

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES



Efecto del hidrogel sobre el rendimiento de *Brassica rapa* L. “nabo”
y *Spinacia oleracea* L. “espinaca” irrigadas con dos niveles de agua,
Chancay-Huaral

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

AUTORES

Cristhian Gerals Chávez Duran
Vianca Yesenia Colupu Vilcherrez

ASESORES

Roger Manuel Mestas Valerio
Honorio Eloy Munive Jáuregui

Huaura, Perú

2023

METADATOS COMPLEMENTARIOS**Datos de los Autores****Autor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 3

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 4

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos de los Asesores**Asesor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Asesor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Datos del Jurado

Presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la Obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

***Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 041 - 2023/UCSS/FIA/DI

Siendo las 10:00 a.m. del lunes 30 de octubre de 2023, a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|--------------------------------------|-----------------|
| 1. Juan José Monroy Ramos | presidente |
| 2. Luis Humberto Lucchetti Rodríguez | primer miembro |
| 3. Jeison Joan Cabanillas Vásquez | segundo miembro |
| 4. Roger Manuel Mestas Valero | asesor (a) |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada **Efecto del hidrogel sobre el rendimiento de *Brassica rapa* L. "nabo" y *Spinacia oleracea* "espinaca" L. irrigadas con dos niveles de agua, Chancay-Huaral**, que presentan los bachilleres en Ciencias Agrarias **Cristhian Gerals Chávez Duran y Vianca Yesenia Colupu Vilcherrez**, cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Agrónomo**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el Jurado acuerda:

APROBAR **X**

DESAPROBAR ...

La tesis, con el calificativo de **MUY BUENA** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AGRÓNOMO.

Lima, 30 de octubre de 2023.

Juan José Monroy Ramos
Presidente

Luis Humberto Lucchetti Rodríguez
1° miembro

Jeison Joan Cabanillas Vásquez
2° miembro

Roger Manuel Mestas Valero
Asesor (a)

Anexo 2**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO**

Lima, 20 de Marzo del 2024

Señor(a),
Wilfredo Mendoza Caballero
Jefe del Departamento de Investigación
Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales - UCSS

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis**, bajo mi asesoría, con título: Efecto del hidrogel sobre el rendimiento de *Brassica rapa* L. "nabo" y *Spinacia oleracea* L. "espinaca" irrigadas con dos niveles de agua, Chancay-Huaral, presentado por 2010100905 - 47318773 y 2010100887 - 71809810 (código de estudiante y DNI) para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Agrónomo ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 1 %** (poner el valor del porcentaje).* Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Roger Mestas Valero', is centered on the page. The signature is fluid and cursive.

Dr. Roger Manuel Mestas Valero
DNI N°: 23842285
ORCID: 0000-0002-5097-9988.
Facultad de Ingeniería Agraria - UCSS

* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

DEDICATORIA

A mis padres por haberme dado su apoyo incondicional durante todos estos años y por ser esa razón el más grande motivo para el cumplimiento de mis objetivos que significan alegría y orgullo para mí y también para ellos.

Cristhian Gerals

A Dios por darme la vida, bendecirte y ser el guía de mi camino y a mis padres por inculcarme buenos principios y valores a fin de ser una mejor persona.

A mi hija Julieth por ser el motivo y fuerza de superación.

A mis hermanos y demás familiares por su valiosa e incentivadora ayuda, siempre estaré infinitamente agradecida.

Vianca Yesenia

AGRADECIMIENTO

- A mis nuestros estimados padres por formarnos con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual nos ha permitido saber cómo actuar en cada episodio de nuestras vidas. Somos muy afortunados de tenerlos porque ellos son lo más bello que Dios ha puesto en nuestro camino y por quienes estamos inmensamente agradecidos.
- A nuestros asesores Dr. Honorio Eloy Munive Jáuregui y Dr. Roger Manuel Mestas Valero, por guiarnos y asesorarnos con la generosidad que los caracteriza, en la realización de esta investigación.
- A los docentes de la Universidad Católica Sedes Sapientiae – Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales por brindarnos una formación académica e impartirnos conocimientos y valores éticos y cristianos a fin de ser excelentes profesionales.
- A nuestros hermanos, hermanas y familiares, por su apoyo incondicional para cumplir este gran sueño que comprometía esfuerzo y dedicación para lograrlo.
- A nuestros hijos y a nuestros respectivos esposos por ser una parte muy importante en nuestras vidas y que, durante este tiempo han sabido brindarnos el apoyo que necesitamos para continuar con esta investigación.
- A nuestros amigos por confiar y creer en nosotros y haber hecho de esta etapa un trayecto de vivencias que nunca olvidaremos.

Cristhian Gerals y Vianca Colupu

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
RESUMEN	XV
ABSTRACT.....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	4
1.1. ANTECEDENTES.....	4
<i>Internacionales.....</i>	<i>4</i>
<i>Nacionales</i>	<i>10</i>
1.2. BASES TEÓRICAS ESPECIALIZADAS	14
<i>1.2.1. Clasificación y/o segmentación mundial de los recursos hídricos.....</i>	<i>14</i>
<i>1.2.2. Agua.....</i>	<i>15</i>
<i>1.2.3. El agua en el suelo.....</i>	<i>19</i>
<i>1.2.4. Retención del agua en el suelo.....</i>	<i>20</i>
<i>1.2.5. Movimiento del agua en el suelo.....</i>	<i>21</i>
<i>1.2.6. Factores edáficos que afectan el movimiento del agua en el suelo.....</i>	<i>23</i>
<i>1.2.7. Riego.....</i>	<i>26</i>
<i>1.2.8. Tipos de riego.....</i>	<i>27</i>
<i>1.2.9. Manejo del agua de riego.....</i>	<i>30</i>
<i>1.2.10. Hidrogel</i>	<i>32</i>
<i>1.2.11. Cultivo de la “espinaca”</i>	<i>34</i>
<i>1.2.12. Cultivo del “nabo”</i>	<i>36</i>
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
2.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	38
2.2. LUGAR Y FECHA	38
2.3. MATERIALES.....	39
2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	39
2.5. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO.....	40
2.6. TRATAMIENTOS.....	43
2.7. UNIDADES EXPERIMENTALES	44
2.8. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES Y SU MENSURACIÓN	45
2.9. DISEÑO ESTADÍSTICO	45
2.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS.....	46

CAPÍTULO III: RESULTADOS	47
3.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUSTRATO	47
3.1.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DEL SUSTRATO	47
3.2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES BIOMÉTRICAS	48
3.2.1. ALTURA DE PLANTAS	48
3.2.2. <i>Longitud de las raíces</i>	53
3.3. RESULTADOS DEL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS EN VERDE Y EN MATERIA SECA	58
3.3.1. <i>Peso fresco y seco de hojas</i>	58
3.3.2. <i>Peso de los tallos</i>	64
3.3.3. <i>Peso fresco y seco de las raíces</i>	69
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN	76
4.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUSTRATO UTILIZADO EN LA EXPERIMENTACIÓN	76
4.1.1. <i>Resultados del análisis de caracterización del sustrato</i>	76
4.2. <i>Evaluación de las variables biométricas</i>	77
4.2.1. <i>Altura de plantas</i>	77
4.2.2. <i>Longitud de las raíces</i>	78
4.3. EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL “NABO” Y LA “ESPINACA”	80
4.3.1. <i>Peso en fresco y en materia seca de las hojas</i>	80
4.3.2. <i>Peso en fresco y en materia seca de los tallos</i>	83
4.3.3. <i>Peso en húmedo y en materia seca de las raíces</i>	85
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	90
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	93
REFERENCIAS	94
<i>Campos, A. (2020). El contenido de agua en el suelo: su importancia. El Portal.</i> https://elportal.mx/princ/el-contenido-de-agua-en-el-suelo-su-importancia/	94
IZA, M. (2021). PRECIPITACIÓN ¿CUÁNDO ES POCO Y CUÁNDO ES MUCHO? EL TIEMPO.ES. HTTPS://WWW.ELTIEMPO.ES/NOTICIAS/PRECIPITACION-CUANDO-ES-POCO-Y-CUANDO-ES	97
<i>Martínez, J. (2020). ¿Cómo llega el agua desde las raíces hasta las plantas? eHow en español.</i> https://www.ehowenespanol.com/llega-agua-raices-hasta-plantas-como_120653/	98
<i>Mercola, J. (2019). Cómo cultivar nabos en su jardín. Asociación de consumidores orgánicos.</i> https://consumidoresorganicos.org/2019/05/08/como-cultivar-nabos-en-su-jardin/	99
<i>Solórzano, P. R. (2020). Absorción de nutrientes por las raíces de las plantas. Quifuca. División Agrícola.</i> https://www.quifuca.com/ve/2020/08/20/absorcion-de-nutrientes-por-las-raices-de-las-plantas/ .	101
TARJUELO, J. M. (2005). EL RIEGO POR ASPERSIÓN. CENTRO REGIONAL DE ESTUDIOS DEL AGUA-CREA. UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA. ESPAÑA.	101
TERMINOLOGÍA	103
APÉNDICES	105

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 <i>Punto de marchitez, capacidad de campo y agua aprovechable según la textura</i>	32
Tabla 2 <i>Cálculo de la cantidad de agua para el riego y la cantidad de hidrogel por maceta</i>	42
Tabla 3 <i>Análisis de caracterización del sustrato</i>	43
Tabla 4 <i>Tratamientos en estudio</i>	44
Tabla 5 <i>Distribución de las unidades experimentales por tratamientos</i>	44
Tabla 6 <i>Variables en estudio y su mensuración</i>	45
Tabla 7 <i>Esquema del análisis de la varianza</i>	46
Tabla 8 <i>Resultados de las evaluaciones de los factores en estudio</i>	46
Tabla 9 <i>Resultados del análisis del pH, CE, CO₃-2, MO, P y K disponibles</i>	47
Tabla 10 <i>Resultados del análisis textural</i>	48
Tabla 11 <i>Resultados de cationes cambiabes y porcentaje de saturación de bases</i>	48
Tabla 12 <i>Efecto de los cultivos sobre la altura de plantas</i>	48
Tabla 13 <i>Prueba de Tukey del efecto del hidrogel sobre la altura de las plantas</i>	49
Tabla 14 <i>Prueba de Tukey del efecto del riego sobre la altura de plantas</i>	49
Tabla 15 <i>Prueba de Tukey de Interacción cultivo vs hidrogel sobre la altura de plantas</i>	50
Tabla 16 <i>Prueba de Tukey de la interacción cultivo vs riegos sobre la altura de plantas</i>	51
Tabla 17 <i>Prueba de Tukey del efecto del hidrogel vs riego sobre la altura de plantas</i>	51
Tabla 18 <i>Prueba de Tukey para la interacción cultivo x hidrogel x riegos sobre la altura de plantas</i>	52
Tabla 19 <i>Prueba de Tukey del efecto de los cultivos sobre la longitud de las raíces</i>	54
Tabla 20 <i>Prueba de Tukey del efecto del hidrogel sobre la longitud de las raíces</i>	54
Tabla 21 <i>Prueba de Tukey del efecto del factor riego sobre la longitud de las raíces</i>	54
Tabla 22 <i>Prueba de Tukey del efecto de la interacción cultivo x hidrogel sobre la longitud de las raíces</i>	55
Tabla 23 <i>Prueba de Tukey para la interacción cultivo x riego sobre la longitud de las raíces</i>	55

Tabla 24 Prueba de Tukey para la interacción hidrogel x riego sobre la longitud de las raíces	56
Tabla 25 Prueba de Tukey para la interacción cultivo x hidrogel x riegos sobre la longitud de las raíces	57
Tabla 26 Prueba de Tukey para el factor cultivos sobre el peso fresco y seco de las hojas	58
Tabla 27 Prueba de Tukey para el factor hidrogel sobre el peso fresco y seco de las hojas	58
Tabla 28 Prueba de Tukey para el factor riego sobre el peso fresco y seco de las hojas	59
Tabla 29 Prueba de Tukey para la interacción cultivo x hidrogel sobre el peso fresco y seco de las hojas	60
Tabla 30 Prueba de Tukey para la interacción cultivos x riegos sobre el peso fresco y seco de las hojas	60
Tabla 31 Prueba de Tukey para la interacción hidrogel x riegos sobre el peso fresco y seco de las hojas	61
Tabla 32 Prueba de Tukey para la interacción cultivo x hidrogel x riego sobre el peso fresco y seco de las hojas	62
Tabla 33 Prueba de Tukey para el factor cultivo sobre el peso fresco y seco de tallos	64
Tabla 34 Prueba de Tukey para el factor hidrogel sobre el peso fresco y seco de los tallos	64
Tabla 35 Prueba de Tukey para el factor riego sobre el peso fresco y seco de los tallos	65
Tabla 36 Prueba de Tukey para la interacción cultivo x hidrogel sobre el peso fresco y seco de los tallos	65
Tabla 37 Prueba de Tukey para la interacción cultivos x riegos sobre el peso fresco y seco de los tallos	66
Tabla 38 Prueba de Tukey para la interacción hidrogel x riego sobre el peso fresco y seco de los tallos	67
Tabla 39 Prueba de Tukey para la interacción cultivo x hidrogel x riegos sobre el peso fresco y seco de los tallos	68
Tabla 40 Prueba de Tukey para el factor cultivo sobre el sobre el peso fresco y seco de las raíces	70

Tabla 41 Prueba de Tukey para el factor hidrogel sobre el peso fresco y seco de las raíces	70
Tabla 42 Prueba de Tukey para el factor riego sobre el peso fresco y seco de las raíces	71
Tabla 43 Prueba de Tukey para la interacción cultivos x hidrogel sobre el peso fresco y seco de las raíces	71
Tabla 44 Prueba de Tukey para la interacción cultivos x riego sobre el peso fresco y seco de las raíces	72
Tabla 45 Prueba de Tukey para la interacción hidrogel x riegos sobre el peso fresco y seco de las raíces	73
Tabla 46 Prueba de Tukey para la interacción cultivos x hidrogel x riegos sobre el peso fresco y seco de las raíces	74

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 <i>Curvas de retención de la humedad en el suelo</i>	23
Figura 2 <i>Estructura química comercial del acrilato (hidrogel)</i>	34
Figura 3 <i>Prueba de Tukey para las interacciones cultivo x hidrogel x riegos sobre la altura de plantas a los 20 días</i>	52
Figura 4 <i>Prueba de Tukey para las interacciones cultivo x hidrogel x riegos sobre la altura de plantas a los 40 días</i>	53
Figura 5 <i>Prueba de Tukey para las interacciones cultivo x hidrogel x riegos sobre la altura de plantas a los 60 días</i>	53
Figura 6 <i>Prueba de Tukey para las interacciones cultivo x hidrogel x riegos sobre la longitud de las raíces</i>	57
Figura 7 <i>Prueba de Tukey para las interacciones cultivo x hidrogel x riegos sobre el peso fresco de las hojas</i>	63
Figura 8 <i>Prueba de Tukey para las interacciones cultivo x hidrogel x riegos sobre el peso seco de las hojas</i>	63
Figura 9 <i>Prueba de Tukey para las interacciones cultivo x hidrogel x riegos sobre el peso fresco de los tallos</i>	69
Figura 10 <i>Prueba de Tukey para las interacciones cultivo x hidrogel x riegos sobre el peso seco de los tallos</i>	69
Figura 11 <i>Prueba de Tukey para las interacciones cultivo x hidrogel x riegos sobre el peso fresco de las raíces</i>	74
Figura 12 <i>Prueba de Tukey para las interacciones cultivo x hidrogel x riegos sobre el peso seco de las raíces</i>	75

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. <i>Plano de ubicación de la zona experimental.</i>	105
Apéndice 2. <i>Resultados del análisis de caracterización del sustrato.</i>	106
Apéndice 3. <i>Tablas para la interpretación de los análisis de caracterización del sustrato.</i>	107
Apéndice 4. <i>Resultados originales de la evaluación de los factores en estudio.</i>	110
Apéndice 5. <i>Análisis de varianza de las variables en estudio.</i>	112
Apéndice 6. <i>Vistas del proceso de la investigación.</i>	117

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el terreno particular de la familia Salguero Lucas ubicado en el centro poblado “Miguel Grau”, del distrito de Chancay, provincia de Huaral, en la región Lima. El objetivo del estudio fue conocer el efecto de tres niveles de hidrogel: 15 y 30 kg.ha⁻¹ (Factor 1: H), en interacción con dos niveles de agua de riego: 50 y 100 % de la capacidad de campo (Factor 2: R), sobre el rendimiento rápido (60 días) de los cultivos de *Spinacea oleracea* L. “espinaca” y de *Brassica repens* L. “nabo” (Factor 3: C), en un ensayo en macetas de 5 kg de capacidad. El sustrato utilizado fue colectado de un terreno de cultivo en descanso ubicado en la localidad de Chancay, Huaral, que se caracterizó por tener un pH ligeramente alcalino, con ligeros problemas de salinidad, bajo contenido de materia orgánica y una textura franco arenosa. El diseño estadístico utilizado fue el de bloques completos al azar (DBCA) con arreglo factorial 3 x 22. Los resultados obtenidos permitieron asumir que los factores en estudio, tanto a nivel individual, así como en interacción, demostraron tener un efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas de “espinaca” y de “nabo”, donde las plantas lograron un mayor desarrollo con la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel y con el nivel de riego a la capacidad de campo (100 %). Sin embargo, como resultado de las interacciones entre los tres factores en estudio, se recomienda el uso de 15 a 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel combinado con riegos entre el 50 al 100 % de la capacidad de campo, especialmente en suelos similares al sustrato que tiene una textura gruesa (franco arenosa) que se caracteriza por el predominio de la fracción arena.

Palabras clave: Hidrogel, capacidad de campo, textura gruesa, gestión del agua, punto de marchitez permanente.

ABSTRACT

The present research work was carried out in a particular land of the Salguero Lucas family located in the populated center "Miguel Grau", of the district of Chancay, province of Huaral, in the Lima region, geographically located in the following UTM's: 252 249.61 m E, North 87 302.52 m S, with an altitude of 67 meters above sea level. The objective of the study was to know the effect of three levels of hydrogel: 15 and 30 kg.ha⁻¹ in interaction with two levels of irrigation water: 50 and 100 % of the field capacity, on the yield of the fast harvest (60 days) of the *Spinacea oleracea* L. "spinach" crops and *Brassica repens* L. "turnip" (Factor 3: C), in a test in pots of 5 kg capacity. The substrate used was collected from a resting farmland located in the town of Chancay, Huaral, which was characterized by having a slightly alkaline pH, with slight salinity problems, low organic matter content and a sandy loam texture. Statistical design used was that of random complete blocks (DBCA) with factorial arrangement 3 x 2². The results obtained allowed us to assume that the factors under study, both at the individual level, as well as in interaction, proved to have a positive effect on the growth of "spinach" and "turnip" plants, where the plants achieved greater development with the application of 30 kg.ha⁻¹ of hydrogel and with the level of irrigation to the field capacity (100 %). However, as a result of the interactions between the three factors under study, it is recommended to use 15 to 30 kg.ha⁻¹ of hydrogel combined with irrigation between 50 to 100 % of the field capacity, especially in soils similar to the substrate that has a coarse texture (sandy loam) that is characterized by the predominance of the sand fraction.

Keywords: Hydrogel, field capacity, coarse texture, water management, wilting point.

INTRODUCCIÓN

Desde principios del siglo XXI, el ser humano vive una grave crisis hídrica debido a una mala gestión y con prácticas ineficientes, como la aplicación excesiva de la cantidad de agua, en el uso de este importante recurso. El síntoma más notorio que desencadenó esta crisis es sin duda es la pobreza (Fernández-Jáuregui, 2004). Los pobres sufren a diario las consecuencias de muchas enfermedades tales como la diarreicas, estrechamente relacionadas con la escasez o la contaminación de los recursos naturales que no brindan las garantías de seguridad para satisfacer las necesidades básicas como consecuencia al obligar que los habitantes vivan en entornos degradados extremadamente peligrosos, la escasez de agua es un problema mundial que tiene consecuencias muy graves tanto para el medio ambiente como para las personas (Agencia de las Naciones Unidas para los refugiados [ANUR], 2019), agravado por el impacto causado por el vertido incontrolado de los residuos producidos por las diversas actividades humanas, a lo que se suma que tanto dirigentes como autoridades se hayan descuidado en concientizar a la ciudadanía sobre las consecuencias futuras. De hecho, es fundamentalmente una cuestión de actitud y comportamiento y la mayoría de estos problemas son identificables y rastreables. Una gestión adecuada del agua eliminará problemas graves como la pobreza y, al mismo tiempo, será posible resolver el problema cada vez más grave de la escasez de agua en muchas partes del mundo, especialmente en los países en desarrollo. El agua que se requiere para cultivar y procesar alimentos también proporciona energía para que otras industrias satisfagan las necesidades de una población humana en constante crecimiento (Fernández-Jáuregui, 2004).

La crisis mundial del agua está poniendo en un serio riesgo a todo el planeta, afectando de la misma manera a los ecosistemas acuáticos, terrestres y consecuentemente, a millones de personas. Esta crisis está dando lugar a conflictos cada vez más graves entre el uso del agua a nivel rural y urbano; además, el agua es un recurso natural que tiene un valor económico, estratégico y social, es fundamental para la supervivencia y el bienestar humano, así como para el propio mantenimiento de los recursos hídricos. Aunque, se dispone de muchos recursos hídricos en el ecosistema tierra, la distribución de los recursos hídricos en el mundo es desigual. La mala gestión de las aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas ha provocado una contaminación peligrosa o química del agua potable para cientos de millones

de personas. Por otro lado, debido a la rápida proliferación de algas invasoras que se alimentan de todos los nutrientes que aportan los desechos, la contaminación del agua también provoca la eventual desaparición de algunos ecosistemas acuáticos (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental [FCEA], 2017).

Debido a la rápida proliferación de algas invasoras que se alimentan de todos los nutrientes que aportan los desechos, la contaminación del agua también provoca la eventual desaparición de algunos ecosistemas acuáticos; en ese sentido, un aspecto importante es la clasificación del agua según el grado de contaminación. Por los conceptos considerados anteriormente, con el fin de obtener rendimientos aceptables para satisfacer la demanda significativa de alimentos de la creciente población, es necesario referirse a la demanda y consumo de agua para encontrar nuevas alternativas, y en estas es posible reducir el desperdicio excesivo de este recurso. El uso de polímeros en agricultura utiliza agua, como la poliacrilamida, cuyo nombre comercial es hidrogel. Este compuesto tiene una fuerte capacidad para retener la humedad en el suelo. Además, puede prevenir la pérdida del recurso hídrico debido al proceso de lixiviación y al excesivo drenaje especialmente en suelos de textura gruesa, que es característica del área donde se realizará este estudio que será desarrollado en las fases preliminar, de campo, de laboratorio y de gabinete, con el fin de obtener, interpretar, discutir y explicar los resultados obtenidos.

