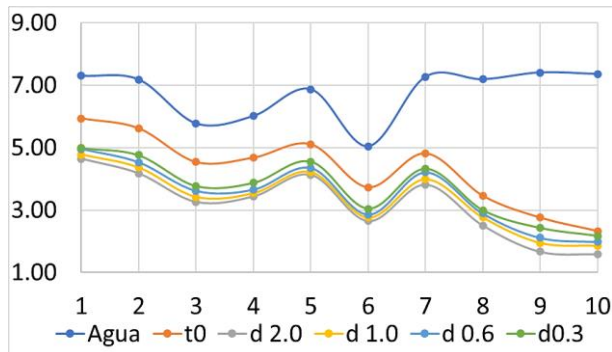
**Tabla 3.1**  
*Lámina de agua promedio evaporada (mm) para todos los tratamientos*

Tratamiento	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Agua	7.30	7.18	5.77	6.01	6.87
t0	5.94	5.62	4.54	4.68	5.11
d2.0	4.64	4.17	3.26	3.43	4.13
d1.0	4.78	4.36	3.42	3.54	4.22

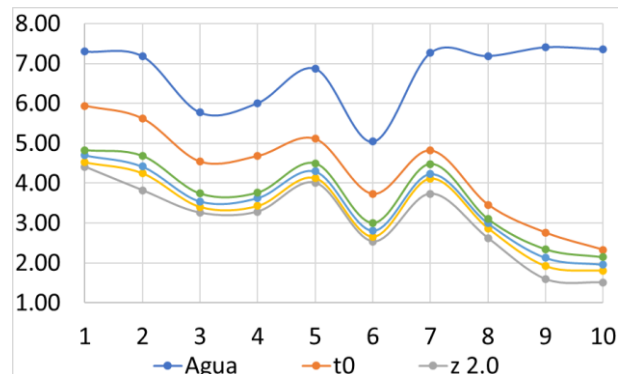
<b>d0.6</b>	4.96	4.53	3.62	3.66	4.35
<b>d0.3</b>	4.99	4.76	3.77	3.87	4.56
<b>z2.0</b>	4.41	3.82	3.26	3.29	4.01
<b>z1.0</b>	4.52	4.25	3.40	3.43	4.13
<b>z0.6</b>	4.70	4.42	3.55	3.63	4.30
<b>z0.3</b>	4.83	4.68	3.74	3.76	4.50

Tratamiento	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
<b>Agua</b>	5.04	7.27	7.19	7.41	7.36
<b>t0</b>	3.73	4.82	3.46	2.76	2.33
<b>d2.0</b>	2.65	3.81	2.51	1.67	1.59
<b>d1.0</b>	2.76	3.99	2.76	1.95	1.85
<b>d0.6</b>	2.86	4.21	2.89	2.11	1.98
<b>d0.3</b>	3.04	4.33	3.00	2.42	2.17
<b>z2.0</b>	2.54	3.74	2.62	1.60	1.51
<b>z1.0</b>	2.66	4.12	2.87	1.92	1.80
<b>z0.6</b>	2.81	4.23	2.99	2.13	1.96
<b>z0.3</b>	3.01	4.48	3.10	2.35	2.15

**Figura 3.1**  
Evaporación de agua en los tratamientos de diatomita (2000  $\mu\text{m}$ , 1000  $\mu\text{m}$ , 600  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$ )



**Figura 3.2**  
Evaporación de agua en los tratamientos de zeolita (2000  $\mu\text{m}$ , 1000  $\mu\text{m}$ , 600  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$ )



**Tabla 3.2**  
Análisis de la varianza para la evaporación diaria de agua edáfica

FV	GL	LA1	LA2	LA3	LA4	LA5
<b>Trat.</b>	8	70.079 **	82.481 **	37.812 **	46.251 **	32.384 **
<b>Error</b>	18	70.079	82.481	37.812	46.251	32.384
<b>Total</b>	26	4.931	6.206	3.928	4.212	2.801
<b>CV</b>		1.989	2.121	3.06	2.817	2.302

FV	GL	LA6	LA7	LA8	LA9	LA10
<b>Trat.</b>	8	34.003 **	28.105 **	19.573 **	38.933 **	19.632 **
<b>Error</b>	18	34.003	28.105	19.573	38.933	19.632
<b>Total</b>	26	3.197	2.898	2.079	3.463	1.955
<b>CV</b>		3.626	2.606	3.749	4.879	5.485

Nota. (LA1: lámina de agua del día 1;... ;LA10: lámina de agua del día 10).