El *Brassica rapa* L. “nabo” y *Spinacia oleracea* L. “espinaca” al ser cultivados en suelos de la zona de Chancay que por lo general son de textura gruesa (arena, arena franca o franco arenosa), son dos hortalizas que por su corto ciclo vegetativo, requieren de cantidades suficientes, pero no excesivas de agua, son plantas muy especiales para medir la eficiencia de los productos mejoradores del suelo como lo es el hidrogel, teniéndose en cuenta que las especies consideradas presentan alteraciones debidas a los daños fisiológicos muy notorios ante la deficiencia y/o exceso del agua (Ugás *et al.*, 2002). Del mismo modo, son plantas indicadoras muy útiles para realizar el presente ensayo preliminar en macetas.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar el efecto de tres dosis de hidrogel (15 y 30 kg.ha⁻¹) irrigados con dos niveles de agua (50 y 100 % de la capacidad de campo) sobre el rendimiento de la “espinaca” y el “nabo” cultivados en suelos de textura gruesa en un ensayo en macetas, Chancay – Lima.

Objetivos específicos

- a. Caracterizar el sustrato a utilizarse para conocer las características físico-químicas que tendrán efecto sobre el desarrollo de las plantas de “espinaca” y “nabo” y la retención de humedad.
- b. Estudiar el efecto de tres niveles de hidrogel sobre las variables biométricas (altura de plantas y longitud de las raíces) en relación con dos niveles de agua (50 y 100 % de agua a la capacidad de campo) en los cultivos de la “espinaca” y “nabo” cultivados en macetas.
- c. Interpretar el efecto de tres dosis de hidrogel aplicados bajo riego a humedades 50 y 100 % de la capacidad de campo del suelo sobre el rendimiento del “nabo” y la “espinaca” cultivadas en un suelo de textura gruesa en la zona de Chancay, Lima.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Internacionales

Pedroza *et al.* (2015) investigaron el “Efecto del hidrogel y vermicompost en la producción de (*Zea mays* L) “maíz” (p. 375), con el objetivo de evaluar diferentes dosis del compuesto químico hidrogel y del vermicompost sobre la retención de la humedad en el cultivo del “maíz”. en Bermejillo, Durango (México). La investigación consideró el estudio de tres dosis de hidrogel (0, 12,5 y 25 kg.ha⁻¹) y dos dosis de vermicompost (0 y 20 t.ha⁻¹). La parcela experimental consistió en cuatro surcos de 0,30 x 0,75 m de ancho y largo. Las labores de siembra, fertilización y aplicación del hidrogel fueron ejecutadas mediante una sembradora-fertilizadora equipada con un embudo para el almacenamiento de semillas, otro para la dosificación de hidrogel en estado granular y un tercero para la colocación de los fertilizantes en el fondo de los surcos. El distanciamiento entre las plantas fue de 17 cm con una población de 78 204 plantas.ha⁻¹. La capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) fueron calculados por el método del tanque de membrana a presión. En la evaluación de las propiedades del suelo fue considerada la textura, densidad aparente, conductividad eléctrica, las mismas que sirvieron para calendarizar riegos respectivos. En la primera fase de muestreo fue calculado el porcentaje de humedad edáfica a 30 cm de profundidad. El contenido de materia seca (g) de la parte aérea de la planta (sin considerar las raíces) fue registrada mediante muestreo destructivo y secado en un horno de aire circulante a una temperatura de 75 °C durante 36 horas. El diámetro y largo de mazorca (cm), fueron medidos con una regla graduada con la ayuda de un cursor. El peso de mazorca (g), peso de granos por planta (g) y el cálculo del rendimiento (t.ha⁻¹) fue realizado con una balanza de 0,01 de precisión. El diseño estadístico utilizado fue el de bloques completos al azar con tres repeticiones donde fueron estudiadas las tres dosis de hidrogel (0, 12,5 y 25 kg ha⁻¹) en parcelas grandes y se distribuyeron dos dosis de vermicompost (0 y 20 t ha⁻¹) en las parcelas

pequeñas. Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente con el paquete estadístico SAS (análisis de la varianza) y con la prueba de rango múltiple de Tukey ($P \leq 0.05$) fueron determinadas las diferencias entre las medias de cada tratamiento. Los resultados demostraron que la CC fue del 26,5 % y la PMP del 13,1 %, con una textura franco-arcillosa, densidad aparente de $1,2 \text{ g.cm}^{-3}$, conductividad eléctrica de $2,6 \text{ dS.m}^{-1}$ y con un pH de 8,1. Asimismo, fue ejecutado un análisis de regresión para obtener la deshumidificación ajustada. Concluyeron que la aplicación del hidrogel en dosis de 12,5 y 25 kg ha^{-1} durante el desarrollo de las plantas puede incrementar el crecimiento y la productividad del “maíz”, con un incremento promedio en el contenido de humedad del suelo de 31,5 % en comparación con el testigo. El aumento de la humedad fue beneficioso para la planta, el hidrogel no afectó a la germinación de las semillas ni a la emergencia de las plántulas. Cuando el hidrogel fue aplicado en una cantidad de 25 kg.ha^{-1} , el rendimiento de grano aumentó en un 44,7 %, con 19,1 t.ha^{-1} frente a las 13,2 t.ha^{-1} producidas por el testigo, rendimientos estrechamente relacionados con un mayor tamaño de la mazorca, mayor tasa de fotosíntesis y de producción de biomasa. El estiércol de lombriz de tierra no afectó al crecimiento y a la producción del “maíz”.

Chicas *et al.* (2014) hicieron una investigación sobre la “Medición indirecta de la retención de agua de los suelos en la cuenca del río Torja, Chiquimula en Guatemala” (p. 1). El objetivo fue estimar la capacidad de retención del agua a nivel de capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y agua disponible (AD) en los suelos agrícolas semiáridos de la subcuenca del río Torja de la provincia guatemalteca de Chiquimula. La metodología consistió en el estudio las unidades geomorfológicas naturales de la subcuenca mediante muestreos para calcular la capacidad de retención de agua a nivel de CC y del PMP considerados como variables dependientes, así como los porcentajes de arcilla, limo y arena (textura), la densidad aparente (Da), la conductividad eléctrica (CE) y el contenido de materia orgánica (MO), consideradas como variables independientes, cuyas medias fueron comparadas mediante regresiones y correlaciones ($p \leq 0,05$). Las muestras de suelos fueron analizadas en laboratorio simulando distintos escenarios en seis puntos de muestreo identificados con los números 21, 24, 36, 39, 44 y 51, probándose los modelos de ecuación con todas las variables independientes, fue demostrado que sólo el 5 % de estas variables causaron los cambios en la CC y el PMP, destacando el efecto de la densidad aparente y el contenido de arena que fue resaltado en el análisis de correlación múltiple, debido a que el

área de estudio estuvo ubicada en una zona semiárida con escasa precipitación y una alta evapotranspiración, donde fue notorio un período seco mucho más prolongado con predominancia de suelos de tipo textural medios a gruesos, con una cobertura vegetal muy escasa y con una descomposición muy dinámica de la materia orgánica, encontrándose en niveles muy bajos. De acuerdo a los resultados, el modelo seleccionado fue el siguiente: $CC = 67,31 - (33,77 * Da) - (0,23 * \% \text{ de arena})$, con un coeficiente de determinación (r^2) = 0,59 y $PMP = 55,05 - (28,97 * Da) - (0,23 * \% \text{ arena})$ con un $r^2 = 0,69$. Las variables fueron seleccionadas mediante la regresión múltiple generándose los respectivos modelos que fueron validados mediante diez muestras aleatorias del área experimental, encontrándose una alta correlación estadística entre los valores encontrados por el efecto notorio de la densidad aparente y del porcentaje de arena, obteniéndose valores de $r^2 = 0,84$ para la capacidad de campo (CC) y $r^2 = 0,85$ para el punto de marchitez permanente. Concluyeron de la siguiente manera: a) la densidad aparente que fue variable y el porcentaje de arena determinaron el cambio en la capacidad de retención de agua se calcula en base a la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, b) la probabilidad de que ambos modelos puedan estimar la constante de humedad del suelo fue superior al 80 %, y c) la diferencia entre la CC y el PMP determinó la capacidad de retención de agua en el suelo (AD), que fue considerado como un parámetro relacionado con muchos aspectos de la planificación agrícola.

Da Costa *et al.* (2013) estudiaron la “Retención de agua y usabilidad del suelo en el estado de Santa Catarina-Brasil: Efectos del tipo de textura, tipo de suelo y litología” (p. 1). “El objetivo del trabajo fue evaluar la retención y disponibilidad de agua en el suelo en el estado brasileño de Santa Catarina, Brasil” (p. 1). El método incluyó el muestreo de los horizontes superficiales y subterráneos de 44 parcelas con diferentes áreas y con cultivos de cobertura en el estado de Santa Catarina. Las propiedades consideradas en el estudio fueron la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente, el agua disponible y la textura, así como también la materia orgánica y la disponibilidad de agua retenida en cada horizonte, cuyos promedios luego de ser sometidos estadísticamente con la prueba de F ($p \leq 0,05$), fueron comparadas mediante regresiones y correlaciones. El agrupamiento de los perfiles fue de acuerdo con lo propuesto por el sistema brasileño de clasificación de suelos, encontrándose que a nivel de horizontes existieron diferencias en la retención de agua especialmente en los horizontes superficiales. La capacidad de campo y el punto de

marchitez permanente fueron estadísticamente similares en los suelos estudiados, mostrando diferencias de sólo $0,15 \text{ cm}^3$, pero fue encontrada variabilidad en la retención de agua entre los suelos de la misma clase. Los cambisoles húmicos, nitosoles y latosoles mostraron un mayor contenido de humedad; mientras que los acrisoles, litosoles y chernozems tuvieron contenidos intermedios y los arenosoles fueron los que exhibieron un menor contenido de humedad. En los horizontes subterráneos, la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente fueron similares en la mayoría de los suelos. La mayor retención de agua estuvo relacionada con la textura franco-arcillosa y un mayor contenido de material orgánico ($4,7$ a 18 g.kg^{-1} de suelo) y la menor retención fue debido a un alto contenido de arena ($>90 \%$). Basados en los resultados obtenidos, concluyeron que cuando el contenido de arcilla y materia orgánica es alto, la retención de agua es mayor, especialmente en suelos húmicos (cambisoles, nitosoles y ferralsoles) que fueron desarrollados a partir de rocas ígneas o sedimentarias. El suelo con textura franca y alto contenido de materia orgánica tiene una mayor eficiencia en el uso del agua disponible, mientras que el suelo arenoso mostró una menor eficiencia en el uso del agua, especialmente los suelos arenosos con gravas graníticas de origen aluvial formados recientemente. La mayor cantidad de agua disponible estuvo presente en los suelos con un mayor contenido de materia orgánica, mientras que fue mucho menor en los horizontes subsuperficiales, resaltando claramente la importancia de la materia orgánica en la retención del agua disponible en los suelos de Santa Catarina.

Huallpa (2010) realizó una investigación sobre el “Comportamiento productivo de variedades de “nabo” *Brassica napus* L., con diferentes abonos orgánicos en el altiplano norte de La Paz (Bolivia)” (p.1), con el objetivo de “estudiar el comportamiento de producción de tres variedades de “nabo” en interacción con tres tipos de abonos orgánicos para conocer el grado de adaptabilidad y el mayor rendimiento de las tres variedades” (p.18). La investigación fue ejecutada en la comunidad de Belém en Omasuyos, La Paz, Bolivia. La metodología consideró el estudio los siguientes factores: A tres variedades de “nabo” (Cuello Violeta Globo Blanco, Purple Top White Globe y Pera Colo Roxo) y la respuesta frente a la aplicación del factor B (tres tipos de materia orgánica: B1: Tratamiento testigo sin abono, B2: $1\ 670 \text{ kg.ha}^{-1}$ de estiércol de vacuno, B3: $1\ 670 \text{ kg.ha}^{-1}$ de estiércol de oveja y B4: 833 kg.ha^{-1} de gallinaza (B4)),. El diseño estadístico experimental fue el diseño bloques completos al azar con arreglo bifactorial 3×4 cuyos promedios fueron comparados mediante la prueba de Duncan ($p \leq 0,05$). La unidad experimental estuvo conformada por una parcela

de seis surcos, con 3 m de largo y 2 m de ancho y con una separación entre plantas de 0,15 m y 0,30 m entre surcos, cuya área de la parcela experimental fue de 6 m², considerándose 288 m² como área total del experimento. El ciclo agrícola del cultivo de “nabo” fue de 94 días en las tres variedades, las mismas que pudieron adaptarse debido a ser tolerantes a las bajas temperaturas. Los resultados mostraron que los mayores rendimientos de raíces fueron obtenidos en las variedades Cuello Violeta Globo Blanco, con 8,78 t.ha⁻¹ que fue el mayor rendimiento, seguido de la variedad Purple Top White Globe con 8,72 t.ha⁻¹, como un rendimiento medio y finalmente un rendimiento menor con la variedad Pera Colo Roxo con solo 5,78 t.ha⁻¹. Además, fue observado que tanto la aplicación de abonos orgánicos, las variedades y el medio ambiente, influyeron directamente en la cantidad de raíces cosechadas. Desde un punto de vista económico la variedad Cuello Violeta Globo Blanco tuvo una mayor rentabilidad con un beneficio neto de 7 560 Bs.ha⁻¹ y una relación B/C de 2,77. Concluyó que las respuestas de los tratamientos estudiados fueron de la siguiente manera: el testigo que solo recibió abonos orgánicos no mostro alteración en la producción, la variedad Cuello Violeta Globo Blanco fue la de mayor rendimiento. Respecto a las características agronómicas fue observada una mejor germinación en la variedad Cuello Violeta Globo Blanco, tanto con la aplicación de estiércol de bovino, estiércol de ovino y la gallinaza. En la altura de plantas presentó una mejor respuesta la variedad Pera Colo Roxo con una media de 29,558 cm, demostrándose que esta variedad fue la mejor en la producción de follaje. Así mismo, en promedio la variedad con un mejor peso total, peso comercial y rendimiento de raíces fue la variedad Cuello Violeta Globo Blanco en comparación con las otras variedades. Con respecto al diámetro y longitud de raíz, la mejor respuesta fue obtenida con la variedad Cuello Violeta Globo Blanco. El comportamiento de las otras variedades estudiadas mostró diferentes respuestas en relación con las condiciones climáticas, ecológicas y edáficas. Desde un punto de vista económico la variedad Cuello Violeta Globo Blanco presento una mayor rentabilidad.

Joseph (2010) investigo sobre “Las características de retención de agua y mejora de los suelos de Kochi en Kerala, India” (p. 1). El objetivo fue conocer los factores que intervinieron en la retención de agua en función a las características de siete tipos de suelos para ser considerados en el planteamiento de una agricultura con un reducido uso del agua de riego, considerándose que la humanidad requiere cada vez más de este recurso hídrico para incrementar la producción de alimentos. Esta investigación fue realizada con un

suministro de menor cantidad de agua para riego, considerando que el suministro oportuno y en cantidades suficientes de agua, seguirá siendo esencial para el logro de máximos beneficios. Así mismo, la programación del riego tuvo relación con el tiempo real, es decir, al aplicarse oportunamente antes de que las plantas sean afectadas por la escasez de agua, considerando que la cantidad y el tiempo de aplicación tienen efectos determinantes sobre los rendimientos, y que están estrechamente relacionados con las propiedades geotécnicas y físicas del suelo. En consecuencia, la capacidad de campo (CC), el punto de marchitez permanente (PMP) y el agua disponible para la planta (AD), fueron los parámetros importantes que estuvieron estrechamente relacionados con el porcentaje del material de grano fino presente en el suelo. Después de haberse analizado estadísticamente los resultados obtenidos mediante el método de las regresiones y correlaciones ($p \leq 0,05$) más otras pruebas relacionadas con las características de los suelos estudiados, fue posible la formulación de los modelos matemáticos para calcular la CC, el PMP y el AD. En consecuencia, concluyó que la fórmula para calcular la capacidad de campo (CC) fue igual a $0,3 (\% \text{ de arcilla}) + 15,74$ ($r^2 = 0,92$), para el punto de marchitez permanente (PMP) fue de $0,18 (\% \text{ de arcilla}) + 5,75$ ($r^2 = 0,91$), y para el agua disponible (AD) fue de $0,12 (\% \text{ arcilla}) + 7,89$ ($r^2 = 0,91$), cuyos coeficientes de determinación (r^2) tuvieron valores de 0,92; 0,91 y 0,91, respectivamente, referidos a suelos conformados por materiales finos o de textura fina.

Domingo *et al.* (2006) desarrollaron una investigación sobre la “Estimación de la capacidad de retención de agua en el suelo: revisión de los parámetros de la capacidad de retención del agua (CRA) en el suelo” (p. 1). El objetivo estuvo orientado al conocimiento de los parámetros que condicionan la permeabilidad y el drenaje dentro del perfil del suelo basados en el cálculo de humedad equivalente (h_e) de los suelos de la provincia de Huelva, España. La metodología estructuró al trabajo experimental en dos partes: la primera parte fue para justificar y analizar la ecuación para el cálculo de la capacidad retentiva de agua (CRA) considerándola como una forma física que puede recibir algunos cambios. En la segunda parte fueron comparadas las ventajas a través del análisis de correlación, encontrándose que la capacidad de retención de agua del suelo estuvo basada en aspectos físicos que dieron origen a ciertas modificaciones que fueron contrastadas en una segunda parte del análisis de correlación, entendiéndose que la capacidad de retención del agua fue vastamente utilizada en la tecnología y en la investigación, siendo considerada como un excelente estimador de los niveles de agua disponible para las plantas. En la descripción de las características del

suelo de los bosques de Huelva, fueron detectadas muchas anomalías con relación a los valores de los parámetros ya conocidos del CRA, especialmente relacionada con el efecto de la influencia de la pendiente en el modelo del cálculo y en la determinación de las reservas totales de agua disponible para las plantas. Al final fue tomado en cuenta un cambio con el fin de obtenerse un modelo con valores de capacidad para la retención del agua más acorde con la época estacional y relacionada con los suelos forestales con fuertes pendientes. Así mismo, fue ampliado el modelo para calcular la cantidad máxima de agua disponible en el talud del bosque. Además, los parámetros de investigación que fueron tomados en cuenta en la descripción de las parcelas con la especie *Pinus nigra* L., fueron consideradas como parámetros de estudio, tomándose en cuenta el valor absoluto del índice de humedad anual de Thornthwaite. Los dos parámetros propuestos (permeabilidad y drenaje de los suelos en estudio) mostraron una correlación muy significativa ($p \leq 0,05$), tanto en la muestra total, como en la mayoría de los subconjuntos definidos. La variedad pirenaica obtuvo un índice de correlación del CRA muy significativo que fue considerado muy interesante porque no existieron niveles de significancia en los cálculos realizados. Para el conjunto total de la población de la muestra, los parámetros de las dos propuestas fueron muy significativos. Concluyeron que, entre las diversas fórmulas existentes para estimar el contenido de agua del suelo, el parámetro CRA que no solo sirvió como límite del estudio de la retención de agua de las muestras de suelo fino mejoradas, sino que también consideró las posibles causas de la presencia de agua en los horizontes profundos que fueron casi impermeables. Por lo tanto, fueron observados cualidades que tienen relación directa con otros modelos relacionados con la acción del agua superficial, como aquellos relacionados con la erosión y con la escorrentía, por lo que fueron considerados como una herramienta auxiliar sumamente interesante.

Nacionales

Calvo (2018) investigó la “Adaptabilidad y potencial de rendimiento de tres variedades de espinaca (*Spinacia oleracea* L.) en el distrito de Lamas” (p. 1), “con el objetivo de evaluar la adaptabilidad y potencial de rendimiento de tres variedades de espinaca en relación con dos densidades de siembra y analizar la relación costo beneficio de la producción de tres variedades de espinaca” (p.1). La metodología consideró el estudio de dos variables: Factor A: variedades de espinaca (A1: Skokum, A2: Bolero, y A3: Viroflay) y factor B: dos densidades de siembra (B1: 20 x 15 cm y B2: 20 x 20 cm). El diseño estadístico aplicado fue

bloques completos al Azar (BCA) con arreglo factorial 3 x 2, con 3 bloques, 6 tratamientos y con 18 unidades experimentales. Los tratamientos fueron distribuidos sin limitación alguna y fueron los siguientes: T1 (A1B1, Skokum 20 x 15 cm); T2 (A2B1, Bolero 20 x 15 cm); T3 (A3B1, Viroflay 20 x 15 cm); T4 (A1B2 Skokum 20 x 20 cm); T5 (A2B2, Bolero 20 x 20 cm) y T6 (A3B2, Viroflay 20 x 20 cm) respectivamente. Los resultados mostraron que la densidad de siembra de 20 x 20 cm fue determinante para el número de hojas, el área foliar, el diámetro del cuello de la planta y el peso de la planta en las tres variedades con promedios de 13,53 hojas; 53,15 cm² de área foliar; 0,94 cm de altura y 98,28 g de peso por planta, respectivamente. En base a las densidades encontradas fue considerado que las variedades de “espinaca” estudiadas lograron adaptarse al clima prevalente en el distrito de Lamas. Todos los tratamientos mostraron resultados positivos de rentabilidad, el T1 alcanzó una relación C/B de 0,711 y una rentabilidad del 71,08 %, seguido por el T3 con una relación C/B de 0,463 y una rentabilidad de 46,34 %. Concluyó que las tres variedades de “espinaca” soportaron las condiciones climáticas de Lamas y mostraron valores positivos de rentabilidad, destacando claramente el tratamiento 1 (Skokum 20 x 15 cm) que alcanzó el más alto valor de la relación costo/beneficio con una rentabilidad también alta, seguida por el tratamiento 3 (Bolero 20 x15 cm) con una relación costo/beneficio más baja y una rentabilidad ligeramente menor.

Melgarejo (2018) investigó el “Efecto del nivel de salinidad del agua de riego en el crecimiento del cultivo de “espinaca” *Spinacia oleracea* L., en suelo arenosos” (p. 1). “El objetivo fue determinar el nivel de tolerancia máxima a la salinidad en el agua de riego del cultivo de “espinaca”, sin que se vea afectado el rendimiento y calidad” (p. 2). La investigación fue realizada en una parcela próxima a la caseta de control del riego presurizado la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). La metodología consistió en la evaluación de los niveles de salinidad mediante pruebas físicas relacionadas con los pesos en fresco y en seco, el tamaño de las partes aéreas y de las raíces de las plantas. Para los análisis estadísticos se utilizó el DCA (diseño completamente al azar) y las medias fueron comparadas con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$. Así mismo, fueron consideradas pruebas químicas para medir la salinidad tanto del suelo como del agua. La fase de campo tuvo una duración de 70 días, periodo de tiempo que correspondió al ciclo biológico de la planta. Las semillas fueron germinadas en bandejas almacigueras, el trasplante fue ejecutado en maceteros con suelo arenoso. Los diferentes niveles de salinidad fueron los siguientes:

0,76 (T1); 1,3 (T2), 2,2 (T3); 3,5 (T4); 4,6 (T5); 5,7 (T6); 7,1 (T7); 8,5 (T8); 10 (T9); 12 (T10); 15 (T11) y 20 (T12) dS.m⁻¹. Los 12 tratamientos tuvieron tres repeticiones, haciendo en total 36 unidades experimentales. Al concluirse el periodo experimental, los resultados determinaron que las plantas con mayor crecimiento (peso fresco y altura) fueron las que han sido regadas con el tratamiento T1 (0,76 dS.m⁻¹), mientras que en los tratamientos con mayor nivel de salinidad el rendimiento fue disminuyendo. En cuanto a la absorción de elementos, el potasio, el calcio, el magnesio y los sulfatos mostraron una mayor concentración en el tratamiento T3 (2,2 dS.m⁻¹). Concluyó en el sentido de que la concentración de cloro y sodio fue incrementada cuando la salinidad del agua de riego fue mayor. La “espinaca” no presentó daños notorios por efecto de ningún tratamiento, solo fue observada una disminución en el rendimiento a causa del aumento de los niveles de salinidad.

Valenzuela (2016) realizó una investigación sobre la “Evaluación de impacto de fertilizantes orgánicos en los invernaderos de las variedades “Espinaca” *Spinacia oleracea* L., Viroflay y Dash” (p. 1). “El objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar el efecto de gallinaza y guano de islas más un adicional (testigo sin abono) sobre el rendimiento del cultivo de “espinaca”, variedades viroflay y dash en condiciones de invernadero” (p. 2). La fase experimental de la investigación fue desarrollada en el Centro de Investigaciones Abancay de la Universidad Politécnica Santo Tomas, Apurímac, para conocer el efecto del factor T: estiércol de gallina (T1) y el guano de islas (T2) sobre el rendimiento de las dos variedades de “espinaca”. Para el análisis estadístico de datos fue utilizado el diseño de bloques completos al azar (DBCA) con arreglo factorial 3x2, el factor T con tres clases de materia orgánica: T1 (guano de islas), T2 (gallinaza) y T3 (control) y el factor V con dos variedades de “espinaca”: V1 (viroflay) y V2 (dash). Al compararse los promedios de la altura de las plantas a la cosecha mediante la prueba de Duncan ($p \leq 0,05$), demostraron que el tratamiento con gallinaza en interacción con la variedad dash alcanzó 33,0 cm de altura, siendo similar a la interacción del guano de islas x la variedad viroflay que logró una altura de 31,3 cm, seguido por la combinación guano de islas x la variedad dash (31,2 cm) y estiércol de gallina x viroflay (28,2 cm); las alturas más baja fueron encontradas con el testigo x dash (23,1 cm) y el testigo x viroflay (21,2 cm). Asimismo, al compararse el peso promedio de cada planta a la cosecha el mayor peso fue alcanzado por la interacción gallinaza x la variedad dash con 97,4 g, superior estadísticamente a los otros pesos; seguido por la combinación guano de

islas x viroflay con 92,4 g, gallinaza x viroflay con 92,8 g y guano de islas x dash con 92,4 g; los pesos más bajos fueron obtenidos por las interacciones control x variedad dash con 53,2 g y el control x la variedad viroflay con 51,6 g. Los rendimientos obtenidos mostraron que la interacción T2V2 (gallinaza x dash) con 5,8 kg.parcela⁻¹ logró el mayor rendimiento, seguido por el tratamiento T1V1 (viroflay x guano de islas) con 5,6 kg.parcela⁻¹; luego de la interacción T2V1 (viroflay x gallinaza) con 5,5 kg.parcela⁻¹; T3V2 (control x dash con 3,2 kg.parcela⁻¹); T3V1 (testigo x viroflay) con 3,1 kg.parcela⁻¹, respectivamente. Concluyó que la variedad de “espinaca” dash que fue cultivada con gallinaza y con guano de islas alcanzaron la mayor tasa de germinación, seguida de la variedad viroflay que utilizó gallinaza, mientras que el control mostró la menor tasa de germinación. En cuanto a altura de planta, la variedad dash x gallinaza fue el tratamiento que logró una mayor altura, seguida de la variedad Viroflay x gallinaza, luego las variedades dash y viroflay tratadas con guano de islas, la menor altura fue mostrada con el tratamiento control. El mayor número de hojas por planta fue logrado con la variedad dash con gallinaza, seguida por los tratamientos con guano de islas y gallinaza combinada ambos con la variedad dash. La mayor área foliar fue observada en la interacción de las variedades viroflay y dash con gallinaza, mientras que el área foliar menor fue encontrada en el tratamiento control combinado tanto con la gallinaza con el guano de islas con la variedad dash. El peso promedio del rendimiento de la “espinaca” (g.planta⁻¹) más alto fue logrado con el tratamiento de la variedad dash con gallinaza, seguido de la variedad viroflay con guano de islas; viroflay y gallinaza y dash con guano de islas. Los más bajos rendimientos fueron encontrados por el control combinado tanto con la gallinaza, así como con el guano de islas. El análisis de la rentabilidad mostró que: la gallinaza combinada con la variedad dash logró una rentabilidad del 40 %, seguido del guano de las islas combinado la variedad dash con 21 %, el guano de islas con viroflay con 20 % y finalmente el control, con una rentabilidad del 8 % en base a los resultados obtenidos.

Eusebio (2014) realizó un estudio para determinar la “Respuesta de tres variedades de “nabo” *Brassica rapa* L.: Fuku komachi, híbrido de Tokio y respuesta a la infestación de *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera, Aphididae) en condiciones de campo. El objetivo fue conocer la reacción de tres variedades “nabo” (fuku komachi, just right y tokyo cross) frente a la infestación con el pulgón *Macrosiphum euphorbiae* (Hemíptera, Aphididae). El trabajo de investigación fue ejecutado en una parcela de 343 m² de superficie ubicada dentro del

campus de la Universidad Privada Antenor Orrego en Barraza; Trujillo, La Libertad, Perú. Los parámetros considerados en el estudio fueron los siguientes: tasa de germinación, área foliar, grado de infestación por el pulgón y rendimiento del “nabo”. El análisis de datos fue realizado mediante la prueba de comparación t-Student ($p \leq 0,05$) para conocer la respuesta de las tres variedades a las infestaciones naturales del pulgón. Los resultados mostraron que la tasa de germinación a los cuatro días alcanzó el 81,4 %. Por otro lado, la infestación causada por los insectos llegó a un nivel 3,0, indicando el ataque de hasta 11 pulgones por planta después del control químico, alcanzó un nivel medio. Otro resultado importante de la investigación fue el logro de un alto rendimiento del “nabo” con una producción de 25 796 kg.ha⁻¹. Concluyó de la manera siguiente: Las tres variedades de “nabos” (fuku komachi, just right y tokyo cross) mostraron similar susceptibilidad a la infección por *Macrosiphon euphorbiae* y el ecotipo just right manifestó un mayor poder germinativo logrando un área foliar mayor que las variedades fuku komachi y tokio cross. Los rendimientos de las tres variedades expresados en kg.m⁻² fueron similares.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Clasificación y /o segmentación mundial de los recursos hídricos

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2006) señala que dentro los recursos hídricos el agua es la sustancia más abundante y la única en la tierra que existe en estado líquido, sólido y gaseoso. El depósito más grande de este recurso se encuentra en el océano, que contiene el 97 % del agua de la tierra. Ésta es salada, donde solo los animales y plantas marinas pueden sobrevivir, el resto es agua dulce, pero no disponible en su totalidad, la mayor parte siempre está congelada formando los casquetes polares y glaciares. Por otro lado, una cuenca hidrológica tiene reservas cuyas aguas desembocan a través de ríos, lagos u océanos, donde pueden existir diferentes climas según la altitud del terreno, así como los cambios de temperatura, insolación y humedad. La dirección de la pendiente y la altitud de una cuenca afecta al clima, dando origen a cambios provienen de diferentes niveles con una vegetación determinada. En los ríos el agua fluye desde la zona más alta a la zona más baja y en las zonas con mayor pendiente el agua en movimiento adquiere mayor velocidad y fuerza, produciendo un incremento en la corrosión de las riberas de los ríos, especialmente si no hay protección vegetal. Cuando las corrientes se acercan a la desembocadura la fuerza producida por la velocidad disminuirá e

incrementando la velocidad del flujo y la cantidad de sedimentos que son parte de los suelos que han sido arrastrados. En una cuenca los lagos son grandes extensiones con aguas ancladas en las depresiones terrestres que generalmente tienen ríos o sistemas de glaciares que les proporcionan agua. La mayor parte del exceso de agua se vierte mediante los ríos, pero hay otros lagos, como el lago Titicaca que está ubicado entre Bolivia y Perú, que son cuencas cerradas. Dependiendo de la profundidad, la temperatura del agua y la cantidad de luz solar que llega al lago serán variables. Estas variables de calor y de luz determinarán las posibilidades de vida de diferentes especies de la fauna y la flora lacustre. En cada profundidad solo pueden encontrarse especies que se han adaptado a las condiciones que estos niveles les permite sobrevivir.

1.2.2. Agua

El agua es muy importante para la vida y es la sustancia donde tuvo lugar la primera forma de vida del mundo, ocupando un lugar central en la imaginación de la civilización humana generalmente relacionados a ciertos dioses o inundaciones míticas que destruyeron muchas culturas hasta hoy perdidas. También se considera uno de los cuatro elementos principales de la naturaleza. Por otro lado, el agua en la tierra está influenciada por un ciclo natural llamado hidrología o ciclo hidrológico, en el que el agua líquida bajo la acción del sol se evapora, asciende en estado gaseoso hacia la atmósfera y luego se condensa en las nubes para volver hacia el suelo en forma de lluvia. Este ciclo es crucial para la estabilidad biológica y climática de la tierra (FCEA, 2017).

Composición del agua

Una molécula de agua (H_2O) contiene solo dos elementos: un átomo de oxígeno (O) y dos átomos de hidrógeno (H), que están unidos covalentemente (International Unión of Pure and Applied Chemistry [IUPAC], 2005). Es un solvente universal porque puede disolver a la mayoría de las sustancias (excepto las hidrófobas y las liposolubles). Debido a la polaridad de sus moléculas, el agua es extremadamente viscosa (por eso tiene la capacidad de mojar), puede formar hasta cuatro enlaces de hidrógeno con los átomos o moléculas circundantes y es un excelente conductor de electricidad y calor (FCEA, 2017). El agua tiene un comportamiento dipolar por tener dos regiones con diferente carga eléctrica, una es positiva y la otra es negativa. La condición dipolar del agua se debe a que el H y el O son átomos

muy diferentes en cuanto a la electronegatividad que es una propiedad atómica que indica la forma en que un átomo atrae hacia sí los electrones que comparte con otro en un enlace covalente. En el caso del agua, el oxígeno es un átomo muy electronegativo. El hidrógeno es un átomo muy poco electronegativo (IUPAC, 2005).

Plaster (2005) agrega que el agua está constituida por aproximadamente 11 % de hidrógeno y 89 % de oxígeno, enfatizando que el agua de consumo no solo es H₂O, sino es una solución que actúa como solvente de compuestos que pasan al estado de iones, especialmente en forma de CO₃⁺², Cl⁻¹, Na⁺, Mg⁺². En el agua, el hidrógeno está compuesto por un protón y un electrón que comparte con el átomo del oxígeno. Los electrones que están compartidos los dos enlaces covalentes que presenta la molécula de agua se desplazan hacia la zona ocupada por el oxígeno, que le permite tener algo más (un diferencial) de carga negativa, mientras que los hidrógenos tienen diferenciales de carga positiva. Esta polaridad es fundamental para entender las propiedades del agua, la forma del comportamiento químico y la importancia de la actividad dentro de los seres vivos (García, 2009).

Agua y desarrollo sostenible

El agua está en el centro del desarrollo sostenible e indispensable para el desarrollo económico y social, para el mantenimiento de ecosistemas saludables y la supervivencia de la humanidad. Asimismo, el agua es esencial para reducir el riesgo mundial de enfermedades, mejorar la salud, asegurar el bienestar y la productividad de las personas. El recurso hídrico es un factor importante dentro del proceso de adaptación al cambio climático y es un vínculo importante entre el ecosistema, la sociedad y el medio ambiente; además, el agua es un recurso finito e insustituible vital para el bienestar humano. Por lo tanto, la gestión eficiente de este recurso renovable desempeña un rol importantísimo para la vida en el planeta. Asimismo, los recursos hídricos pueden representar un serio desafío para el desarrollo sostenible, pero después de una justa y eficiente gestión considerándose los rápidos e impredecibles cambios que se están produciendo, porque el agua un papel clave en el fortalecimiento de la resiliencia de los sistemas sociales, económicos y ecológicos (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2014).

En el año 1987, la Comisión Brundtland promovió de manera clara y conceptualizada el desarrollo sostenible a través del documento “Nuestro futuro común” (ONU, 1987, p. 23), donde se define que el desarrollo sostenible debe satisfacer las necesidades de la población contemporánea sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades así como promover el desarrollo económico y social, especialmente de la población que vive en los países en desarrollo, asegurando la preservación e integridad del medio ambiente para las generaciones futuras. Posteriormente, los estados miembros de la ONU el año 2014 (ONU, 2015) acordaron que los derechos humanos, la igualdad y la sostenibilidad deben constituir la base de la agenda de desarrollo y deben considerarse como la base del desarrollo real, enfatizando los siguientes puntos: (a) La agricultura es el mayor usuario de agua del mundo con un 70 % de su extracción, aunque esta cifra varía mucho de un país a otro, (b) La industria y la energía juntas representan el 20 % del consumo de agua, donde la tarea es cómo distribuir los beneficios de la industrialización de manera justa para todos sin causar efectos insostenibles en el agua y otros recursos naturales, y (c) El consumo de agua domiciliar representa solo el 10 % del consumo total; pero a nivel mundial cerca de 748 millones de personas no tienen acceso a mejores fuentes de agua y 2 500 millones de habitantes no tienen acceso a servicios de saneamiento básico. Además, en el año de 2015, las autoridades mundiales acordaron un conjunto de objetivos globales orientados para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos mediante una nueva agenda de desarrollo sostenible y que, para consolidar estas metas, los gobiernos, el sector privado, la sociedad civil y cada uno de los pobladores deben participar activamente (ONU, 2015).

1.2.3. Suelo

Weil y Brady (2017) dan a conocer que el suelo es una colección natural de minerales sueltos y materia orgánica en la superficie de la corteza terrestre y es un medio natural para el crecimiento de plantas superiores. El suelo tiene características debido a la acción del clima y la materia biológica sobre el material parental sujeto a condiciones topográficas durante un período de tiempo. Zavaleta (1992) define el suelo como parte de la superficie de la corteza terrestre, se ha cambiado *in situ* para formar capas llamadas horizontes, que son diferentes entre sí y las capas más profundas permanecen inalteradas o tienen rocas sólidas. Además, el suelo es un conjunto de un cuerpo natural tridimensional independiente con características morfológicas, físicas, químicas y biológicas únicas. Es el manto continuo

sobre la superficie de la tierra, a excepción de los picos escarpados y regiones de nieves perpetuas. Porta *et al.* (2003) agregan que el suelo es parte del ecosistema y su investigación debe comenzar desde el campo en donde se realizan observaciones detalladas y precisas de todo el suelo y del entorno que lo circunda. Con respecto al suelo, Jordán en el año 2010, planteo lo siguiente:

La palabra suelo es un término que deriva del latín *solum* que significa piso o terreno. El suelo es el conjunto de cuerpos naturales situados en la superficie de la tierra, conteniendo la materia viva y con capacidad de soportar el desarrollo de la vegetación. Los límites superiores del suelo son la atmósfera, las aguas superficiales poco profundas y las plantas vivas o el material orgánico que no ha comenzado a descomponerse. Los límites horizontales los constituyen áreas donde el suelo es invadido por aguas profundas (más de 2,5 m), materiales estériles, rocas o hielo. Su límite inferior es muy difícil de determinar y constituido generalmente por la roca dura y continúa. Se considera que la profundidad del suelo es de dos metros. (p. 76)

Los suelos en general tienen tres fases: sólida, líquida y gaseosa, cuyas características más importantes y según la FAO (2006), estas fases se describen a continuación:

Fase sólida: los minerales forman la base del marco sólido que sostiene el suelo. En suelos normales, el contenido de minerales constituye el 45-49 % del volumen del suelo. En la fase sólida, sin embargo, forman el suelo representativo con un 90-99 % (el 1-10 % restante corresponde a materia orgánica). La fase sólida es la fase más estable del suelo, y también es la fase más representativa y estudiada. Es una fase muy heterogénea formada por componentes orgánicos e inorgánicos

Fase líquida. La fase líquida se caracteriza por la variabilidad que es afectada por propiedades específicas, características espaciales y propiedades del suelo. La dinámica del agua en el suelo está relacionada con el aporte de fuentes externas, riego, lluvia o infiltración, mientras que por pérdida se produce la evaporación o el aporte de agua subterránea. Estos constituyen un balance hídrico, que refleja el sistema suelo-vegetación-atmósfera-suelo, por un lado, y un manejo natural, incluyendo el almacenamiento o retención en el suelo o acuíferos de líquidos, es fundamental para el suministro de agua para las plantas

Fase gaseosa. Es una mezcla de gases ubicadas en los poros del suelo. Las fases gaseosa y líquida del suelo tienen similitudes, aunque son diferentes. La atmósfera del suelo se ve afectada por los procesos biológicos que dependen del consumo de oxígeno y de dióxido de carbono producido por microorganismos y plantas. Los procesos biológicos que ocurren en el suelo provocan cambios constantes en la fase gaseosa y debido al aumento de ciertos gases se origina un desequilibrio entre la composición del aire del suelo y la composición del aire atmosférico, aunque ambas están en contacto directo sujetos a una serie de intercambios cualitativos y cuantitativos, cuya función última es asegurar la vida de los organismos del suelo y de las plantas.

1.2.3. El agua en el suelo

Según Domingo *et al.* (2006) las funciones de absorción, almacenamiento y reposición de agua son una de las tareas ecológicas básicas que realiza el suelo. La cantidad de agua que las reservas del suelo pueden proporcionar a la vegetación limita la supervivencia y productividad de las especies. El contenido de agua del suelo es una parte fundamental del crecimiento y desarrollo de plantas. La cantidad de agua contenida en el suelo disponible para las plantas es variable en función a las condiciones climáticas. Los intercambios entre el suelo y la atmósfera son regulados por el agua contenida en el suelo y la evapotranspiración (Campos, 2020). Según Porta *et al.* (2003) el agua del suelo es parte del ciclo del agua y se considera un grupo de compartimentos. El suelo es uno de ellos y el proveedor más importante de agua para la planta, ya que tiene la capacidad de almacenar agua y pasarla gradualmente según sea necesario. En el estudio del agua del suelo, es de interés el proceso de transferencia desde cómo el agua llega al suelo hasta el sistema suelo-planta-atmósfera. Por lo tanto, el crecimiento de las plantas primero necesita agua para la fotosíntesis.

Mantener el equilibrio de calor y cualquier proceso respiratorio implica la excreción constante de agua, y debemos tratar el sudor como un proceso que implica una pérdida significativa. El agua es el elemento vital para la vida de una planta que lleva disueltos minerales nutritivos que son transportados hacia cada parte del vegetal mediante la absorción del agua que inicia en las raíces. Los cientos y a veces miles de filamentos conocidos como pelos absorbentes que se extienden desde la punta de cada raíz son los que verdaderamente absorben el agua del suelo (Martínez, 2020). La absorción del agua mediante las raíces de planta consiste en el traslado un ion hacia la parte interna de la planta conocida como influjo, sin tomarse en cuenta los procesos metabólicos. La absorción total significa un componente metabólico (absorción) más otro no metabólico (espacio libre). Una porción de las raíces es accesible fácilmente a la solución externa, de donde los iones se pueden moverse por difusión o por flujo de masas dentro de esas áreas, donde los iones se mueven pasivamente del medio externo hacia porciones dentro de la raíz a lo largo de las paredes celulares y a través de espacios intercelulares (Solórzano, 2020).

Plaster (2005) agrega que tanto el agua subterránea como el agua fresca son utilizadas para el riego dependiendo del tipo de sistema y la fuente de agua disponible localmente. Para seleccionar el agua, la primera consideración es su disponibilidad legal. Muchos países tienen leyes que controlan el acceso al agua mediante permisos para su uso. La segunda consideración es la calidad del agua de riego, el agua puede estar contaminada por sólidos suspendidos, especialmente boro o sales solubles. En consecuencia, el riego puede aumentar los problemas de la salinidad cuando el agua superficial se evapora, problema que de manera natural es más notorio en las áreas áridas y semiáridas, donde la evaporación superficial es más rápida y los suelos se vuelven más salinos (EcuRed contributors, 2018). Las sales solubles causan dos problemas, un incremento del potencial osmótico de los suelos, causando a la planta un trabajo más duro a la hora de absorber, luego uno de los cationes, el sodio destruye a los agregados del suelo, dando como resultado una superficie sellada por la presencia de un encostramiento. Los cultivos relativamente tolerantes a las sales incluyen a la “cebada” (*Hordeum vulgare* L.), la “remolacha” (*Beta vulgaris* L.) y el “algodón” (*Gossypium hirsutum* L.). La mayoría de las verduras, frutas y la alfalfa no son tolerantes al suelo salino.