El análisis estadístico para la lámina de agua perdida por evaporación (Tablas 3.2 y 3.3), presentó diferencias altamente significativas durante el periodo. El tratamiento z2.0 alcanzó menor evaporación con 4.41 mm (día 1), 3.29 mm (día 4), 3.74 mm (día 7) y 1.51 mm (día 10); por otra parte, el tratamiento con aplicación de material retenedor con mayor pérdida de

lámina de agua fue d0.3 con 4.99 mm (día 1), 3.87 mm (día 4), 4.48 mm (día 7) y 2.17 mm (día 10); la mayor pérdida de agua ocurrió en el t0 con 5.94 mm (día 1), 4.68 mm (día 4), 4.82 mm (día 7) y 2.33 mm (día 10). De manera general, la menor pérdida ocurrió en el tratamiento z2.0.

**Tabla 3.3**  
*Prueba de Tukey del efecto de la aplicación de distintos tratamientos en la evaporación diaria de agua edáfica*

Trat.	LA6	LA7	LA8	LA9	LA10
<b>d2.0</b>	2.65 ab	3.81 ab	2.51 a	1.67 ab	1.59 ab
<b>d1.0</b>	2.76 abc	3.99 abc	2.76 abc	1.95 bc	1.85 bcd
<b>d0.6</b>	2.86 bc	4.21 cde	2.89 bcd	2.11 cd	1.98 cde
<b>d0.3</b>	3.04 c	4.33 de	3.00 cd	2.42 e	2.17 ef
<b>z2.0</b>	2.54 a	3.74 a	2.62 ab	1.60 a	1.51 a
<b>z1.0</b>	2.66 ab	4.12 bcd	2.87 bcd	1.92 bc	1.80 abc
<b>z0.6</b>	2.81 abc	4.23 cde	2.99 cd	2.13 cde	1.96 cde
<b>z0.3</b>	3.01 c	4.48 e	3.10 d	2.35 de	2.15 def
<b>t0</b>	3.73 d	4.82 f	3.46 e	2.76 f	2.33 f

Trat.	LA6	LA7	LA8	LA9	LA10
<b>d2.0</b>	2.65 ab	3.81 ab	2.51 a	1.67 ab	1.59 ab
<b>d1.0</b>	2.76 abc	3.99 abc	2.76 abc	1.95 bc	1.85 bcd
<b>d0.6</b>	2.86 bc	4.21 cde	2.89 bcd	2.11 cd	1.98 cde
<b>d0.3</b>	3.04 c	4.33 de	3.00 cd	2.42 e	2.17 ef
<b>z2.0</b>	2.54 a	3.74 a	2.62 ab	1.60 a	1.51 a

<b>z1.0</b>	2.66 ab	4.12 bcd	2.87 bcd	1.92 bc	1.80 abc
<b>z0.6</b>	2.81 abc	4.23 cde	2.99 cd	2.13 cde	1.96 cde
<b>z0.3</b>	3.01 c	4.48 e	3.10 d	2.35 de	2.15 def
<b>t0</b>	3.73 d	4.82 f	3.46 e	2.76 f	2.33 f

**Nota.** (d: diatomita; z: zeolita; 2.0: 2000 µm; 1.0: 1000 µm; 0.6: 600 µm y 0.3: 300 µm).

En la Tabla 3.3 (prueba de Tukey) se refleja que la menor pérdida de evaporación pertenece a los tratamientos de granulometría gruesa, tanto diatomita como zeolita (z2.0, z1.0, d2.0 y d1.0) a lo largo del experimento; por otro lado, los tratamientos con mayor pérdida de humedad son los de granulometría fina (d0.6, d0.3, z0.6 y z0.3).