1.2.4. Retención del agua en el suelo

El suelo tiene cargas negativas y positivas producidas en el complejo arcillo húmico (coloides del suelo), donde se produce la atracción de las moléculas polares de agua a la superficie de las partículas secas del suelo, actividad que es conocida como adhesión. La adsorción de agua por la película delgada formada por varias moléculas de agua sobre las partículas sólidas se llama agua adherida, que reduce el movimiento de las moléculas de agua, reduce la energía del agua y libera calor interconectado en el proceso de convertir el agua en energía. Las plantas no tienen acceso al agua adherida y solo pueden eliminarse secando la tierra en un horno; esta agua se considera agua higroscópica. Fuera de la esfera de atracción de las partículas sólidas, las moléculas de agua se atraen debido a la tensión superficial formándose alrededor de las partículas y en los microporos una película continua de líquido conocida como condensación. El agua en los microporos y alrededor de dos tercios de la membrana de agua cohesiva en el exterior puede verse como agua disponible para las plantas, llamada agua capilar (Zavaleta, 1992).

El uso del agua tanto en la ganadería como en la silvicultura, así como en la actividad agrícola es un tema principal en temas sobre la importancia de los recursos hídricos y la seguridad alimentaria. En la agricultura se utiliza cantidades cercanas al 70 % del agua dulce disponible en el mundo, representando una proporción mayor en términos del "uso consuntivo del agua" a causa de la evapotranspiración de los diversos cultivos. En el planeta tierra algo más de 330 millones de hectáreas de tierras cultivables disponen de la infraestructura de riego, representando más el 20 % del total de la superficie cultivada, significando un aporte equivalente al 40 % de la producción total de alimentos en todo el mundo (Banco Mundial, 2017). Independientemente del sistema de riego que se utilice, hay que considerar que las buenas prácticas de riego incluyen no solo rociar agua al suelo, sino también que se debe aplicar agua necesaria, sin exceso ni deficiencia. La falta de agua causará la muerte de las plantas y en demasiada agua lavarás a los nutrientes requeridos por las plantas, dejándolos lejos de la parte superficial del suelo. El agua de riego satura la tierra y tiene el mismo efecto que tirar los alimentos solubles de las plantas por los desagües. La pérdida de alimentos vegetales solubles y agua residual provocada por determinadas plantas como el maíz, la avena, el trigo y el trébol consume una media de 115 kg de cal cada año. La lluvia intensa o el riego excesivo, sin embargo, pueden transportar diez veces su peso hasta 1 250 kg. Por lo tanto, el riego excesivo es perjudicial y debe evitarse ajustando la cantidad de riego de las plantas (Servicio de Protección de Suelos de los Estados Unidos de América, 2010).

1.2.5. Movimiento del agua en el suelo

El agua se convierte en el suelo bajo la influencia de la gravedad, la acción capilar y los gradientes de temperatura y cuando se encuentra en cantidades suficientes, los poros del suelo que son parte de la fase líquida están casi completamente llenos, manifestándose una influencia efectiva de la gravedad. Como consecuencia, el suelo está saturado y el movimiento del agua se llama de flujo saturado, incluso si todavía hay aire en el suelo, porque el movimiento del agua en respuesta a los gradientes de temperatura requiere de un flujo continuo de aire. La humedad del suelo se evapora en el punto más caliente, pasa por los poros y se condensa en el punto más frío, este proceso se conoce como transferencia de vapor que es un proceso de flujo lento de agua, pero que ocurre cuando el suelo está seco donde el agua puede trasladarse rápidamente y el movimiento capilar se producirá en respuesta al gradiente de estrés. En el suelo, el agua está sometida a diferentes fuerzas tales

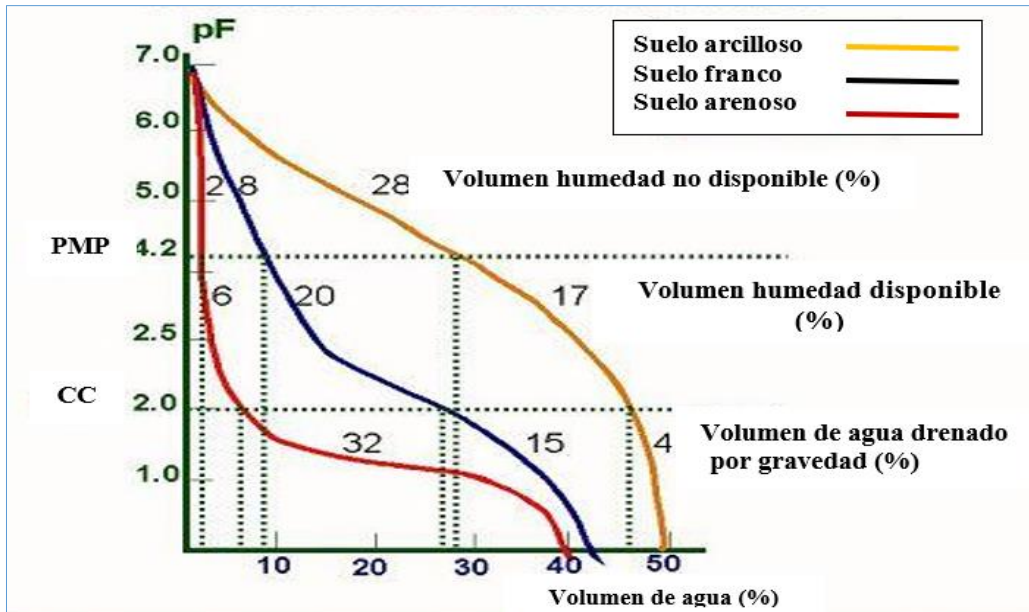
como los efectos de la fuerza de gravedad y de las fueras capilares, osmóticas o de absorción, las mismas que afectan al movimiento o a la retención del agua en el suelo (Jordán, 2010).

Cuando una parcela agrícola se inunda, el espacio de aire en el suelo es reemplazado por agua y cuando el suelo es drenado la humedad presente es considerada como la capacidad de campo (CC) que significa la cantidad de agua que el suelo puede retener después de la saturación obtenida después del drenaje libre, evitando la evaporación hasta que el potencial hídrico se estabilice (después de un riego pesado o de una lluvia de 24 a 48 horas de duración). En este caso, el agua ocupa un mayor espacio poroso (macroporos), que es drenado hacia la capa inferior por efecto de la gravedad y en estas condiciones los orificios libres más pequeños (microporos) se llenan de agua y los macroporos se llenan de aire y agua, respectivamente. El punto de resistencia de la capacidad de campo corresponde a una fuerza de succión de 1/3 bares. Por debajo de los 15 bares de fuerza de succión, la cantidad de agua en el suelo se denomina punto de marchitez permanente (PMP). En ese momento, la planta perderá su succión y seguirá perdiendo agua a través de la transpiración. La fuerza de hinchamiento de las plantas desaparece y hace que se marchiten (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2016).

La diferencia entre el punto de retención del agua a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, representa gráficamente el agua disponible del cultivo en milímetros o en porcentaje. La naturaleza del suelo influye en la cantidad de agua que se descarga en el suelo hasta la capacidad de retención de agua del campo y la cantidad de agua disponible para las plantas. La humedad del suelo disponible se puede determinar en el laboratorio, como se muestra en la Figura 1 (p, 23), está relacionada con la curva de retención de humedad del suelo (FAO, 2016).

Figura 1

Curvas de retención de la humedad en el suelo



Nota. La imagen fue tomada del documento trabajo por la FAO (2016) “Disponibilidad de agua en el suelo”.

1.2.6. Factores edáficos que afectan el movimiento del agua en el suelo

La capacidad del suelo para resistir la gravedad y retener el agua permite que las plantas sobrevivan. El suelo puede contener agua relativamente estable que estarán en contacto constante con las raíces de las plantas, si no existe contacto el agua se escurrirá del suelo. El proceso de la retención del agua en el suelo se produce en función de varias características, que pueden identificarse individualmente. Sin embargo, también se debe considerar la acción de estos factores en conjunto para comprender la capacidad total de retención del agua en el suelo (Stakland, 2017). Dentro de estas características están las siguientes:

Textura

La textura se refiere a la distribución proporcional de las partículas individuales del suelo (arena, limo y arcilla) para una mejor investigación, incluyendo arena (0,05 a 2 mm), limo (0,002-0,05 mm) y arcilla (<0,002 mm). Los suelos con mayor contenido de arena son suelos arenosos o gruesos, mientras que los suelos con mayor contenido de arcilla son suelos finos o finos (Huerta, 2010). El suelo ideal es suelo fértil, su contenido es aproximadamente 40 % de arena, 40 % de limo y 20 % de arcilla (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA], 2008). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la

Agricultura [FAO] (2017) añade que la textura del suelo representa el contenido relativo de partículas de diferentes tamaños (como arena, limo y arcilla) en el suelo. La textura depende del simple tratamiento del suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad a la que el agua penetra y penetra en el suelo.

La textura es la propiedad que afecta las propiedades físicas y químicas del suelo. Los suelos con una buena textura fina tienen una superficie activa total mayor que los suelos con una textura gruesa tienen una mayor capacidad de absorber nutrientes siendo generalmente más fértiles. La arcilla tiene una superficie más grande y un espacio poroso total más grande que la arena, por lo que tiene una mayor capacidad de retención de agua. En suelos arenosos, hay poros más grandes que juegan un papel en el movimiento del aire y el agua, pero no juegan un papel en retenerlos, lo que permite que el agua penetre rápidamente (FAO, 2017). La textura del suelo es principalmente una medida del contenido de minerales finos (el porcentaje de arena, limo y arcilla) en el suelo, excluyendo todos los materiales mayores de 1/4 de pulgada (6,35 mm), es decir, cuanto más fina es la textura del suelo, más arcilla y limo y menos arena. En tanto cuanto más fino sea el tamaño del material, mayor será la superficie terrestre. A medida que aumenta la superficie, el suelo tiene una mayor capacidad de retención de agua. Por ejemplo, el suelo de la playa no puede absorber bien el agua, pero el suelo con mucha arcilla puede absorber mucha agua. Uno de los problemas con la arcilla y la humedad es que es difícil que las raíces de las plantas absorban, incluso si tienen más agua. En estos casos, la atracción de pequeñas partículas de arcilla es mayor que la atracción de las raíces de las plantas (Stakland, 2017).

Material orgánico

De Jesús (2010) considera que descomposición de restos plantas y de animales dan origen a la formación de la materia orgánica del suelo que es otra sustancia que aumenta el área superficial de los coloides del suelo con amplia capacidad de absorción y retención del agua; en consecuencia, a mayor contenido de materia orgánica en el suelo, mayor será la capacidad para retener el agua. Al agregar materia orgánica al suelo en forma de abono o mantillo protector puede aumentar en gran medida su capacidad de retención de agua. Y cuando este material orgánico es adicionado al suelo sin procesamiento previo, es descompuesto por

microorganismos convirtiéndola en una sustancia apta para el desarrollo vegetal, la misma que es denominada humus, esta sustancia es un modelo de descomposición de la materia orgánica, significando una sustancia completamente descompuesta que básicamente tiene las siguientes características: (a) Es impermeable al agua que evita el lavado del suelo y la pérdida de nutrientes que son requeridos por las plantas, (b) Produce cambios en las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, permitiendo una perfecta aireación, aumentando la porosidad y la penetración del agua y de las raíces, (c) Además, es la fuente más importante de nutrientes que se obtienen a través del proceso de descomposición producida por bacterias y hongos para ser absorbidos por las plantas, ubicándose principalmente alrededor de nitrógeno (NO_3^- , NH_4^+), fósforo (PO_4^{+3}), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na), algunos para nutrir a las plantas y otros para mantener la vida de los organismos del suelo que son necesarios para el mantenimiento de los procesos relacionados con la renovación de recursos

Estructura

La estructura del suelo es la forma en que la arena, el limo y la arcilla se combinan en agregados o grupos (León, 2000). Esta característica tiene un impacto directo en la circulación del aire y el movimiento del agua en el suelo, el crecimiento de las raíces y la resistencia a la erosión. Los agregados pueden tener diferentes formas (granulares, cúbicos, prismáticos, columnares o en forma de láminas) y tamaños variables, así como diferentes grados de estabilidad y los agregados estables entre 2 y 5 mm están relacionados con una mejor calidad del suelo (USDA, 2008). La estructura del suelo es definida como la unión de varias partículas para formar agregados estables que determinan la facilidad con la que el agua puede drenar del suelo. Los suelos mal estructurados, como los que se encuentran cerca de las playas arenosas, permiten el paso excesivo del agua, es así que el horizonte superior de un suelo fértil que dispone de una buena estructura absorbe mucha agua y también descarga rápidamente el exceso de agua. La estructura del suelo depende en gran medida del contenido de arcilla y de materia orgánica, estos componentes actúan como pegamentos uniendo a muchas partículas de tamaño grande. La materia orgánica que se origina a partir de las raíces ayuda a tejer el suelo en pequeños grupos, originándose una buena estructura (Stakland, 2017).

Porosidad

El espacio poroso o la porosidad del suelo denotan el porcentaje del volumen del suelo que no está ocupado por sólidos y que puede ser determinada a partir de la densidad aparente y la densidad de partícula. Dentro del espacio poroso se distinguen dos tipos de poros, los macroporos ($> 250 \mu\text{m}$) y los microporos ($<250 \mu\text{m}$), en los que el agua, los nutrientes, el aire y el oxígeno pueden circular o permanecer. En los macroporos la fuerza de gravedad no permite la retención del agua, produciéndose como consecuencia el drenaje y una mayor aireación del suelo, dejando libre el espacio para el desarrollo de las raíces, por el contrario, los microporos retienen el agua y parte de este recurso puede ser utilizado por las plantas (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2015).

La cantidad de espacio entre las partículas del suelo se llama porosidad y se mide en función de la densidad aparente del suelo, cuanto mayor sea la densidad del suelo mayor será el espacio para la retención de humedad. En comparación con los suelos muy arenosos, los suelos con mucha arcilla tienen más espacio total entre las partículas. Esto se debe a que el volumen de todos los espacios pequeños entre las partículas de arcilla excede el volumen del espacio más grande entre las partículas de arena. Debido a la fuerza capilar del líquido, la humedad se mantiene de manera más segura en el pequeño espacio entre las partículas. En espacios de poros grandes, la gravedad puede drenar más fácilmente el agua del suelo (Stakland, 2017).

1.2.7. Riego

En el país, la mayor importancia del riego se refleja en las zonas costeras, donde todas las áreas agrícolas están bajo el sistema de riego. Por lo tanto, el riego es y seguirá siendo muy importante en las zonas costeras y las zonas planas produciendo un gran impacto en la productividad de la tierra cultivada. La mayor dificultad en el uso actual del agua se debe a las diversas e impredecibles decisiones de los agricultores de incorporar el riego en prácticas estrictas de gestión del agua. Esta situación se agrava aún más cuando los productores no obtienen la cantidad de agua necesaria para sus cultivos, o cuando la asignación propuesta tiene poca o ninguna relación con lo que eventualmente sucederá en la realidad. La gestión eficiente del agua en sistemas complejos es difícil de conseguir porque requiere habilidades

técnicas y sociales (Zegarra, 2005). Los principios de la gestión del agua en los grandes sistemas se formulan de forma general, distribuyendo el agua ordenadamente, teniendo en cuenta los parámetros que impone el sistema de distribución en concordancia con los requerimientos de las áreas de crecimiento y con el cronograma de entrega. Por lo tanto, el agua es un recurso natural escaso y debe ser utilizado de la manera más eficiente posible y es por eso que la agricultura significa áreas productivas en las que se utilizando profusamente diversas técnicas para la optimización de agua, con el fin de usar tan solo el agua necesaria para que la producción agrícola sea rentable en lo posible (Fundación Aquae, 2022).

Para valorar la precipitación se tener en cuenta la intensidad con la que cae y la cantidad de agua que se acumula en una hora o en un lapso de 12 horas, una precipitación menor de 2 mm por hora es una lluvia débil o ausente, casi nada, entre 2 y 15 mm la precipitación es de intensidad moderada y a partir de 15 mm por hora se considera la presencia de algún riesgo ya que entre 15 y 30 mm la lluvia es fuerte, entre los 30 y 60 mm muy fuerte y a más de 60 mm será torrencial. Cuando la lluvia es escasa (débil o moderada) para los cultivos y se desea lograr mayores rendimientos, el suelo debe irrigarse (Iza, 2021). Pereira (2010) agrega que el manejo de los sistemas de riego debe ser entendida como la combinación óptima para cubrir las necesidades hídricas del cultivo de acuerdo con las características del suelo, tanto como medio, así como para el almacenamiento de agua y la cantidad de agua que debe aplicarse a la parcela.

1.2.8. Tipos de riego

Según la Fundación Aquae (2022), los principales tipos de riego utilizados en la agricultura son:

Riego por gravedad

El riego por gravedad o superficial es un sistema de riego mediante el cual el agua es suministrada a la parcela distribuyéndose ampliamente en el suelo, cubriendo toda o parte de su superficie. Cuando el agua alcanza el punto donde se aplicará, no requiere ningún suministro de presión porque se puede verter y fluir libremente. Este método se ha utilizado durante más tiempo en el mundo y es aplicable a áreas agrícolas más grandes incluso en la

actualidad. Como resultado, han surgido muchas técnicas de riego por gravedad, lo que ha dado lugar a innumerables tipos de sistemas de riego de superficie. Se estima que el 95 % de las tierras de regadío del mundo están cubiertas por sistemas de superficie. Este tipo de riego se basa en empujar agua desde la cabecera de la parcela o aplicarla en un lugar que suele llegar más tarde (la zona denominada cola) para que distintos puntos dentro de la parcela queden cubiertos de agua en distintos momentos. A medida que el agua fluye, penetrará en el suelo y será utilizada por las plantas, pero la cantidad de agua que penetre dependerá de las características del suelo y del tiempo que el agua permanezca en él Fernández *et al.* (2010).

Riego por aspersión

Demin (2014) explica que el riego por aspersión incluye el riego de una manera similar al agua de lluvia que cae sobre las plantas. En este tipo de riego, el agua es guiada a través de un sistema de tuberías presurizadas, y cuando llega al aspersor, el chorro de agua se descompone en muchas gotas que caen al suelo. Es un método de riego apto para la energía eólica que no afecta ni provoca pérdida de efecto de riego, también hay que considerar que el agua cubre la mayor parte del suelo y la pérdida por evaporación es mayor. Así mismo, es un sistema que requiere más energía porque su funcionamiento requiere alta presión. No se puede ignorar que la tasa de aplicación de la tableta de riego debe ser cercana a la tasa de caída con la lluvia, y también debe ser igual o menor que la tasa de infiltración del suelo para evitar la escorrentía. Tarjuelo (2005) señala:

Las ventajas del riego por aspersión se derivan principalmente de dos aspectos fundamentales: el control de riego sólo está limitado por las condiciones atmosféricas (pérdidas por evaporación o arrastre y efecto del viento sobre la uniformidad de reparto) y la uniformidad de aplicación es independiente de las características hidrofísicas del suelo. Las principales ventajas puede ser: La dosis de riego es función del tiempo y puede adaptarse tanto a dosis grandes como pequeñas, puede modificarse fácilmente adaptándose a terrenos muy permeables o muy impermeables, e incluso a terrenos con características heterogéneas, no requiere nivelaciones, porque se adapta a topografías onduladas lo que permite una buena mecanización, es adaptable a la rotación de cultivos y dosifica de forma rigurosa los riegos ligeros, siendo importante en nascencia porque se ahorra agua, ahorra mano de obra, pero tiene una mayor inversión. evita la construcción de acequias y canales, aumentando la superficie útil, siendo de fácil manejo comparado con el riego por superficie, es un método eficaz para en el lavado de sales. Los principales inconvenientes está el hecho de que la energía empleada encarece la operación, el posible efecto de la aspersión sobre plagas y enfermedades, las interferencias

sobre los tratamientos al lavar los productos que protegen a la parte aérea del cultivo, puede originar problemas de sanidad en la parte aérea del cultivo cuando se utilicen aguas salinas o residuales produciendo desuniformidad en el reparto del agua por la acción de fuertes vientos.

Riego por goteo

Es un tipo de riego muy utilizado en las zonas áridas y se fundamenta en la distribución del agua más los fertilizantes sobre o dentro del suelo llegando directamente a la zona radicular de las plantas. El agua llega al suelo mediante una red de tuberías de polietileno o PVC hidráulico mediante tubos rígidos en las líneas principales de donde se reparten en líneas laterales con tubos de polietileno flexibles. Las fluctuaciones de humedad que se producen con los otros tipos de riego no son producidas con el riego por goteo, ya que la humedad del suelo es continua porque se puede aplicar de dos a tres veces por día, tanto a cielo abierto como en cultivos en invernaderos. Su uso es más recomendable para cultivos anuales y perennes sembrados en hileras, así como también es posible usarlo en la hidroponía, cuyos rendimientos superan notoriamente a los cultivos sembrados directamente en el suelo (Liotta, 2015).

Mendoza (2013) menciona que las ventajas del riego por goteo son las siguientes: (a) facilita el crecimiento del sistema radicular al mantener una humedad constante, renovando el volumen de agua presente en el suelo, permitiendo además, la aplicación de los fertilizantes junto con el agua; (b) al no mojar todo el suelo, no solo reduce el consumo de agua, sino que también tiene la importante ventaja de reducir la posibilidad de la presencia de malas hierbas; (c) se reduce el consumo de agua mejorando significativamente su eficiencia del agua; (d) el riego por goteo es compatible con otras tareas como la poda, la orientación y la aplicación de plaguicidas, adaptándose a terrenos rocosos o con grandes pendientes. Las desventajas incluyen: (a) el sistema por goteo puede taponarse bloqueando la normal infiltración del agua y (b) la inversión inicial es alta porque su diseño, instalación, manejo y mantenimiento requieren de personal técnico altamente capacitado, incidiendo en que su costo sea alto.