La eficiencia demostrada por la aplicación de material retenedor en la reducción de evaporación edáfica coincide con lo manifestado por Vijay y Suhas, (2018); Yu y Zhao, (2022); Flores et al. (2021). Girijaveni et al. (2025) aplicó 200 kg ha<sup>-1</sup> de zeolita en el cultivo de tomate, resultando en incremento de la retención de agua del suelo; asimismo, Soca et al. (2016) aplicó 0, 5, 12, 18 y 24 t ha<sup>-1</sup> de zeolita, incrementando el C.I.C. y retención de agua; según Cerda (2019) la aplicación de diatomita de 2000 µm al (15 % v/v) aumentó la capacidad de campo de un suelo franco arenoso (Fr. A.) en un 9.77%. El trabajo de Bardales y Carrillo (2021)

reporta la reducción de evaporación edáfica con la aplicación de diatomita al 4 % del peso total de suelo; y el trabajo de Espinosa et al. (2021) en la aplicación de 25 t ha<sup>-1</sup> de zeolita de 1 a 5 mm acompañada de estiércol vacuno aportaron en la retención de agua; Ibrahim (2021) aplicó zeolita de (20, 2 y 0.2  $\mu\text{m}$ ) al 1% del peso total del suelo, encontrando el incremento de la retención de humedad, siendo experimentos que no se podrían replicar en los productores de bajos recursos por sus altas dosis de aplicación y costos de adquisición excesivos. Otros autores contradicen lo encontrado en la presente investigación; Szatanik (2021) quien aplicó de 1 a 8 t ha<sup>-1</sup> de zeolita acompañada de fertilizante nitrogenado, concluyó que no hay mejora en la capacidad de retención de agua, igualmente Anicua et al. (2023) expresa que la granulometría con mejor capacidad de retención de humedad edáfica es la de 1000  $\mu\text{m}$  respecto a otros de mayor y menor granulometría de rango (3360  $\mu\text{m}$  a 130  $\mu\text{m}$ ).

### 3.2. Influencia de la aplicación de retenedores de humedad en el índice de Reducción de evaporación del agua del suelo (Reas)

La tabla 3.4 Índice Reas y figuras 3.3 y 3.4 muestran los valores del índice Reas

correspondientes a los tratamientos a lo largo del experimento. Los valores obtenidos permitieron establecer el siguiente orden decreciente de índice Reas: T5: z2.0 con una media de 26.5 %, T1: d2.0 con 24.8 %, T6: z1.0 con 24.7 %, T2: d1.0 con 22.0 %, T7: z0.6 con 21.8 %, T3: d0.6 con 17.9%, T8: z0.3 con 16.2 % y T4: d0.3 con 15.9 %. Los resultados del tratamiento T5: z1.0 presentaron mayores valores que el T1: d2.0 durante los días 1 al 5; sin embargo, a partir del día 6 al 10 se invirtió, registrando los mayores valores el T1: d2.0 y menores el T5: z1.0.

**Tabla 3.4**  
*Cálculo del índice REAS de los tratamientos con respecto al testigo*

Trat.	Día1	Día2	Día3	Día4	Día5
<b>d2.0</b>	22.2	24.0	25.3	25.7	24.4
<b>d1.0</b>	20.1	21.5	22.5	23.1	22.1
<b>d0.6</b>	16.2	17.6	18.3	19.0	18.1
<b>d0.3</b>	16.6	16.3	16.6	16.9	15.8
<b>z2.0</b>	24.5	27.6	27.4	27.6	26.2
<b>z1.0</b>	24.9	25.2	25.4	25.9	24.8
<b>z0.6</b>	22.3	22.5	22.7	22.9	21.8
<b>z0.3</b>	18.1	17.1	17.1	17.6	16.3

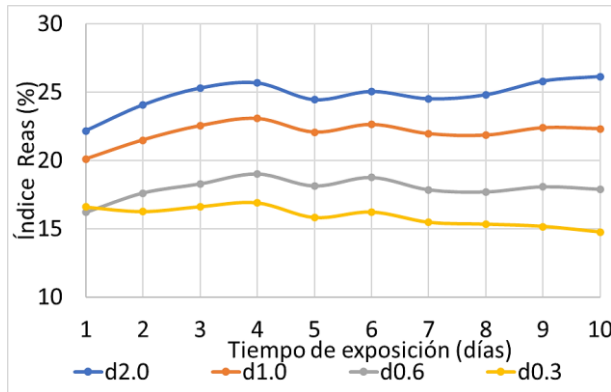
*Nota.* (d: diatomita; z: zeolita; 2.0: 2000  $\mu\text{m}$ ; 1: 1000  $\mu\text{m}$ ; 0.6: 600  $\mu\text{m}$  y 0.3: 300  $\mu\text{m}$ ).

Trat.	Día6	Día7	Día8	Día9	Día10
<b>d2.0</b>	25.0	24.5	24.8	25.8	26.1
<b>d1.0</b>	22.6	21.9	21.8	22.4	22.3
<b>d0.6</b>	18.7	17.8	17.7	18.1	17.9
<b>d0.3</b>	16.2	15.5	15.3	15.2	14.7
<b>z2.0</b>	26.7	25.9	25.7	26.7	27.1
<b>z1.0</b>	25.4	24.1	23.5	24.1	24.0
<b>z0.6</b>	22.3	21.1	20.6	20.8	20.6

**z0.3** 16.6 15.2 14.7 14.7 14.2

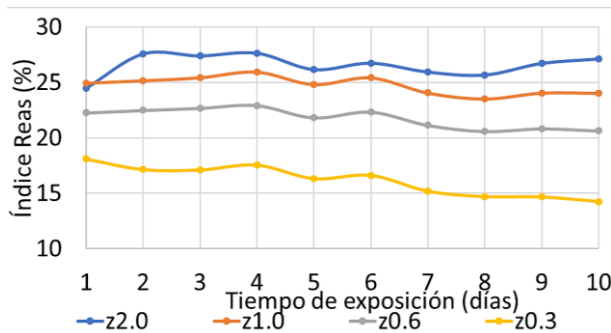
**Figura 3.3**

Gráfico del del índice Reas de los tratamientos de diatomita con respecto al testigo



**Figura 3.4**

Gráfico del del índice Reas de los tratamientos de zeolita con respecto al testigo



En la tabla 3.5 del análisis de varianza del índice y tabla 3.6 prueba de Tukey, los resultados muestran diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) a lo largo del trabajo, donde: T1: d 2000  $\mu\text{m}$  obtuvo una media de 27.279 %, T2: d 1000  $\mu\text{m}$  con 22.71 %, T3: d 600  $\mu\text{m}$  con 18.076 %, T4: d 300  $\mu\text{m}$  14.35 %, T5: z 2000  $\mu\text{m}$  con 28.07 %, T6: z 1000  $\mu\text{m}$  con 24.291 %, T7: z 600  $\mu\text{m}$  con 20.552 %, y T8: z 300  $\mu\text{m}$  con 13.77 %.

**Tabla 3.5**

Análisis de la varianza para el índice de Reas diario

FV	GL	Reas i	Reas f
Trat	7	66.301 **	80.065 **
Error	24	0.344	0.192
Total	31		
CV		2.698	2.110

**Tabla 3.6**

Prueba de Tukey del índice de Reas inicial y final

F	N	Reas i (días 2, 3, 4 y 5)	Reas f (días 7, 8, 9 y 10)
d	2	24.858 % b	25.307 % b
d	1	22.281 % c	22.114 % d
d	0.6	18.250 % d	17.871 % f
d	0.3	16.396 % e	15.172 % g
z	2	27.180 % a	26.351 % a
z	1	25.339 % b	23.916 % c
z	0.6	22.476 % c	20.799 % e
z	0.3	17.030 % d e	14.693 % g

Nota. (F: fuente, N: nivel).

Al respecto, Cerda, (2019) manifiesta que la aplicación de dosis de diatomita (0, 5, 10 y 15 % v/v) de 2 mm en un suelo franco arenoso (Fr. A.) incubada durante 6 meses a condiciones de capacidad de campo, aumenta significativamente la capacidad de campo en 3.14 %, 6.4 %, 9.77 % con respecto al testigo. (p.91). Tineo (2021), evaluó la influencia de granulometría de diatomita (500  $\mu\text{m}$ , 2000  $\mu\text{m}$ , 3500  $\mu\text{m}$  y 5000  $\mu\text{m}$ ) en dos niveles (0.5 y 1.0  $\text{t ha}^{-1}$ ), la menor evaporación de agua edáfica corresponde a los niveles (0.5 y 1.0  $\text{t ha}^{-1}$ ) en las granulometrías 2000  $\mu\text{m}$  y 3500  $\mu\text{m}$ . En contraste de los resultados

del presente trabajo, Szatanik et al. (2021) reportó que la aplicación de zeolita no reportó aumento en la capacidad de retención de humedad y para tener resultados valores positivos, la aplicación debe ser en una proporción de 40 g de zeolita por cada 100g de suelo; cantidades que en la práctica son inviables; a su vez Ibrahim et al. (2021) analizó la influencia del tamaño de partículas de zeolita (20, 2,0 y 0,2  $\mu\text{m}$ ), aplicada al 1% en un suelo franco arenoso (Fr. A.) en columnas instrumentadas con ciclos de humectación y secado, concluyendo que la partícula (0.2  $\mu\text{m}$ ) mostró mayor reducción de humedad edáfica y reducción en la infiltración respecto al control.