1.2.9. Manejo del agua de riego

El riego produce efectos beneficiosos al reducir la temperatura del suelo y del medio ambiente en verano y evita o al menos reduce la temperatura de las plantas a un nivel crítico cuando ocurren problemas de heladas en invierno, creando así un ambiente favorable para el crecimiento de las plantas. Además, su objetivo es proporcionar la humedad necesaria para el crecimiento y desarrollo de las plantas, incluido el transporte de nutrientes, y en algunos casos puede diluir y lixiviar la sal existente en el suelo. El riego se define como la aplicación artificial del agua sobre la tierra, proporcionando a las especies vegetales el agua necesaria para el crecimiento, cuando las lluvias no son suficientes para cubrir las necesidades de agua, esta deficiencia es superada de manera eficaz por este tipo de riego. Además, el riego por goteo permite ajustar la humedad del suelo, especialmente en la zona donde las raíces ocupan la mayor actividad de extracción del agua (Génova, 2003).

La elección de qué sistema de riego es una interrogante para el agricultor porque para elegir el tipo de riego la implementación obliga a hacer inversiones que tienen que ser justificadas tomándose en cuenta costos y beneficios, ya que se debe tener en cuenta el aprovechamiento eficiente que no sólo tiene que ver con el tipo de sistema de riego a elegir, sino una serie de interrelaciones entre el manejo del agua de riego y las características hídricas del suelo, con el fin de adecuar el manejo del agua en el terreno a laborar, con el objetivo de lograr una óptima eficiencia del tipo de riego a utilizarse. Por lo tanto, la elección del sistema de riego no solo tiene que ver con el tipo de riego a usar, sino también intentando operar de modo que los recursos sean aprovechados adecuadamente (Portal Frutícola, 2016).

Sawchik (2000) explica que el uso de la tecnología de riego significa el conocimiento de algunos parámetros básicos del suelo y del cultivo, los mismos que son esenciales para el uso efectivo del agua al ser aplicada al proceso productivo. Sin embargo, es necesario revisar algunos conceptos básicos sobre estos parámetros y cómo utilizar las herramientas disponibles para estimarlos o calcularlos. El conocimiento de estos parámetros es útil para cultivos que no están manejados adecuadamente, sobre todo en condiciones de sequía o riego necesario. También hay que tener en cuenta que el suelo consta de tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida está formada por partículas minerales y materia orgánica. El espacio

no ocupado por la fase sólida está constituido por los poros del suelo, estos espacios suelen estar ocupados por agua y aire, cuya proporción depende del contenido de agua del suelo. El contenido de agua del suelo tiene un efecto directo sobre el crecimiento de las plantas, pero también afecta a otras propiedades como la consistencia, plasticidad, compacidad y permeabilidad (Sawchik, 2000).

Capacidad de campo

Servín (2007) define a la capacidad de campo (CC) de un suelo, al agua contenida en el suelo después que un drenaje gravitacional donde una cantidad muy pequeña de humedad llega a ser relativamente estable, situación que ocurre después que el suelo fue totalmente humedecido por una lluvia intensa o riego, cuyo valor se determina simplemente vertiendo agua en la superficie del suelo y dejándola drenar por unos tres a cuatro días (dependiendo del tipo de suelo), evitando que se produzca la evaporación del agua en la superficie. La CC de las muestras son obtenidas por gravimetría el contenido de agua es expresado volumétricamente. Debido a que la capacidad de campo es afectada por la estructura del suelo, las determinaciones de laboratorio no son siempre indicadores confiables del valor de campo.

Punto de marchitez permanente

El punto de marchitez permanente (PMP) es el contenido de agua del suelo que ocurre cuando la planta se marchita y no recupera su turgencia por más que se riegue. Para esto se toma como referencia un contenido de humedad mínimo permisible para las plantas conocido como punto de marchitez permanente. Debajo de este contenido de humedad, varios cultivos indicadores son incapaces de recuperar su turgencia, aun después de colocarse en una atmósfera saturada por un período de 12 horas (INTAGRI, 2007).

Agua disponible

Se define agua disponible o humedad aprovechable (AD) a la cantidad de agua retenida en el suelo entre los valores de capacidad de campo (-0.1 y -0.3 bars) y punto de marchitez permanente (-15 bars), este tipo de humedad se refiere a la máxima cantidad de agua que el

perfil del suelo puede retener en la zona que está ocupada por las raíces de las plantas (Pr). Regularmente se estima como una lámina o espesor de agua (Servín, 2007).

Tabla 1

Punto de marchitez, capacidad de campo y agua aprovechable según la textura

Textura del Suelo	Punto de marchitez permanente (%)	Capacidad de campo (%)	Agua aprovechable (%)
Arena	1,7	6,8	5,1
Arena franca	2,3	8,5	6,2
Franco Arenoso	3,6	11,5	7,9
Franco Arenosos fino	4,5	14,7	10,2
Franco	6,8	18,1	11,3
Franco limoso	7,9	19,8	11,9
Franco arcilloso	10,2	21,5	11,3
Arcilla	14,7	22,6	7,9

Nota. Los datos de la tabla fueron tomados de INTAGRI (2007).

1.2.10. Hidrogel

Los hidrogeles superabsorbentes, también denominados polímeros absorbentes de agua, son una red de polímeros tridimensionales reticulados que pueden absorber y retener grandes cantidades de agua y moléculas de soluto en un estado hinchado debido a los diversos grupos hidrófilos como los grupos carboxilo, amino e hidroxilo unidos a una columna vertebral polimérica (Feng *et al.*, 2014). El polímero hidrófilo puede aumentar la capacidad de retención de agua del suelo y reducir la condición de estrés hídrico. Los hidrogeles disponibles comercialmente en el mercado tienen una capacidad de absorción de agua que oscila entre 100 y 500 g por gramo de hidrogel (Saha *et al.*, 2020). Durante el tiempo de lluvia/riego, el hidrogel absorbe y retiene una gran cantidad de agua y actúa como un reservorio adicional de agua porosa. A medida que el suelo se seca durante el período de sequía, el agua absorbida es liberada al suelo y las raíces de las plantas pueden absorberla. Cuando el suelo pierde humedad el hidrogel que fue aplicado al suelo comienza a liberar agua según las necesidades de las raíces, esto sucede con todo tipo de planta cultivada;

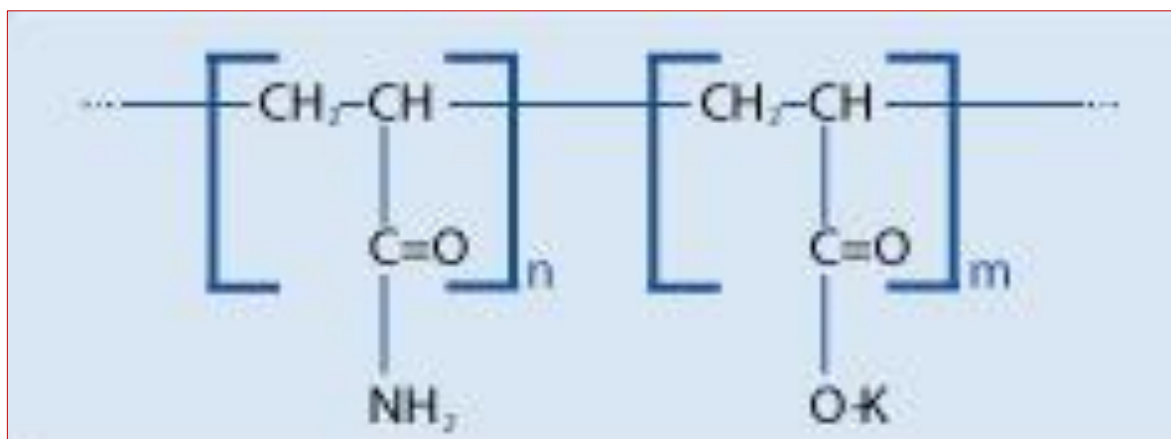
produciendo, al mismo tiempo un ahorro significativo de agua y la reducción de la frecuencia de los riegos (Distribuidora y Comercializadora Tornado, 2012).

Las propiedades del suelo de textura arenosa influyen en la capacidad de retención del agua, la eficiencia del uso del agua, la permeabilidad del suelo y las tasas de infiltración, la erosión del suelo y la escorrentía superficial (Kalhapure *et al.*, 2016). La aplicación del hidrogel en suelos de textura gruesa puede mejorar considerablemente la capacidad de retención de agua y reducir la tasa de infiltración evitando las pérdidas por percolación del agua (Buchmann *et al.*, 2015;). También influye en el control de las pérdidas por evaporación del suelo y por la actividad microbiana dentro del suelo (Marandi *et al.*, 2009). Del mismo modo, los hidrogeles aseguran buenas poblaciones y un alto crecimiento de las plantas, incluso en suelos muy permeables. El uso del hidrogel en el cultivo de hortalizas y otras especies de ciclo vegetativo corto y cultivados especialmente en invernaderos, en cuyo caso el hidrogel es mezclado con el sustrato en una cantidad de 3 g.kg⁻¹, ha incrementado la calidad y rendimiento de los cultivos (Alquera Ciencia, 2020).

El hidrogel reduce la frecuencia de riego en un 50 % y disminuye los requerimientos de fertilizantes y es una sustancia que no afecta al medio ambiente por ser biodegradable, es usado en los hoyos donde serán trasplantadas las plántulas como un complemento mezclado con agua adquiriendo la forma de un gel, también puede ser aplicado directamente en los surcos de siembra utilizándose entre 10 a 15 kg.ha⁻¹. Por otro lado, los polímeros súper absorbentes fabricados de acuerdo con los estándares de calidad agrícola tienen las siguientes características: son inertes, no tóxicos, mejoran la supervivencia de las plantas y organismos del suelo, reducen los niveles del agua de riego en más del 50 % y contribuyen en la absorción de los elementos nutritivos aplicados en forma de fertilizantes, liberándoles lentamente, también pueden reducir el uso de pesticidas (herbicidas, fungicidas) y cuando son usados como suplementos del suelo, pueden mejorar el drenaje (Distribuidora y comercializadora Tornado, 2012). La estructura química del hidrogel está señalada en la Figura 2.

Figura 2

Estructura química comercial del acrilato (hidrogel)



Nota. Distribuidora y Comercializadora Tornado (2012).

1.2.11. Cultivo de la “espinaca”

La *Spinacia oleracea* L. “espinaca” es el vegetal de hoja de mayor consumo por la población porque tiene la particularidad de aportar un nivel balanceado de vitaminas y minerales para una dieta sana, evitando el efecto de varias enfermedades originadas por una deficiente nutrición. Su taxonomía es la siguiente: reino Plantae, subreino Tracheobionta, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, subclase Caryophyllidae, orden Caryophyllales, familia Amaranthaceae, subfamilia Chenopodioideae, Género *Spinacea*, especie *Spinacea oleracea*. (Integrated Taxonomic Information System [ITIS], 2022). Morfológicamente es una planta anual con raíz pivotante, poco ramificada y con desarrollo superficial con hojas se forman en roseta, pecioladas de limbo triangular u ovalado, con márgenes enteros o sinuosos de aspecto blando rizado, liso o abollado. Las variedades mejoradas por el hombre tienen un mejor sabor, mantienen el color después de la cocción y con hojas de mayor espesor. La planta desarrolla un tallo floral en la segunda fase de su ciclo que puede alcanzar los 80 cm, posee flores verdosas, es una planta dioica porque tienen flores masculinas y femeninas. Es una planta originaria del Asia Central (Jiménez *et al.*, 2010). La “espinaca” fue introducida a Europa desde Asia alrededor del año 1 000 d.C., probablemente desde Persia, pero no se extendió por toda Europa hasta el siglo XVIII, los cultivos iniciales de esta especie fueron establecidos principalmente en los Países Bajos, Inglaterra y Francia; luego se cultivaron en otros países, extendiéndose hasta los Estados Unidos de América (INFOAGRO, 2005).

La mejor época para la siembra de la “espinaca” es el otoño y el invierno, debido a que el tipo de clima para un mejor desarrollo debe ser templado, con una temperatura óptima entre 13 a 18 °C. A mayor temperatura habrá un menor rendimiento, porque afectará a la germinación y al desarrollo del cultivo. En tanto, cuando está en crecimiento es resistente a temperaturas inferiores a 0 °C, si persiste esta temperatura baja provocará enfermedades foliares y estancamiento del crecimiento de las plantas. La temperatura mensual más baja para este cultivo es de alrededor de 5 °C. Desde el punto de vista morfológico, el sistema radicular de la “espinaca” está compuesto por raíces cónicas, con pocas ramificaciones y con desarrollo poco profundo; los tallos son erectos, con hojas más o menos alternas y pecioladas con formas y consistencia muy variables y de color verde oscuro. El pecíolo es cóncavo con una base rojiza, con 6 a 12 flores masculinas agrupadas y de longitud es variable; con 6 a 12 flores femeninas con el glomérulo que está ubicado al centro, el ovario es un óvulo único, estilo único y el estigma se divide en 3-5 segmentos (INFOAGRO, 2005).

En cuanto a los requerimientos climatológicos y edafológicos la “espinaca” puede soportar temperaturas por debajo de 0 °C, si esta condición persiste, además de causar lesiones foliares, también conducirá a un estancamiento total del crecimiento. La temperatura mínima para el crecimiento normal es de unos 5 °C. Si el calor es excesivo, el fotoperiodo es largo y la temperatura es muy baja (5-15 °C) con días muy cortos, que es característicos de los meses de invierno, la floración será más rápida. Del mismo modo, requiere de suelos fértiles con una buena estructura física y con reacciones químicas equilibradas. Por lo tanto, el suelo además de ser fértil debe ser profundo, bien drenado, de consistencia media, ligeramente suelto, rico en materia orgánica y nitrógeno porque la “espinaca” requiere de niveles altos de este elemento. El suelo no debe secarse fácilmente ni mantener agua estancada o en exceso. El desarrollo de la “espinaca” es limitado en suelos ácidos con pH inferior a 6,5. El pH débilmente alcalino hará que el pecíolo se torne rojizo y cuando es muy alto se producirá una acentuada clorosis (INFOAGRO, 2005). Las áreas de producción son Junín (Tarma, Huancayo), Lima (Rímac, Chillón, Chancay y Huaral) e Ica (Cañete), lugares donde la especie se desarrolla muy bien, especialmente en suelos sueltos y ricos en materia orgánica. La “espinaca” tiene una tolerancia media a las sales, baja tolerancia a los suelos ácidos (Ugás *et al.*, 2000). El uso de bandejas para la germinación asegura una mayor tasa de germinación de las semillas de “espinaca”; ayudando a disminuir la presencia de enfermedades e insectos, evitando de esta manera, que los patógenos y las plagas ataquen a las plántulas en la etapa

más vulnerable del proceso productivo de esta especie. Además, el uso de las bandejas de geminación reduce la cantidad de semillas utilizadas al evitar su pérdida en el campo. Vázquez *et al.* (2014) agregan que la demanda de agua es diversa, al principio los cultivos necesitan muy poca agua, pero aumentará cuando las hojas entran a una etapa de desarrollo. El consumo de agua por una planta de “espinaca” es de 390 ml como promedio diario. Como consecuencia, es recomendable regar con 100 a 150 ml de agua al inicio y 400 ml cuando las hojas están en su máximo desarrollo.

1.2.12. Cultivo del “nabo”

El *Brassica campestris* L. “nabo” es una especie vegetal que fue la base de la dieta alimenticia de las tribus primitivas que vivieron en Europa. Fue cultivado por primera vez hace cuatro mil años y fue muy apreciado por los griegos y romanos. Ambas civilizaciones obtuvieron nuevas variedades en bases a plantas silvestres. En la Edad Media, el “nabo” era uno de los alimentos más importantes, aunque en la actualidad no es muy aceptado. Sin embargo, esta especie es cultivada en todo el mundo, especialmente como alimento en la actividad ganadera. Sin embargo, al conocerse más detalladamente acerca de los componentes y las propiedades que tienen tanto sus raíces como sus hojas, el “nabo” ha vuelto a tener una gran importancia en la actualidad (Huallpa, 2010). Taxonómicamente el “nabo” es clasificado de la siguiente manera: reino Plantae, división Angiospermae, clase Magnoliopsida, orden Brassicales, familia Brassicaceae, género *Brassica*, sección Brassicaceae, especie *Brassica rapa* (ITIS, 2022). “El nabo” es una planta bianual cuyas hojas son de una más o menos lobuladas, con los bordes festoneados que se caracterizan por un color verde medio, con ciertas diferencias entre variedades, tienen un áspero debido a los pelos o tricomas que tiene. La principal característica que diferencia las variedades de nabo está en la raíz que puede ser más o menos engrosada, carnosa, esférica, aplanada, cónica o alargada cuyo color varía entre blanco, verde, amarillo, rojo, gris o negro con carne blanca o amarilla, de un sabor azucarado o picante, según sea forrajera o de mesa. Por ser una planta bianual, el segundo año emite el tallo floral liso y ramificado que puede alcanzar los 60-80 cm, las flores son de tamaño mediano y están reunidas en un racimo terminal que dará lugar a un fruto en forma de silicua larga y fina con 15 a 25 semillas (Mercola, 2019).

Ruano (1999), citado por Mamani (2018, p. 7) explica que para el cultivo del “nabo” se requiere de tierra liviana, fértil y bien preparada y que contenga abundante materia orgánica. Los suelos más adecuados deben ser de pH neutros, pero de ninguna manera ácidos, incluso pueden ser un poco alcalinos (algo similar a lo requerido por muchas especies de crucíferas, como el repollo y la col rizada). El “nabo” prefiere suelos de textura franca y con una buena retención de agua, si los suelos son demasiado livianos, pedregosos o calcáreos darán origen a la formación de raíces fibrosas y con un deficiente sabor, el valor óptimo del pH debe estar entre 6,5 y 7,0. Para el desarrollo normal de la especie la profundidad debe estar entre 20 a 30 cm. Las mejores condiciones ambientales para el crecimiento estarán en un clima ligeramente cálido (temperatura mínima de 15 °C y temperatura máxima de 20 °C). Sin embargo, en la costa del Perú, se puede cultivar durante todo el año. Requiere de riegos abundantes durante todo el proceso de cultivo, especialmente durante el desarrollo de las raíces fibrosas, ya que la falta de agua puede provocar quebraduras y amargor en las raíces. Sin embargo, cuando se acerca la época de la cosecha, se debe suspender los riegos para evitar la propagación de bacterias que causen la pudrición de las raíces fibrosas y que incluso puedan matar a las plantas (Alternativa Ecológica, 2012)

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

La investigación fue experimental, de tipo explicativo, correlacional y con un enfoque cuantitativo, considerando que el tema de investigación tiene un sustento teórico suficiente. De acuerdo con Hernández *et al.* (2010) la investigación experimental es la que se realiza manipulando deliberadamente las variables; lo que se hace en este tipo de investigación es observar fenómenos obteniendo datos para después analizarlos. En esta investigación se manejaron cantidades diferentes de hidrogel (poliacrilamida) combinadas con dos niveles de agua a la capacidad de campo (50 y 100 %), para conocer el efecto sobre el rendimiento de dos especies de hortalizas (“espinaca” y “nabo”).

2.2. Lugar y fecha

La investigación planteada fue un ensayo en macetas que se ejecutó en predio de la familia Salguero Lucas ubicado en el sector de “Miguel Grau”, distrito de Chancay, provincia de Huaral, en la Región Lima Provincias; en donde se instaló un tinglado para la ejecución del experimento (ver Apéndice 6), cuyas UTM's son: 252 249,61 m E, norte 87 302,52 m S, (ver Apéndice 1), con una altitud de 67 m s.n.m. El sustrato que se utilizó para el experimento fue recolectado de una de las parcelas agrícolas de la misma familia Salguero Lucas ubicado en la terraza baja del sector de “Las Salinas”, Chancay. Este sustrato fue recogido en una cantidad equivalente a 5 kg por cada maceta en estudio, las mismas que fueron preparadas adecuadamente y con anticipación.

La duración del proyecto fue de diez meses, iniciándose en el mes de junio del año 2020 con la fase preliminar, seguida de la fase de campo, laboratorio y gabinete, para culminar con la fase de procesamiento de datos y redacción del informe final en el mes de marzo del 2021.

2.3. Materiales

Los materiales usados durante el desarrollo del trabajo experimental tanto en sus fases de campo, laboratorio y gabinete, fueron los siguientes:

Materiales de campo

Lápices, plumones de punta gruesa y delgada, baldes de cuatro litros de capacidad, base para baldes, tierra agrícola, bolsas de papel, letreros para la identificación de los tratamientos. Cámara fotográfica, calculadora, balanza de 0,01 de aproximación, cinta métrica. Hidrogel, semillas de “espinaca” y de “nabo”, agua, jarras graduadas, regaderas. Tablones de madera, plásticos, cuchillo, guardapolvos, guantes.

Materiales de laboratorio

Calculadora, pinzas, papel toalla, guantes, guardapolvos, mascarilla, vasos de plástico descartables, balanza analítica, libreta de apuntes, plumón indeleble de color negro, cinta métrica, estufa, tabla de picar, cuchillo, platos descartables.

Materiales de Gabinete

Fueron utilizados un equipo de computación e impresora, escáner, calculadora y USB, se utilizaron también programas computacionales Excel, Word, Power Point y para los análisis estadísticos se utilizó el software Minitab. En lo referente a los materiales de escritorio se utilizaron papeles bond A4, lapiceros, plumones indelebles y otros.

2.4. Técnicas e instrumentos

La investigación fue desarrollada en forma directa en base a los factores y tratamientos considerados en el estudio. Los resultados obtenidos en el laboratorio fueron interpretados de acuerdo con el Manual de campo para el muestreo y descripción de suelos sugerido por Schoeneberger *et al.* (2012).

2.5. Descripción del experimento

El desarrollo del experimento fue en cuatro fases de trabajo en base a lo recomendado por Pacheco (2020) y Mejía (2019) y en estrecha relación con el Reglamento de Tesis de la Facultad de Ingeniería Agraria de la Universidad Católica Sedes Sapientiae (2018), las fases consideradas fueron las siguientes:

Fase preliminar

Las actividades que se desarrollaron en esta fase fueron las siguientes:

- a. Gestión para ante los propietarios del predio para obtener el permiso correspondiente para el uso del predio y para la instalación de un tinglado.
- b. Ubicación de la parcela agrícola en el sector de “Las Salinas”, lugar de donde se tomaron la cantidad suficiente de suelo agrícola superficial para la preparación del sustrato que fue utilizado en el experimento
- c. Adquisición de 36 unidades de macetas de 5 kg de capacidad (en este caso fueron baldes de plástico) en los cuales fueron trasplantadas las plántulas de “espinaca” y “nabo”, para conocer el efecto del hidrogel en combinación con el riego.
- d. Se acopió de la información bibliográfica requerida en relación con los objetivos del trabajo experimental planteado.
- e. Se compró las semillas certificadas de las dos especies en estudio, teniendo en cuenta la procedencia, poder germinativo y pureza varietal.