### 3.3.Costo del material retenedor

Rodrigo Romero, (2019) establece que el costo de la diatomita es de 0.9 a 1 sol, siendo un punto de referencia para la evaluación económica en la región.

Debido a la naturaleza de la comercialización de insumos agrícolas a granel en el Perú, el precio final de la zeolita (clinoptilolita) presenta una alta variabilidad que depende del volumen de compra, la malla granulométrica; para establecer la viabilidad económica del tratamiento de zeolita en este estudio, se ha adoptado una metodología de cotización

directa, donde se encontró un precio promedio de 8 soles por kilogramo.

**Tabla 3.7**

*Costo de material retenedor para evaporímetro de balanza (baldes) y dosis por ha*

Material	Cantidad	Precio unitario (s/.)	Total (s/.)
Diatomita por 0.03 m <sup>2</sup>	0.0015 kg	1	0.0015
Diatomita por ha	500 kg	1	500
Zeolita por 0.03 m <sup>2</sup>	0.0015 kg	8	0.012
Zeolita por ha	500 kg	8	4000

La tabla 3.7 presenta el costo de los materiales retenedores de agua (diatomita y zeolita) para la escala experimental correspondiente al área de un evaporímetro de balanza (0,03 m<sup>2</sup>) como para su extrapolación a una hectárea. Observándose que los costos a escala experimental son bajos, mientras que llevarlos a nivel de hectárea la zeolita incrementa significativamente el costo total en comparación con la diatomita, evidenciando una marcada diferencia económica entre ambos materiales.

## IV. CONCLUSIONES

1. La retención de humedad del suelo es influenciada por la granulometría de diatomita y zeolita, siendo la gruesa la que contribuye a mayor

retención de agua edáfica respecto de la fina. El testigo registró mayores pérdidas de agua por evaporación.

2. La influencia de las diferentes granulometrías de diatomita y zeolita en el índice de reducción relativa de la evaporación del agua del suelo (Reas) es significativa durante el periodo evaluado. El mayor índice Reas corresponde a la zeolita de 2000  $\mu\text{m}$ ; asimismo, la menor Reas se alcanzó con la diatomita de 300  $\mu\text{m}$ .
3. La aplicación de diatomita se presenta como la alternativa económicamente más viable para la reducción de la evaporación del agua del suelo en Pampa del Arco, Ayacucho (2760 msnm).

## V. REFERENCIAS

### BIBLIOGRÁFICAS

Anicua, R., Gutiérrez Castorena, M. del C., Sánchez García, P., Ortiz Solorio, C., Volke Halle, V. H., & Rubiños Panta, J. E. (2009). Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. *Agricultura técnica en México*, 35(2), 147-156.

Bardales, V. J., & Carrillo, M. J. (2021). Sistema de tratamiento con diatomita para la retención de agua de los suelos arenosos en el Huerto San Antonio, Ica, 2021. *Repositorio Institucional - UCV*.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/63467>

Cerda, M. (2019). Efecto de niveles de diatomita en propiedades físicas de suelos, en laboratorio-Ayacucho. 2019. *Investigación*, 28(1), Article 1. <https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.28.1.2020.360>

Espinosa, W., Ríos Albuérne, C., Díaz Ercia, T., Espinosa Aguilera, W., Ríos Albuérne, C., & Díaz Ercia, T. (2021). Producción ecológica del tomate *Solanum Lycopersicum* L. (var. Campbell 28) con el uso de zeolita natural mezclada con estiércol vacuno. *Centro Agrícola*, 48(1), 23-27.

FAO. (2023, marzo 21). “La escasez de agua supone menos agua para la producción agrícola, lo cual, a su vez, se traduce en una menor disponibilidad de alimentos y pone en peligro la seguridad alimentaria y la nutrición”. Newsroom. [https://www.fao.org/newsroom/detail/water-scarcity-means-less-water-for-agriculture-production-which-in-turn-means-less-food-available-threatening-food-security-and-nutrition/es?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.fao.org/newsroom/detail/water-scarcity-means-less-water-for-agriculture-production-which-in-turn-means-less-food-available-threatening-food-security-and-nutrition/es?utm_source=chatgpt.com)

FAO. (s/f). 1. GENERALIDADES. [https://www.fao.org/fishery/static/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s01.htm](https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s01.htm)

FAO. ((s/f)a). *Estructura del Suelo*. [https://www.fao.org/fishery/static/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s07.htm](https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s07.htm)

Flores, E. S., Juambelz, I. R. L., Velázquez-Vázquez, D., Moreno-Pérez, E., & Hernández-Ávila, J. (2021). Modificación del comportamiento del mortero con respecto a la humedad por adición de zeolita. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 9(Especial2), Article Especial2.

<https://doi.org/10.29057/icbi.v9iEspecial2.8008>

Girijaveni, V., Sammi, R., Srinivasarao, C., Raju, B. M. K., Balakrishnan, D., Kundu, S., Pushpanjali, Rohit, J., V K, S., & Pushpanjali. (2025). Role of mordenite zeolite in improving nutrient and water use efficiency in Alfisols. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1404077>

Ibrahim, H. M., Alghamdi, A. G., Ibrahim, H. M., & Alghamdi, A. G. (2021). Effect of the Particle Size of Clinoptilolite Zeolite on Water Content and Soil Water Storage in a Loamy Sand Soil. *Water*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/w13050607>

Koda, K. K., Mayahara, J. Y. S., & Insfran, A. (2009). IMPORTANCIA ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA CAPTACIÓN Y MANEJO DE AGUA DE LLUVIA PARA UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE EN EL DISTRITO DE PIRAPÓ. *Revista sobre estudios e investigaciones del saber académico*, 3, Article 3.

Rodrigo Romero, E. E. (2019). *Estudio Experimental del Empleo de la Diatomita Proveniente de Ayacucho Como Aditivo Natural para Concretos de Resistencias F'C = 210 KGF/CM2 Y 280 KGF/CM2 En La Ciudad De Arequipa*. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/8879>

Soca, M., Daza-Torres, M. C., Soca, M., & Daza-Torres, M. C. (2016a). Evaluación de fracciones granulométricas y dosis de zeolita para la agricultura. *Agrociencia*, 50(8), 965-976.

Soca, M., Daza-Torres, M. C., Soca, M., & Daza-Torres, M. C. (2016b). Evaluación de fracciones granulométricas y dosis de zeolita para la agricultura. *Agrociencia*, 50(8), 965-976.

Szatanik, A., Szerement, J., Adamczuk, A., & Józefaciuk, G. (2021). Effect of Low Zeolite Doses on Plants and Soil Physicochemical Properties. *Materials*, 14(10), 2617. <https://doi.org/10.3390/ma14102617>

Tineo, A. L., Cabrera, C. F., & Fernández, S. (2021). NIVELES Y GRANULOMETRÍA DE DIATOMITA EN EL RENDIMIENTO DE TOMATE, EN SECANO. AYACUCHO, 2020. *Investigación*, 29(1), 73-82. <https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.29.1.2021.285>

Vijay, J., & Suhas, W. (2018, mayo). *Zeolites: Potential soil amendments for improving nutrient and water use efficiency and agriculture productivity*. [https://www.researchgate.net/publication/325544295\\_Zeolites\\_Potential\\_soil\\_amendments\\_for\\_improving\\_nutrient\\_and\\_water\\_use\\_efficiency\\_and\\_agriculture\\_productivity](https://www.researchgate.net/publication/325544295_Zeolites_Potential_soil_amendments_for_improving_nutrient_and_water_use_efficiency_and_agriculture_productivity)

Yu, J., & Zhao, D. (2022). Preface to special topic on new era of zeolite science. *National Science Review*, 9(9), nwac157. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwac157>

Zamnesia. (2022, septiembre 5). *5 Factores Clave En La Disponibilidad De Nutrientes Del Cannabis—Zamnesia*. <https://www.zamnesia.es/cultivar-marihuana/502-disponibilidad-nutrientes-cannabis>