Fase de campo

En la fase de campo se desarrollaron las siguientes actividades:

- a. Preparación de los almácigos de la “espinaca” y el “nabo” en bandejas de germinación con un sustrato uniforme, en donde se colocaron las semillas para su germinación. Las plantas germinadas, fueron irrigadas en intervalos de tres días con agua de pozo, teniéndose en cuenta la capacidad de campo del sustrato.
- b. Antes de iniciar el experimento, se tomó una muestra compuesta del sustrato que fue enviada al Laboratorio de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad

Nacional Agraria La Molina [UNALM] (2020) para efectuarse el análisis de caracterización del sustrato (ver Apéndice 2).

- c. Luego se hicieron los cálculos de los niveles de hidrogel, el volumen de agua aplicarse según los tratamientos, la cantidad de enmiendas orgánicas (compost) e inorgánicas (fertilizantes) (Tabla 2).
- d. Dentro de las enmiendas nutricionales se consideró la adición de compost para elevar el bajo contenido de materia orgánica del suelo en un equivalente de 10 t.ha¹.
- e. El sustrato previamente preparado fue colocado en las macetas de experimentación en un peso de 5 kg. Posteriormente, en estas macetas fueron instaladas las plántulas de “espinaca” y de “nabo” ya germinadas y mantenidas en las bandejas de germinación, previo riego anterior.
- f. Las cantidades de hidrogel calculados, agua de riego, compost y fertilizantes que se aplicaron a los tratamientos en estudio, se calcularon en base al peso de una hectárea de suelo, los mismos que se muestran en la Tabla 2.
- g. Del mismo modo se calculó la cantidad de agua a la capacidad de campo mediante el método práctico utilizándose una bolsa de polietileno agujereada en su base en donde se colocó 1 kg del sustrato utilizado, se le agregó 310 ml de agua hasta la saturación para luego dejarlo que drene libremente en un ambiente bajo sombra por 48 horas lográndose un peso estándar de 1,176 kg, obteniéndose luego la humedad a capacidad de campo mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ CC} = \frac{\text{Peso suelo húmedo} - \text{peso suelo seco}}{\text{peso suelo seco}} \times 100 = \frac{1,310 \text{ kg} - 1,176 \text{ kg}}{1,176 \text{ kg}} \times 100 = 11,39 \%$$

En base a estos resultados que fueron obtenidos con la ayuda de una balanza graduada pero no de precisión, se tomó en cuenta lo señalado en la Tabla 1 (página 32), la misma que indica que la CC de un suelo franco arenoso es 11,5 %. Relacionando este valor con los cinco kg de suelo de la maceta se obtuvo que el agua a CC al 100% es de 575 ml, tal como se señala en la Tabla 2.

Tabla 2*Cálculo de la cantidad de agua para el riego y la cantidad de hidrogel por maceta*

Hidrogel			Riegos		
Clave	Cantidad por hectárea (kg)	Cantidad por maceta (mg)	Clave	Porcentaje de agua *(CC)	Cantidad por maceta (ml)
H1:	0	0,0	R1	50	287,5
H2:	15	30	R2	100	575,0
H3:	30	60			

Fertilizantes			Compost		
Clave	Cantidad por hectárea (kg)	Cantidad por maceta (g)	Clave	Cantidad por hectárea (t)	Cantidad por maceta (g)
Urea (N):	115	1,0	Compost	10	20
Superfosfato triple de Ca (P):	115	1,0	-	-	-
Sulfato de potasio (K):	100	1,0	-	-	-

*CC=Capacidad de campo

- h. Luego las macetas fueron identificadas e irrigadas de acuerdo con el tratamiento considerado en el proyecto. Los riegos fueron aplicados desde inicio del experimento hasta los 15 días en intervalos de tres días, luego cada dos días hasta los 30 días, desde los 30 días hasta el final de trabajo experimental fueron aplicados diariamente.
- i. En el desarrollo del estudio fueron evaluadas la altura de plantas y la longitud de raíces (cada 20 días) y el rendimiento tanto en verde y en materia seca de la “espínaca” y el “nabo”, obtenidas en cada una de las unidades experimentales correspondientes (ver Apéndice 6).

Fase de laboratorio

En esta fase se realizaron los siguientes análisis:

- a. El análisis de caracterización del sustrato fue realizado en el Laboratorio de Suelos, Pantas, Aguas y Fertilizantes, de la UNALM (2020) para conocer el estado de las características físicas y químicas mediante un análisis de caracterización, las mismas que están mostradas en la Tabla 3.

Tabla 3*Análisis de caracterización del sustrato*

Característica	Unidades de expresión	Método
Reacción del suelo	Rangos de pH	Potenciómetro
Conductividad eléctrica	dS.m ⁻¹	Conductímetro
Carbonatos de calcio	%	Gaso volumétrico
Materia orgánica	g.kg ⁻¹	Walkey y Black
Fósforo disponible	mg.kg ⁻¹	Olsen modificado
Potasio disponible	mg.kg ⁻¹	Acetato de amonio pH 7
Textura del suelo	%	Método del hidrómetro
Capacidad de intercambio catiónico	cmol(+).m ⁻¹	Acetato de amonio pH 7
Cationes cambiabiles	cmol(+).m ⁻¹	Fotómetro de llama
Porcentaje de saturación de bases	%	Fotómetro de llama

Nota. UNALM (2020).**Fase de gabinete**

En esta fase se ejecutaron las siguientes actividades:

- a.** Ordenamiento y tabulación de los datos obtenidos en la fase de campo y de laboratorio.
- b.** Análisis estadísticos de los datos tabulados mediante el programa estadísticos Minitab.
- c.** Redacción del primer informe del trabajo experimental para ser sometido a revisión para su posterior sustentación.

2.6. Tratamientos

Los tratamientos en estudio fueron 12: dos hortalizas, tres cantidades de hidrogel y dos niveles de agua de riego, los mismos que están descritos en la Tabla 4.

Tabla 4*Tratamientos en estudio*

Tratamiento	Clave	Características del tratamiento
T01	C1H1R1	Cultivo de “espinaca”, 0 kg de hidrogel con riego al 50 % de la CC.
T02	C1H1R2	Cultivo de “espinaca”, 0 kg de hidrogel con riego al 100 % de la CC.
T03	C1H2R1	Cultivo de “espinaca”, 15 kg de hidrogel con riego al 50 % de la CC.
T05	C1H3R1	Cultivo de “espinaca”, 30 kg de hidrogel con riego al 50 % de la CC.
T06	C1H3R2	Cultivo de “espinaca”, 30 kg de hidrogel con riego al 100 % de la CC.
T07	C2H1R1	Cultivo de “nabo”, 0 kg de hidrogel con riego al 50 % de la CC.
T08	C2H1R2	Cultivo de “nabo”, 0 kg de hidrogel con riego al 100 % de la CC.
T09	C2H2R1	Cultivo de “nabo”, 15 kg de hidrogel con riego al 50 % de la CC.
T10	C2H2R2	Cultivo de “nabo”, 15 kg de hidrogel con riego al 100 % de la CC.
T11	C2H3R1	Cultivo de “nabo”, 30 kg de hidrogel con riego al 50 % de la CC.
T12	C2H3R2	Cultivo de “nabo”, 30 kg de hidrogel con riego al 100 % de CC.

2.7. Unidades experimentales

La investigación tuvo 12 tratamientos con tres repeticiones, haciendo un total 36 unidades experimentales (Tabla 5), distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 5*Distribución de las unidades experimentales por tratamientos*

REPETICIONES	Cultivos (C)											
	C1: “espinaca”						C2: “nabo”					
	Dosis de hidrogel (H)											
	H1: 0 kg.ha ⁻¹		H2: 15 kg.ha ⁻¹		H3: 30 kg.ha ⁻¹		H1: 0 kg.ha ⁻¹		H2: 15 kg.ha ⁻¹		H3: kg.ha ⁻¹	
	Riegos (R)											
R1:	R2:	R1:	R2:	R1:	R2:	R1:	R2:	R1:	R2:	R1:	R2:	
50 %	100 %	50 %	100 %	50 %	100 %	50 %	100 %	50 %	100 %	50 %	100 %	
T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12	
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

2.8. Identificación de las variables y su mensuración

Las variables independientes, así como las variables dependientes consideradas en la investigación están mostradas en la Tabla 6.

Tabla 6

Variables en estudio y su mensuración

Variab les	Unidad	Método
Variable independiente:		
a. Dosis de hidrogel: H		
H1: 0 kg.ha ⁻¹ de hidrogel	g	Balanza
H2: 15 kg.ha ⁻¹ de hidrogel	g	Balanza
H3: 30 kg.ha ⁻¹ de hidrogel	g	Balanza
b. Riegos: R		
R1: Riego al 50 % de la capacidad de campo	%	Método práctico
R2: Riego al 100 % de la capacidad de campo	%	Método práctico
c. Cultivo: C		
C1: Cultivo de la “espinaca”	kg.parcela ⁻¹	Balanza
C2: Cultivo del “nabo”	kg.parcela ⁻¹	Balanza
Variables dependientes (Y):		
Y1: Altura de plantas (cada 20 días)	cm	Regla graduada
Y2: Longitud de las raíces	Cm	Regla graduada
Y3: Rendimiento en verde y en seco de la “espinaca”	g.parcela ⁻¹	Gravimétrico
Y4: Rendimiento en verde y en seco del “nabo”	g.parcela ⁻¹	Gravimétrico

2.9. Diseño estadístico

Los datos obtenidos durante el experimento fueron analizados mediante el diseño estadístico de bloques completos al azar (DBCA) con arreglo factorial 3x2², con doce tratamientos y tres repeticiones (Tabla 4).

2.10. Análisis estadístico de datos

Para la comparación de las medias se utilizó la prueba de significación de Tukey ($p < 0,05$) procesados en un programa Minitab (Little y Hills, 2002). La Tabla 7 muestra el esquema del análisis de la varianza.

Tabla 7

Esquema del análisis de la varianza

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	Sign.
Repeticiones	2	-	-	-	-
Cultivo (C)	1	-	-	-	-
Hidrogel (H)	2	-	-	-	-
Riego (R)	1	-	-	-	-
(C)x (H)	2	-	-	-	-
(C) x (R)	1	-	-	-	-
(H) x (R)	2	-	-	-	-
(C) x (H) x (R)	2	-	-	-	-
Error Experimental	22	-	-	-	-
Total	35	-	-	-	-

Los resultados obtenidos en el proceso de ejecución del proyecto fueron analizados de acuerdo con la siguiente Tabla 8.

Tabla 8

Resultados de las evaluaciones de los factores en estudio

Repeticiones	Tratamientos											
	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Caracterización del sustrato

3.1.1. Resultados del análisis de caracterización del sustrato

Los resultados del análisis fisicoquímico del sustrato utilizado en la investigación (Tabla 9) señalan el pH es moderadamente básico, la conductividad eléctrica indica ligeros problemas de salinidad, sobre todo para los cultivos muy sensibles, los carbonatos están en niveles con ligeros riesgos de fijación del fósforo, con bajo contenido de materia orgánica, y con alto y medio contenido de fósforo y potasio disponibles respectivamente. De estos resultados merece especial atención la conductividad eléctrica que tiene un valor de $3,05 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, que, sin llegar a un nivel alto, afectarán el desarrollo de las especies tomadas en cuenta, aunque tanto la “espinaca” como el “nabo” son ligeramente tolerantes a la salinidad, asumiendo, además, que el hidrogel al tener la capacidad de retener mayor humedad en el suelo atenuará el estrés osmótico causado por las sales presentes en el suelo.

Tabla 9

Resultados del análisis del pH, CE, CO_3^{2-} , MO, P y K disponibles

(pH)	CE ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	CO_3^{2-} (%)	MO ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	P disp. ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	K disp. ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
8,16	3,05	5,70	16,1	31,6	152,0

La Tabla 10 señala que el sustrato empleado en la investigación tiene una gruesa (textura franca arenosa).

Tabla 10*Resultados del análisis textural*

Fracciones texturales (%)			
Arena	Limo	Arcilla	Clase textural
55	26	19	Franco arenosa

La Tabla 11 muestra que la capacidad de intercambio catiónico es moderadamente baja, con niveles de Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} y Na^{+} normales para suelos de costa y con un porcentaje de saturación de bases equivalente al 100 %, indicando la ausencia de acidéz intercambiable.

Tabla 11*Resultados de cationes cambiabiles y porcentaje de saturación de bases*

CIC	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	Na^{+}	$\text{Al}^{+3}+\text{H}^{+}$	%SB
9,60	3,57	2,62	2,31	1,10	0,00	100

3.2. Resultados de la evaluación de las variables biométricas

3.2.1. Altura de plantas

La Tabla 12 muestra los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) del efecto de los cultivos (C) sobre la altura de las plantas. El cultivo del “nabo” fue superior al cultivo de la “espinaca” logrando las mayores alturas a los 20, 40 y 60 días después de la siembra. Las diferencias fueron debidas al distinto orden taxonómico de las especies, pero a nivel de cada especie estudiada se encontró diferencias entre los tratamientos en estudio.

Tabla 12*Efecto de los cultivos sobre la altura de plantas*

OM	Altura de plantas (cm)								
	A los 20 días			A los 40 días			A los 60 días		
	Trat.	\bar{x}	Sig.	Trat.	\bar{x}	Sig.	Trat.	\bar{x}	Sig.
1	C2	9,983	A	C2	19,467	A	C2	27,717	A
2	C1	5,283	B	C1	16,767	B	C1	25,717	B
ALS (T) _{0,05} = 0,214			ALS (T) _{0,05} = 0,782			ALS (T) _{0,05} = 0,937			

C1: Cultivo de “espinaca”

C2: Cultivo de “nabo”

Según la Tabla 13, para la variable altura de planta en promedio de los dos cultivos, la prueba de Tuckey ($p \leq 0,05$), indica que existen diferencias significativas entre todos los tratamientos siendo mayor cuando se aplica 30 kg/ha de hidrogel, siendo éste superior a los niveles de 15 y 0 kg.ha⁻¹ de hidrogel.

Tabla 13

Prueba de Tukey del efecto del hidrogel sobre la altura de las plantas

OM	Altura de plantas (cm)								
	A los 20 días			A los 40 días			A los 60 días		
	Trat.	\bar{x}	Sig.	Trat.	\bar{x}	Sig.	Trat.	\bar{x}	Sig.
1	H3	7,900	A	H3	21,875	A	H3	31,000	A
2	H2	7,650	AB	H2	19,200	B	H2	27,125	B
3	H1	7,350	B	H1	13,275	C	H1	22,025	C
ALS (T) _{0,05} = 0,318			ALS (T) _{0,05} = 1,160			ALS (T) _{0,05} = 1,390			

H1: 0 kg.ha⁻¹

H2: 15 kg.ha⁻¹

H3: 30 kg.ha⁻¹

En la Tabla 14 se presentan los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) del efecto de los riegos (R) sobre la altura de plantas evaluadas a los 20, 40 y 60 días después de la siembra, encontrándose que las plantas lograron mayor altura cuando el riego fue aplicado al 100 % de la capacidad de campo, siendo superior estadísticamente al riego al 50 % de la capacidad de campo.

Tabla 14

Prueba de Tukey del efecto del riego sobre la altura de plantas

OM	Altura de plantas (cm)								
	A los 20 días			A los 40 días			A los 60 días		
	Trat.	\bar{x}	Sig.	Trat.	\bar{x}	Sig.	Trat.	\bar{x}	Sig.
1	R2	7,700	A	R2	19,267	A	R2	27,850	A
2	R1	7,567	A	R1	16,967	B	R1	25,583	B
ALS (T) _{0,05} = 0,214			ALS (T) _{0,05} = 0,782			ALS (T) _{0,05} = 0,937			

R1: Riego al 50 %.

R2: Riego al 100 % (humedad a la capacidad de campo).

En la Tabla 15 se presentan los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) de las interacciones de los cultivos (C) con los niveles de hidrogel (H) sobre la altura de las plantas a los 20, 40 y 60 días. Los resultados muestran que la combinación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel con el cultivo de “nabo”, produjeron las mayores alturas medidas a los 20, 40 y 60 días después de la siembra, no encontrándose diferencias estadísticas entre las combinaciones C2H3, C2H2 y C1H3 a los 20 y 40 días. Del mismo modo, a los 60 días fueron iguales estadísticamente los tratamientos C2H3 y C1H3, ocupando el último lugar la interacción C1H1.

Tabla 15

Prueba de Tukey de Interacción cultivo vs hidrogel sobre la altura de plantas

OM	Altura de plantas (cm)								
	A los 20 días			A los 40 días			A los 60 días		
	Trat.	\bar{x}	Sig.	Trat.	\bar{x}	Sig.	Trat.	\bar{x}	Sig.
1	C2 x H3	10,250	A	C2 x H3	22,650	A	C2 x H3	31,400	A
2	C2 x H2	9,950	A	C2 x H2	21,600	A	C1 x H3	30,600	A
3	C1 x H3	9,750	A	C1 x H3	21,100	A	C2 x H2	28,100	B
4	C1 x H2	5,550	B	C1 x H2	16,800	B	C1 x H2	26,150	B
5	C2 x H1	5,350	BC	C2 x H1	14,150	C	C2 x H1	23,650	C
6	C1 x H1	4,950	C	C1 x H1	12,400	C	C1 x H1	20,400	D
ALS (T) _{0,05} = 0,558			ALS (T) _{0,05} = 2,034			ALS (T) _{0,05} = 2,438			

La Tabla 16 muestra los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) de la interacción cultivos (C) vs riegos (R) sobre la altura de las plantas consideradas a los 20, 40 y 60 días. Al respecto, la interacción de la aplicación del riego al 100% de la capacidad de campo con el cultivo del “nabo” fue estadísticamente superior al resto de tratamientos, a excepción de los resultados a los 20 días, indicando que para un cultivo en particular sea nabo o espinaca la altura de planta se incrementa al elevar el contenido de humedad del sustrato a capacidad de campo y al carácter genotípico de cada especie estudiada.

Tabla 16*Prueba de Tukey de la interacción cultivo vs riegos sobre la altura de plantas*

OM	Altura de plantas (cm)								
	A los 20 días			A los 40 días			A los 60 días		
	Trat.	\bar{x}	Sig.	Trat.	\bar{x}	Sig.	Trat.	\bar{x}	Sig.
1	C2 x R2	10,067	A	C2 x R2	20,700	A	C2 x R2	28,533	A
2	C2 x R1	9,900	A	C2 x R1	18,233	B	C1 x R2	27,167	B
3	C1 x R2	5,333	B	C1 x R2	17,833	B	C2 x R1	26,900	B
4	C1 x R1	5,233	B	C1 x R1	15,700	C	C1 x R1	24,267	C
ALS (T) _{0,05} = 0,406			ALS (T) _{0,05} = 1,480			ALS (T) _{0,05} = 1,774			

En la tabla 17 se presentan los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) del efecto de la interacción de los niveles de hidrogel (H) y los riegos (R) sobre la variable altura de planta a los 20, 40 y 60 días, notándose que la combinación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel con el riego al 100 % de la capacidad de campo, aumento la altura de planta tanto cuando el régimen de riego es al 50% de capacidad de campo por lo que el hidrogel aplicado a razón de 30 kg.ha⁻¹ permite mantener la altura de las plantas evitando que estas entren a un stress hídrico que reduzca su crecimiento.

Tabla 17*Prueba de Tukey del efecto del hidrogel vs riego sobre la altura de plantas*

OM	ALTURA DE PLANTAS (cm)								
	A los 20 días			A los 40 días			A los 60 días		
	Trat.	\bar{x}	Sig.	Trat.	\bar{x}	Sig.	Trat.	\bar{x}	Sig.
1	H3 x R2	8,000	A	H3 x R2	22,700	A	H3 x R2	31,40	A
2	H3 x R1	7,800	A	H3 x R1	21,050	AB	H3 x R1	30,05	AB
3	H2 x R2	7,750	A	H2 x R2	20,450	B	H2 x R2	28,45	B
4	H2 x R1	7,550	A	H2 x R1	17,950	C	H2 x R1	25,80	C
5	H1 x R1	7,350	A	H1 x R2	14,650	D	H1 x R1	23,15	D
6	H1 x R2	7,350	A	H1 x R1	11,900	E	H1 x R2	20,90	D
ALS (T) _{0,05} = 2,868			ALS (T) _{0,05} = 2,034			ALS (T) _{0,05} = 2,438			

g. Efecto de la interacción cultivo, hidrogel y riego

En la Tabla 18 se muestra los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) del efecto de la interacción cultivos (C), niveles de hidrogel (H) y niveles de riego (R) sobre la altura de

plantas a los 20, 40 y 60 días, en donde se muestra C2H3R2 a los 60 días es igual estadísticamente a las combinaciones C1H3R2, C2H3R1, C2H2R2, C1H3R1, lo que podría señalar claramente un efecto de que al incrementar la cantidad de hidrogel, la altura de la planta se mantiene a pesar que se disminuya el régimen de riego.

Tabla 18

Prueba de Tukey para la interacción cultivo x hidrogel x riegos sobre la altura de plantas

OM	ALTURA DE PLANTAS (cm)										
	A los 20 días			A los 40 días			A los 60 días				
	Trat.	\bar{x}	Sig.	Trat.	\bar{x}	Sig.	Trat.	\bar{x}	Sig.		
1	C2 x H3 x R2	10,400	A	C2 x H3 x R2	23,800	A	C2 x H3 x R2	32,300	A		
2	C2 x H2 x R2	10,100	A	C2 x H2 x R2	22,600	A	C1 x H3 x R2	31,600	A		
3	C2 x H3 x R1	10,100	A	C1 x H3 x R2	21,600	AB	C2 x H3 x R1	30,500	AB		
4	C2 x H2 x R1	9,800	A	C2 x H3 x R1	21,500	AB	C2 x H2 x R2	29,600	AB		
5	C2 x H1 x R1	9,800	A	C2 x H2 x R1	20,600	AB	C1 x H3 x R1	29,600	AB		
6	C2 x H3 x R2	9,700	A	C1 x H3 x R1	20,600	AB	C1 x H2 x R2	27,300	BC		
7	C1 x H3 x R2	5,600	B	C1 x H2 x R2	18,300	BC	C2 x H2 x R1	26,600	BC		
8	C1 x H3 x R1	5,500	B	C2 x H1 x R2	15,700	CD	C1 x H2 x R1	25,000	CD		
9	C1 x H2 x R2	5,400	B	C1 x H2 x R1	15,300	CD	C2 x H1 x R2	23,700	CD		
10	C1 x H2 x R1	5,300	B	C1 x H1 x R2	13,600	DE	C2 x H1 x R1	23,600	CD		
11	C1 x H1 x R2	5,000	B	C2 x H1 x R1	12,600	DE	C1 x H1 x R2	22,600	D		
12	C1 x H1 x R1	4,900	B	C1 x H1 x R1	11,200	E	C1 x H1 x R1	18,200	E		
			ALS (T) _{0,05} = 0,214				ALS (T) _{0,05} = 3,358				ALS (T) _{0,05} = 4,026

Figura 3

Prueba de Tukey para las interacciones cultivo x hidrogel x riegos sobre la altura de plantas a los 20 días

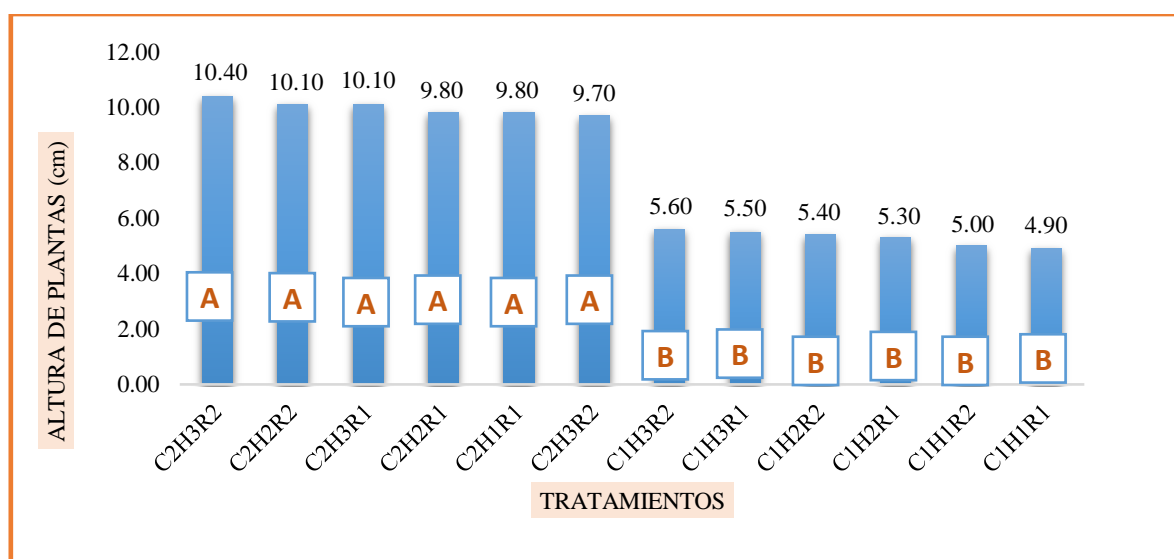


Figura 4

Prueba de Tukey para las interacciones cultivo x hidrogel x riegos sobre la altura de plantas a los 40 días

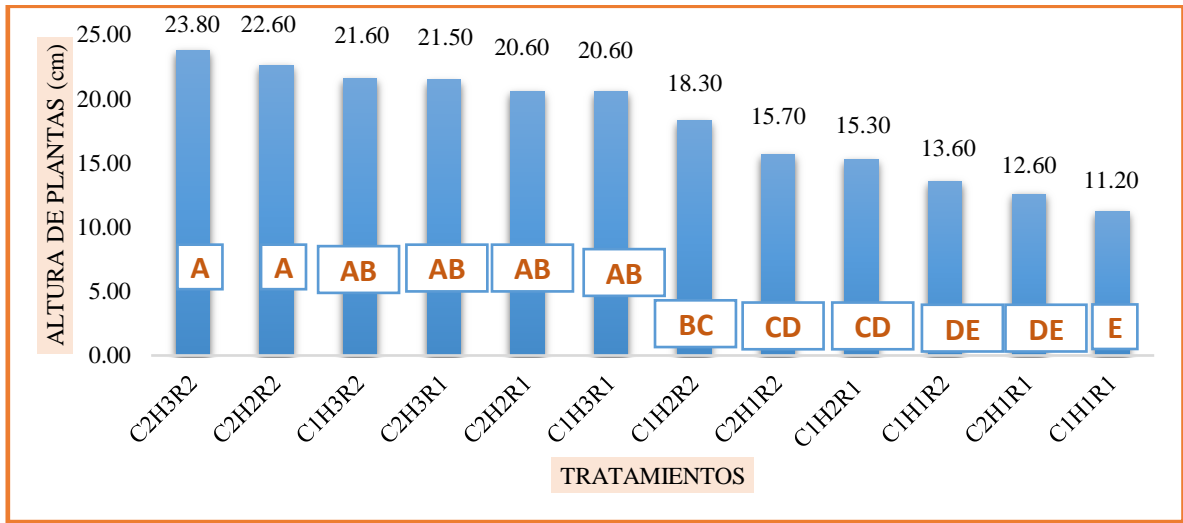
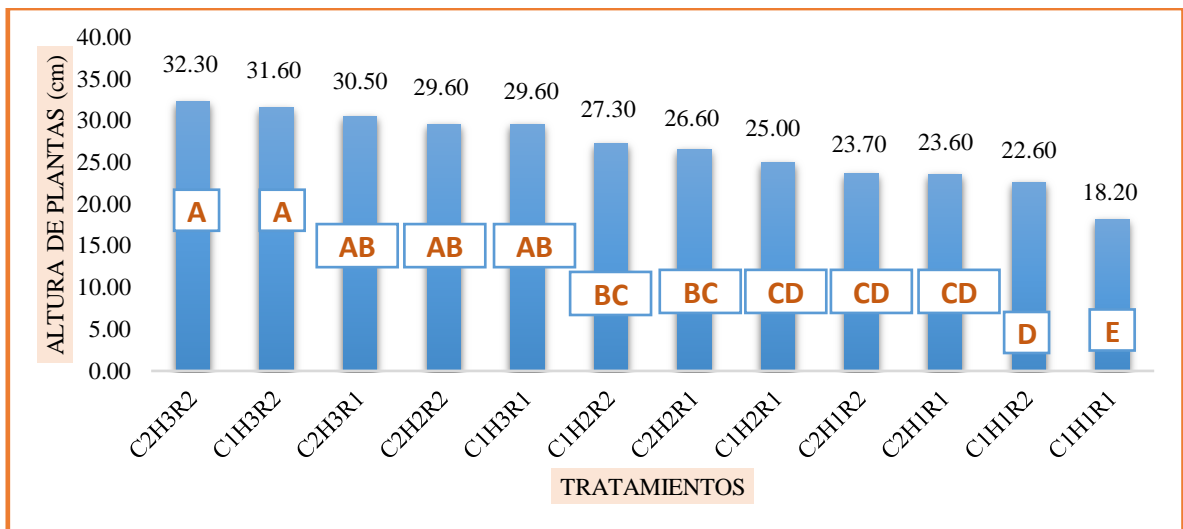


Figura 5

Prueba de Tukey para las interacciones cultivo x hidrogel x riegos sobre la altura de plantas a los 60 días



3.2.2. Longitud de las raíces

Los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) del efecto de los cultivos (C) sobre la longitud de las raíces se presentan en la Tabla 19, apreciándose que el cultivo del “nabo” logró la mayor longitud de raíces, siendo superior estadísticamente al cultivo de la “espinaca”. Sin embargo, es necesario aclarar que en este caso el factor especie fue predominante.

Tabla 19*Prueba de Tukey del efecto de los cultivos sobre la longitud de las raíces*

Longitud de las raíces (cm)			
OM	Tratamiento	\bar{x}	Significación
1	C2	17,067	A
2	C1	11,633	B
ALS (T) _{0,05} = 0,477			

En la Tabla 20 se observan los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) del efecto de los niveles de hidrogel (H) sobre la longitud de las raíces evaluada al término del experimento, en donde se demuestra que la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel fue estadísticamente superior al resto de tratamientos en relación con el mayor desarrollo radicular.

Tabla 20*Prueba de Tukey del efecto del hidrogel sobre la longitud de las raíces*

Longitud de las raíces (cm)			
OM	Tratamiento	\bar{x}	Significación
1	H3	17,225	A
2	H2	14,525	B
3	H1	11,300	C
ALS (T) _{0,05} = 0,707			

En la Tabla 21 se muestran los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) del efecto de los riegos sobre la longitud de las raíces, apreciándose que el riego al 100 % de la CC demostró ser estadísticamente superior al riego con el 50 % de humedad a la CC.

Tabla 21*Prueba de Tukey del efecto del factor riego sobre la longitud de las raíces*

Longitud de las raíces (cm)			
OM	Tratamiento	\bar{x}	Significación
1	R2	15,350	A
2	R1	13,350	B
ALS (T) _{0,05} = 0,937			

La Tabla 22 muestra los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) del efecto de la interacción de los cultivos (C) con los niveles de hidrogel (H) sobre la longitud de las raíces, encontrándose que la interacción entre el cultivo del “nabo” con la aplicación tanto de 30 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ así como 15 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de hidrogel son similares estadísticamente, pero superiores al resto de combinaciones.

Tabla 22

Prueba de Tukey del efecto de la interacción cultivo x hidrogel sobre la longitud de las raíces

Longitud de las raíces (cm)			
OM	Tratamiento	\bar{x}	Significación
1	C2 x H3	19,050	A
2	C2 x H2	18,400	A
3	C1 x H3	15,400	B
4	C2 x H1	13,750	C
5	C1 x H2	10,650	D
6	C1 x H1	8,850	E
ALS (T) _{0,05} = 1,241			

En la Tabla 23 se muestran los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) del efecto de la interacción de los cultivos (C) con el tipo de riego (R) sobre la longitud de las raíces evaluada al término del experimento, encontrándose que la interacción cultivo del “nabo” con la aplicación del riego al 100 % de la capacidad de campo fue estadísticamente superior al resto de tratamientos con relación a estas dos variables.

Tabla 23

Prueba de Tukey para la interacción cultivo x riego sobre la longitud de las raíces

Longitud de las raíces (cm)			
OM	Tratamiento	\bar{x}	Significación
1	C2 x R2	18,267	A
2	C2 x R1	15,867	B
3	C1 x R2	12,433	C
4	C1 x R1	10,833	D
ALS (T) _{0,05} = 0,903			

La Tabla 24 muestra los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) para la interacción niveles de hidrogel (H) y niveles de riegos (R) sobre la longitud de las raíces, encontrándose que la interacción de la aplicación de 30 kg.ha^{-1} de hidrogel con el riego al 100 % de la capacidad de campo fue estadísticamente superior al resto de combinaciones.

Tabla 24

Prueba de Tukey para la interacción hidrogel x riego sobre la longitud de las raíces

OM	Longitud de las raíces (cm)		
	Tratamiento	\bar{x}	Significación
1	H3 x R2	18,250	A
2	H3 x R1	16,200	B
3	H2 x R2	15,950	B
4	H2 x R1	13,100	C
5	H1 x R2	11,850	D
6	H1 x R1	10,750	D

ALS (T)_{0,05} = 1,241

En la Tabla 25 se observan los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) con relación a la interacción de los factores cultivo (C), niveles de hidrogel (H) y niveles de riego a capacidad de campo (R) sobre la longitud de las raíces, notándose con claridad que las interacciones entre el cultivo del “nabo” con la aplicación de 30 o 15 kg.ha^{-1} de hidrogel y con el riego al 100 % de la capacidad de campo, no fueron estadísticamente diferentes pero si superiores al resto de combinaciones.

Tabla 25

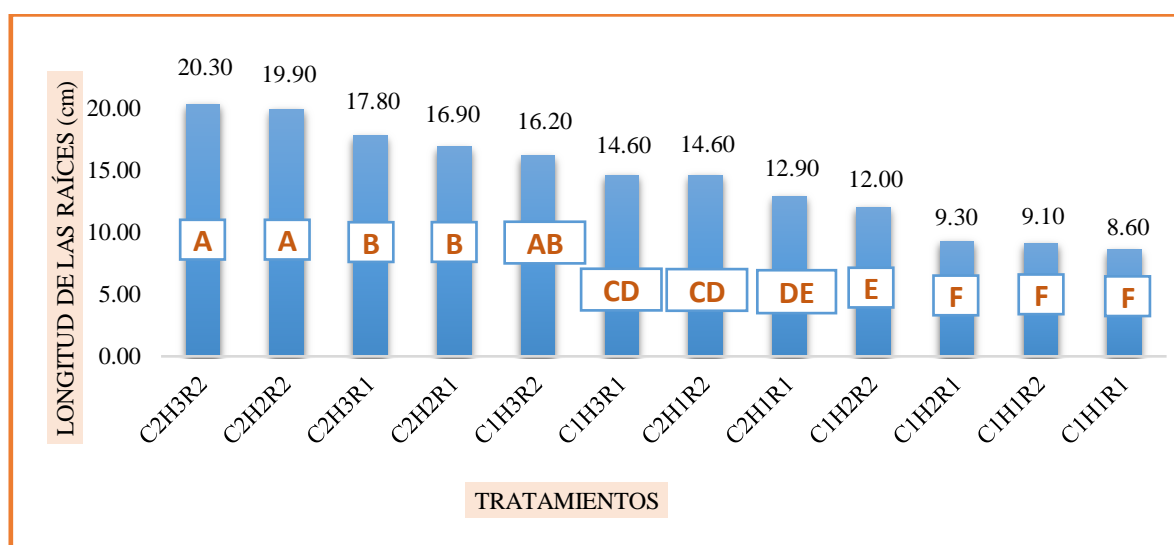
Prueba de Tukey para la interacción cultivo x hidrogel x riegos sobre la longitud de las raíces

Longitud de las raíces (cm)			
OM	Tratamiento	\bar{x}	Significación
1	C2 x H3 x R2	20,300	A
2	C2 x H2 x R2	19,900	A
3	C2 x H3 x R1	17,800	B
4	C2 x H2 x R1	16,900	B
5	C1 x H3 x R2	16,200	BC
6	C1 x H3 x R1	14,600	CD
7	C2 x H1 x R2	14,600	CD
8	C2 x H1 x R1	12,900	DE
9	C1 x H2 x R2	12,000	E
10	C1 x H2 x R1	9,300	F
11	C1 x H1 x R2	9,100	F
12	C1 x H1 x R1	8,600	F

ALS (T)_{0,05} = 2,049

Figura 6

Prueba de Tukey para las interacciones cultivo x hidrogel x riegos sobre la longitud de las raíces



3.3. Resultados del rendimiento de los cultivos en verde y en materia seca

3.3.1. Peso fresco y seco de hojas

La Tabla 26 muestra los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) del efecto de los cultivos (C) de “espinaca” y de “nabo” sobre el rendimiento en fresco y en materia seca de las hojas, encontrándose que el cultivo de “nabo” alcanzó un mayor peso tanto en fresco, así como en materia secas en las hojas.

Tabla 26

Prueba de Tukey para el factor cultivos sobre el peso fresco y seco de las hojas

OM	Peso de las hojas (g)					
	Peso fresco hojas			Peso materia seca hojas		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	C2	72,400	A	C2	14,467	A
2	C1	63,483	B	C1	12,700	B
ALS (T) _{0,05} = 0,688			ALS (T) _{0,05} = 0,653			

En la Tabla 27 se observan los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) para el factor niveles de hidrogel (H) sobre el rendimiento en peso en húmedo y en materia seca de las hojas, encontrándose que el hidrogel al ser aplicado en 30 kg.ha⁻¹ fue estadísticamente superior a los otros niveles de este compuesto.

Tabla 27

Prueba de Tukey para el factor hidrogel sobre el peso fresco y seco de las hojas

OM	Peso de las hojas (g)					
	Peso fresco hojas			Peso materia seca hojas		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	H3 = 30 kg	88,700	A	H3	17,725	A
2	H2 = 15 kg	75,100	B	H2	15,025	B
3	H1 = 0 kg	40,025	C	H1	8,000	C
ALS (T) _{0,05} = 1,020			ALS (T) _{0,05} = 0,969			

La Tabla 28 muestra los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) para el factor riego (R) sobre el rendimiento en verde y en materia seca de las hojas, demostrándose que el riego aplicado al 100 % de la capacidad de campo fue estadísticamente superior al compararse con el riego con 50 % a la capacidad de campo.

Tabla 28

Prueba de Tukey para el factor riego sobre el peso fresco y seco de las hojas

OM	Peso de las hojas (g)					
	Peso fresco hojas			Peso materia seca hojas		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	R2	72,150	A	R2	14,417	A
2	R1	63,733	B	R1	12,750	B
ALS (T) _{0,05} = 0,688			ALS (T) _{0,05} = 0,653			

En la Tabla 29 se observa los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) sobre la interacción cultivos (C) y los niveles de hidrogel (H) sobre el peso fresco de hojas y en materia seca de las hojas, notándose que el cultivo del “nabo” interaccionado con la aplicación de 30 kg,ha⁻¹ de hidrogel es estadísticamente superior con respecto a las demás combinaciones, mientras que para el peso seco de hojas se encontró que en ambos cultivos (C1 y C2) cuando se aplica 30 kg de hidrogel (H3), se logra el mayor peso seco, siendo ambos, estadísticamente superiores a las demás combinaciones.

Tabla 29

Prueba de Tukey para la interacción cultivo x hidrogel sobre el peso fresco y seco de las hojas

OM	Peso de las hojas (g)					
	Peso fresco hojas			Peso materia seca hojas		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	C2 x H3	90,300	A	C2 x H3	18,050	A
2	C1 x H3	87,100	B	C1 x H3	17,400	A
3	C1 x H2	77,950	C	C2 x H2	15,600	B
4	C1 x H2	72,250	D	C1 x H2	14,450	B
5	C2 x H1	48,950	E	C2 x H1	9,750	C
6	C1 x H1	31,100	F	C1 x H1	6,250	D
ALS (T) _{0,05} = 1,789			ALS (T) _{0,05} = 1,699			

En la Tabla 30 se muestran los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) de la interacción de los cultivos (C) con los niveles de riegos (R) sobre el rendimiento en fresco y en materia seca de las hojas, hallándose que la combinación del cultivo del “nabo” con la aplicación del riego al 100 % de la capacidad de campo fue estadísticamente superior al resto de combinaciones.

Tabla 30

Prueba de Tukey para la interacción cultivos x riegos sobre el peso fresco y seco de las hojas

OM	Peso de las hojas (g)					
	Peso fresco hojas			Peso materia seca hojas		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	C2 x R2	77,333	A	C2 x R2	15,433	A
2	C2 x R1	67,467	B	C2 x R1	13,500	B
3	C1 x R2	66,967	B	C1 x R2	13,400	B
4	C1 x R1	60,000	C	C1 x R1	12,000	C
ALS (T) _{0,05} = 1,302			ALS (T) _{0,05} = 1,237			

En la Tabla 31 se muestran los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) para la interacción niveles de hidrogel (H) y niveles de riego (R) sobre el rendimiento fresco y en materia seca de las hojas, encontrándose que la combinación del uso de $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de hidrogel con un riego al 100 % de la capacidad de campo fue estadísticamente superior al resto de combinaciones entre estos dos factores. Se establece claramente un efecto significativo en el peso fresco de hoja que al aumentar la aplicación de hidrogel el peso indica un aumento en la turgencia de la hoja, lo que, en un cultivo como la espinaca, en la cual la hoja es el producto comercial, significa un hallazgo favorable.

Tabla 31

Prueba de Tukey para la interacción hidrogel x riegos sobre el peso fresco y seco de las hojas

OM	Peso de las hojas (g)					
	Peso fresco hojas			Peso materia seca hojas		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	H3 x R2	90,400	A	H3 x R2	18,050	A
2	H3 x R1	87,000	B	H3 x R1	17,400	B
3	H2 x R2	81,550	C	H2 x R2	16,300	B
4	H2 x R1	68,650	D	H2 x R1	13,750	C
5	H1 x R2	44,500	E	H1 x R2	8,900	D
6	H1 x R1	35,550	F	H1 x R1	7,100	E
ALS (T) _{0,05} = 1,789			ALS (T) _{0,05} = 1,699			

En la Tabla 32 se observan los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) para la interacción cultivos (C), niveles de hidrogel (H) y niveles de riegos (R) sobre el rendimiento en fresco y en materia seca de las hojas, encontrándose que la interacción del cultivo del “nabo” así como del cultivo de la “espinaca” con la aplicación de 30 y $15 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de hidrogel y con un riego también al 100 y al 50 % de la capacidad de campo, fueron estadísticamente iguales pero muy superiores al resto de las interacciones.

No se encontraron diferencias significativas en peso seco de las hojas entre ambos cultivos con la combinación de 30 y 15 kg de hidrogel y con riegos al 100 y 50 % de la capacidad de campo, pero destacó tanto en el peso fresco, así como en el peso de la materia seca de las

hojas la combinación C2H3R2, demostrándose de esta manera que el hidrogel aplicado en sus dos niveles mantuvo suficiente humedad para el peso seco de las hojas.

Tabla 32

Prueba de Tukey para la interacción cultivo x hidrogel x riego sobre el peso fresco y seco de las hojas

Peso de las hojas (g)						
OM	Peso fresco hojas			Peso materia seca hojas		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	C2 x H3 x R2	91,700	A	C2 x H3 x R2	18,300	A
2	C1 x H3 x R2	89,100	A	C1 x H3 x R2	17,800	A
3	C2 x H3 x R1	88,900	A	C2 x H3 x R1	17,800	A
4	C1 x H3 x R1	85,100	B	C1 x H3 x R1	17,000	AB
5	C2 x H2 x R2	84,600	B	C2 x H2 x R2	16,900	AB
6	C1 x H2 x R2	78,500	C	C1 x H2 x R2	15,700	ABC
7	C2 x H2 x R1	71,300	D	C2 x H2 x R1	14,300	BC
8	C1 x H2 x R1	66,000	E	C1 x H2 x R1	13,200	CD
9	C2 x H1 x R2	55,700	F	C2 x H1 x R2	11,100	DE
10	C2 x H1 x R1	42,200	G	C2 x H1 x R1	8,400	EF
11	C1 x H1 x R2	33,300	H	C1 x H1 x R2	6,700	F
12	C1 x H1 x R1	28,900	I	C1 x H1 x R1	5,800	F
ALS (T) _{0,05} = 2,955			ALS (T) _{0,05} = 2,806			

Figura 7

Prueba de Tukey para las interacciones cultivo x hidrogel x riegos sobre el peso fresco de las hojas

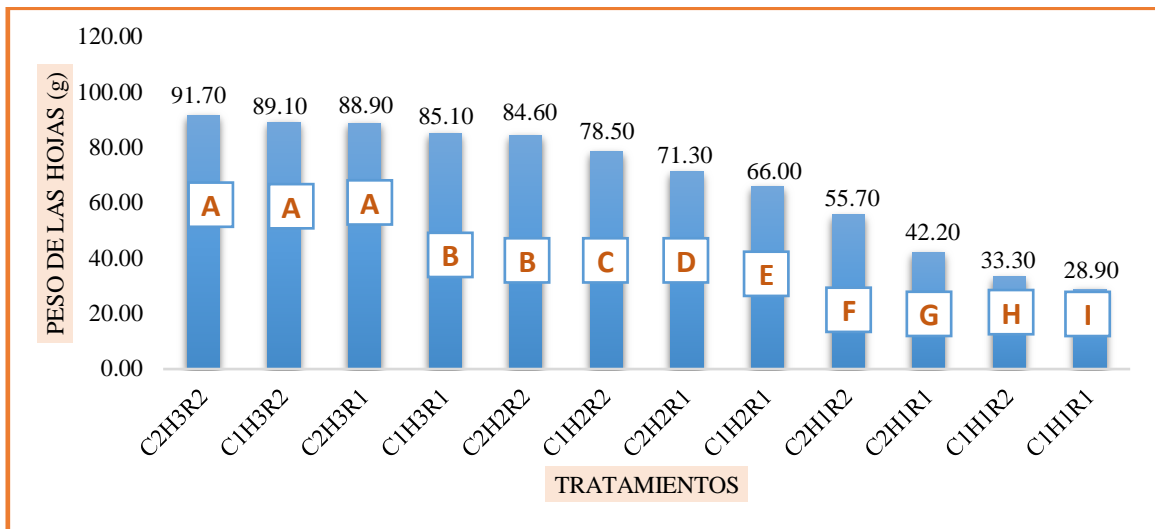
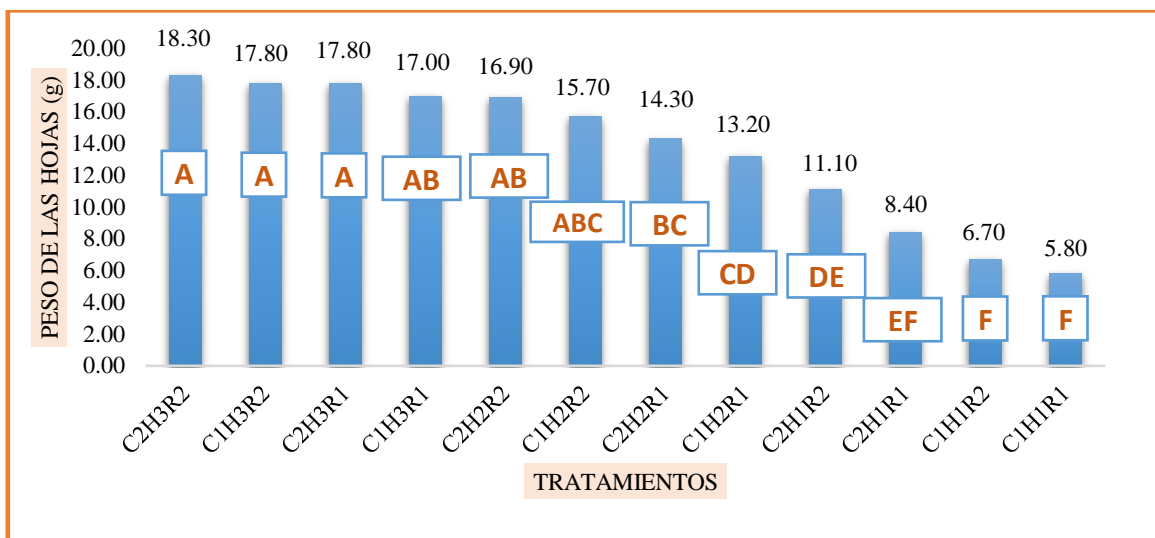


Figura 8

Prueba de Tukey para las interacciones cultivo x hidrogel x riegos sobre el peso seco de las hojas



3.3.2. Peso de los tallos

La Tabla 33 muestra los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) del efecto de los cultivos (C) sobre el peso fresco y en peso seco de tallos. Al respecto se encontró, como en todos los casos, que el cultivo del “nabo” superó estadísticamente al cultivo de la “espinaca” en el peso fresco y seco de tallos.

Tabla 33

Prueba de Tukey para el factor cultivo sobre el peso fresco y seco de los tallos

OM	Peso de los tallos (g)					
	Peso fresco tallos			Peso materia seca tallos		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	C2	48,283	A	C2	6,283	A
2	C1	44,500	B	C1	5,767	B
ALS (T) _{0,05} = 0,999			ALS (T) _{0,05} = 0,341			

En la Tabla 34 se observan los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) del efecto de los niveles de hidrogel (H) sobre el rendimiento en verde y en materia seca de los tallos, encontrándose que la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ fue estadísticamente superior a los otros dos niveles de hidrogel.

Tabla 34

Prueba de Tukey para el factor hidrogel sobre el peso fresco y seco de los tallos

OM	Peso de los tallos (g)					
	Peso fresco tallos			Peso materia seca tallos		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	H3	62,175	A	H3 = 30 kg	8,100	A
2	H2	50,300	B	H2 = 15 kg	6,500	B
3	H1	26,700	C	H1 = 0 kg	3,475	C
ALS (T) _{0,05} = 0,999			ALS (T) _{0,05} = 0,506			

La Tabla 35 muestra sobre los resultados de prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) del efecto del factor riego (R) sobre el rendimiento en verde y en materia seca de los tallos. En este caso, el riego

con el 100 % a nivel de capacidad de campo fue superior estadísticamente al riego con agua al 50 % de la capacidad de campo.

Tabla 35

Prueba de Tukey para el factor riego sobre el peso fresco y seco de los tallos

OM	Peso de los tallos (g)					
	Peso fresco tallos			Peso materia seca tallos		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	R2	50,267	A	R2	6,517	A
2	R1	42,517	B	R1	5,533	B
ALS (T) _{0,05} = 0,999			ALS (T) _{0,05} = 0,341			

En la Tabla 36 se observan los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) de la interacción del factor cultivos (C) y de los niveles de hidrogel (H) sobre el rendimiento en verde y en materia seca de los tallos. Las interacciones entre estos dos factores mostraron que el cultivo de la “espinaca” combinado con la aplicación del 30 kg.ha⁻¹ fue estadísticamente superior al resto de combinaciones para la variable peso fresco de tallos pero no se diferenció estadísticamente en la variable peso seco de tallos del cultivo de nabo al cual se le aplicó 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel. Sin embargo, resalta el hecho que los máximos pesos seco y fresco se obtienen en ambos cultivos cuando se usa la máxima dosis de hidrogel.

Tabla 36

Prueba de Tukey para la interacción cultivo x hidrogel sobre el peso fresco y seco de los tallos

OM	Peso de los tallos (g)					
	Peso fresco tallos			Peso materia seca tallos		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	C1 x H3	64,100	A	C1 x H3	8,350	A
2	C2 x H3	60,250	B	C2 x H3	7,850	A
3	C2 x H2	51,250	C	C2 x H2	6,750	B
4	C1 x H2	48,650	D	C1 x H2	6,250	B
5	C2 x H1	32,650	E	C2 x H1	4,250	C
6	C1 x H1	20,750	F	C1 x H1	2,700	D
ALS (T) _{0,05} = 2,600			ALS (T) _{0,05} = 0,888			

La Tabla 37 muestra los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) con respecto a la interacción cultivos (C) con los niveles de riegos (R) sobre el rendimiento tanto en verde, así como en materia seca de los tallos. Las combinaciones de estos dos factores se encontraron que el cultivo del “nabo” con la aplicación de riegos al 100 % de capacidad de campo es estadísticamente superior al resto de combinaciones, mientras que en los resultados de materia seca las combinaciones de “espinaca” y de “nabo” con el 100 % de agua a la capacidad de campo, muestra los mejores rendimientos, siendo ambas estadísticamente iguales pero superiores al resto de combinaciones.

Tabla 37

Prueba de Tukey para la interacción cultivos x riegos sobre el peso fresco y seco de los tallos

OM	Peso de los tallos (g)					
	Peso fresco tallos			Peso materia seca tallos		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	C2 x R2	51,567	A	C2 x R2	6,700	A
2	C1 x R2	48,967	B	C1 x R2	6,333	AB
3	C2 x R1	45,000	C	C2 x R1	5,867	B
4	C1 x R1	40,033	D	C1 x R1	5,200	C
ALS (T) _{0,05} = 1,892			ALS (T) _{0,05} = 0,646			

La Tabla 38 muestra los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) de la interacción niveles de hidrogel (H) y de riegos (R) sobre el rendimiento en verde y en materia seca de los tallos, encontrándose que la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel combinado con el riego al 100 % de la capacidad de campo es estadísticamente superior al resto de combinaciones.

Tabla 38*Prueba de Tukey para la interacción hidrogel x riego sobre el peso fresco y seco de los tallos*

OM	Peso de los tallos (g)					
	Peso fresco tallos			Peso materia seca tallos		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	H3 x R2	66,300	A	H3 x R2	8,650	A
2	H3 x R1	58,050	B	H3 x R1	7,550	B
3	H2 x R2	54,850	C	H2 x R2	7,050	B
4	H2 x R1	45,750	D	H2 x R1	5,950	C
5	H1 x R2	29,650	E	H1 x R2	3,850	D
6	H1 x R1	23,750	F	H1 x R1	3,100	D
ALS (T) _{0,05} = 2,600			ALS (T) _{0,05} = 0,888			

En la Tabla 39 se muestran los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) de la interacción de los cultivos (C), niveles de hidrogel (H) y niveles de riego (R) sobre el rendimiento en verde y en materia seca de los tallos. Se encuentran diferencias estadísticas significativas para la variable peso fresco de tallos de espinaca y nabo. El tratamiento C1 x H3 x R2 se diferencia de todos los demás mientras que para la variable materia seca de tallos se encontró diferencias significativas para los tratamientos C1 x H3 x R2 y C2 x H3 x R1 lo cual indica que la máxima dosis de hidrogel interactuando con un riego de mayor volumen son favorables para la producción de materia seca de tallos.

Tabla 39

Prueba de Tukey para la interacción cultivo x hidrogel x riegos sobre el peso fresco y seco de los tallos

Peso de los tallos (g)						
OM	Peso fresco tallos			Peso materia seca tallos		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	C1 x H3 x R2	71,400	A	C1 x H3 x R2	9,300	A
2	C2 x H3 x R2	61,200	B	C2 x H3 x R2	8,000	AB
3	C2 x H3 x R1	59,300	BC	C2 x H3 x R1	7,700	B
4	C1 x H3 x R1	56,800	CD	C1 x H3 x R1	7,400	BC
5	C2 x H2 x R2	56,400	CD	C2 x H2 x R2	7,300	BC
6	C1 x H2 x R2	53,300	D	C1 x H2 x R2	6,800	BCD
7	C2 x H2 x R1	47,500	E	C2 x H2 x R1	6,200	CDE
8	C1 x H2 x R1	44,000	E	C1 x H2 x R1	5,700	DE
9	C2 x H1 x R2	37,100	F	C2 x H1 x R2	4,800	EF
10	C2 x H1 x R1	28,200	G	C2 x H1 x R1	3,700	FG
11	C1 x H1 x R2	22,200	H	C1 x H1 x R2	2,900	G
12	C1 x H1 x R1	19,300	H	C1 x H1 x R1	2,500	G
ALS (T) _{0,05} = 4,294			ALS (T) _{0,05} = 1,467			

Figura 9

Prueba de Tukey para las interacciones cultivo x hidrogel x riegos sobre el peso fresco de los tallos

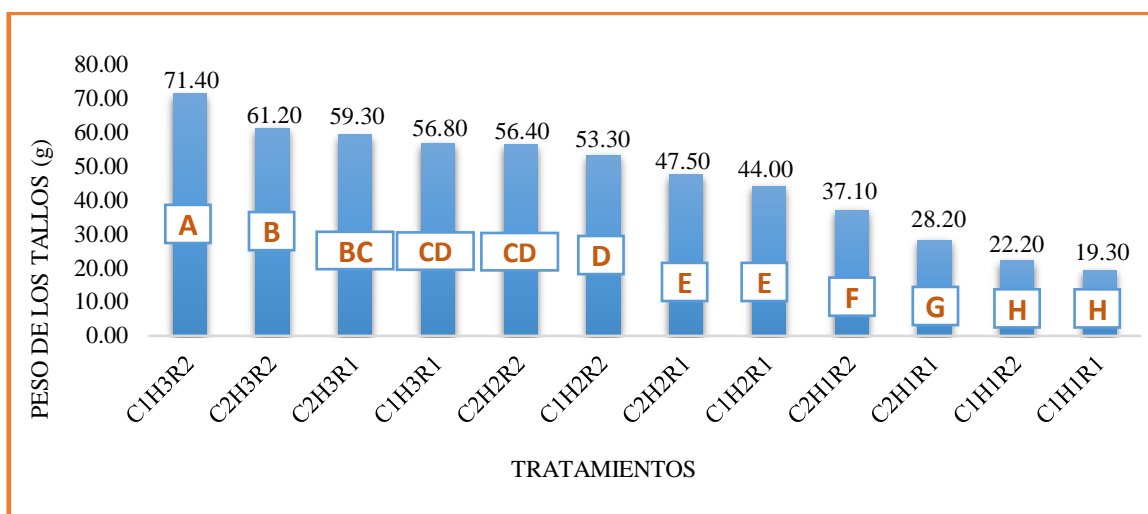
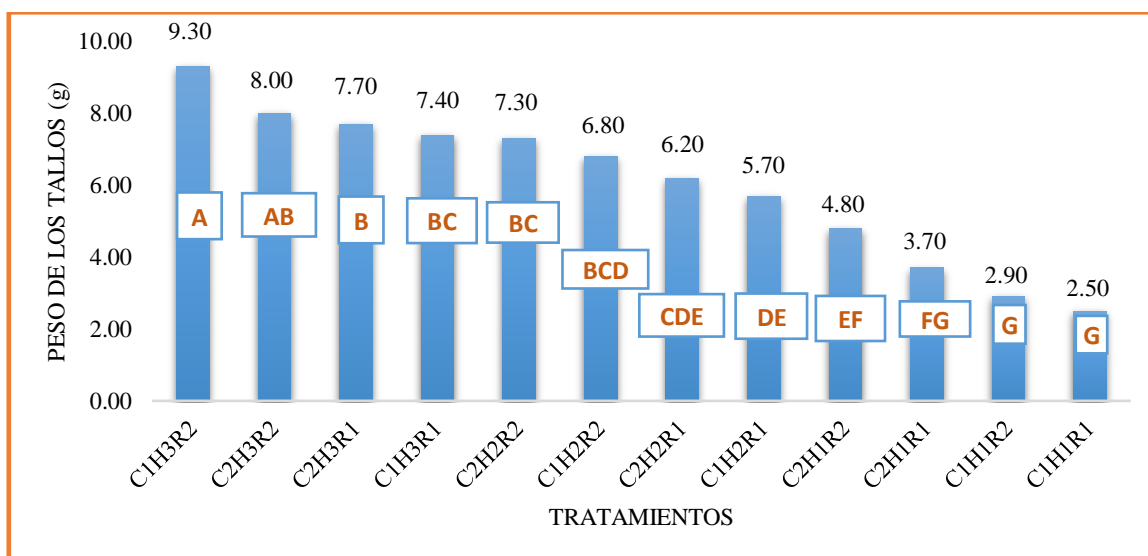


Figura 10

Prueba de Tukey para las interacciones cultivo x hidrogel x riegos sobre el peso seco de los tallos



3.3.3. Peso fresco y seco de las raíces

En la Tabla 40 se muestran los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) del efecto del factor cultivos (C) sobre el peso fresco y seco de las raíces, encontrándose que el cultivo del “nabo” es altamente superior al cultivo de la “espinaca” en cuanto al peso fresco y peso seco de raíces.

Tabla 40*Prueba de Tukey para el factor cultivo sobre el sobre el peso fresco y seco de las raíces*

OM	Peso de las raíces (g)					
	Peso fresco raíces			Peso materia seca raíces		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	C2	18,667	A	C2	3,733	A
2	C1	15,867	B	C1	2,917	B
ALS (T) _{0,05} = 0,521			ALS (T) _{0,05} = 0,265			

En la Tabla 41 se muestran los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) del efecto del factor hidrogel (H) sobre el peso fresco y seco de las raíces, encontrándose que la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel fue estadísticamente superior a la aplicación de los dos restantes niveles de hidrogel.

Tabla 41*Prueba de Tukey para el factor hidrogel sobre el peso fresco y seco de las raíces*

OM	Peso de las raíces (g)					
	Peso fresco raíces			Peso materia seca raíces		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	H3	22,175	A	H3	4,450	A
2	H2	18,775	B	H2	3,350	B
3	H1	10,850	C	H1	2,175	C
ALS (T) _{0,05} = 0,773			ALS (T) _{0,05} = 0,393			

La Tabla 42 muestra los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) del efecto de factor riego (R) sobre el rendimiento tanto en húmedo como en materia seca de las raíces. Al respecto se encontró que el riego al 100 % de la capacidad de campo resultó siendo superior estadísticamente al riego con el 50 % de agua a la capacidad de campo.

Tabla 42*Prueba de Tukey para el factor riego sobre el peso fresco y seco de las raíces*

OM	Peso de las raíces (g)					
	Peso fresco raíces			Peso materia seca raíces		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	R2	18,033	A	R2	3,617	A
2	R1	16,500	B	R1	3,033	B
ALS (T) _{0,05} = 0,521			ALS (T) _{0,05} = 0,265			

En la Tabla 43 se muestran los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) del efecto de la interacción cultivos (C) vs. niveles de hidrogel (H) sobre el rendimiento en húmedo y en materia seca de las raíces. Al respecto se ha encontrado que la interrelación entre el cultivo del “nabo” y del cultivo de “espinaca” con el nivel de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel son iguales estadísticamente con referencia al peso fresco de las raíces, pero superiores a las combinaciones de ambos cultivos con 15 kg de hidrogel. No se encontraron diferencias estadísticas entre las combinaciones C2H3, C1H3 y C2H2 con respecto al peso de la materia seca radicular, siendo superiores al resto de combinaciones.

Tabla 43*Prueba de Tukey para la interacción cultivos x hidrogel sobre el peso fresco y seco de las raíces*

OM	Peso de las raíces (g)					
	Peso fresco raíces			Peso materia seca raíces		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	C2 x H3	22,550	A	C2 x H3	4,500	A
2	C1 x H3	21,800	A	C1 x H3	4,400	A
3	C2 x H2	19,500	B	C2 x H2	3,900	A
4	C1 x H2	18,050	C	C2 x H1	2,800	B
5	C2 x H1	13,950	D	C1 x H2	2,800	B
6	C1 x H1	7,750	E	C1 x H1	1,550	C
ALS (T) _{0,05} = 1,355			ALS (T) _{0,05} = 0,689			

La Tabla 44 muestra los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) del efecto de la interacción de los cultivos (C) y los niveles de riego (R) sobre el rendimiento en húmedo y en materia seca de las raíces, encontrándose que la combinación del cultivo del “nabo” con el riego al 100 % de la capacidad de campo fue superior al resto de combinaciones en el caso del peso fresco de las raíces, pero en el caso del peso de la materia seca de las raíces las tres combinaciones entre el factor cultivo y el factor riego no fueron estadísticamente diferentes, indicando que las plantas de “nabo” y “espinaca” tuvieron la suficiente humedad para el desarrollo de sus raíces.

Tabla 44

Prueba de Tukey para la interacción cultivos x riego sobre el peso fresco y seco de raíces

OM	Peso de las raíces (g)					
	Peso fresco raíces			Peso materia seca raíces		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	C2 x R2	19,333	A	C2 x R2	3,867	A
2	C2 x R1	18,000	B	C2 x R1	3,600	A
3	C1 x R2	16,733	C	C1 x R2	3,367	A
4	C1 x R1	15,000	D	C1 x R1	2,467	B
ALS (T) _{0,05} = 0,986			ALS (T) _{0,05} = 0,501			

En la Tabla 45 se presentan los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) de la interacción de los factores niveles de hidrogel (H) y niveles de riego (R) sobre el rendimiento en húmedo y en materia seca de las raíces. Al respecto se encontró que en el peso fresco de las raíces la combinación H3R2 y H3R1 no son estadísticamente diferentes pero ambos son superiores al resto de combinaciones, mientras que en el peso de la materia seca radicular las combinaciones H3R2, H3R1 y H2R2, son estadísticamente iguales quedando demostrado que la aplicación de 30 como de 15 kg.ha⁻¹ de hidrogel combinado con los riegos al 100 y 50 % de la capacidad de campo han mantenido la suficiente humedad para que las plantas muestren estos resultados.

Tabla 45

Prueba de Tukey para la interacción hidrogel x riegos sobre el peso fresco y seco de las raíces

OM	Peso de las raíces (g)					
	Peso fresco raíces			Peso materia seca raíces		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	H3 x R2	22,600	A	H3 x R2	4,550	A
2	H3 x R1	21,750	AB	H3 x R1	4,350	A
3	H2 x R2	20,400	B	H2 x R2	4,050	A
4	H2 x R1	17,150	C	H2 x R1	2,650	B
5	H1 x R2	11,100	D	H1 x R2	2,250	B
6	H1 x R1	10,600	D	H1 x R1	2,100	B
ALS (T) _{0,05} = 1,355			ALS (T) _{0,05} = 0,689			

La Tabla 46 muestra los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) de la interacción de los tres factores en estudio: cultivos (C), niveles de hidrogel (H) y niveles de riego (R) sobre el peso fresco y materia seca de las raíces, destacando en ambos casos la combinación C2H3R2. Con relación al peso fresco, las combinaciones C2H3R2, C1H3R2, C2H3R1, C1H3R1 y C1H2R2 son estadísticamente iguales, pero con mejores resultados cuando el hidrogel está a niveles de 30 kg.ha⁻¹. Los resultados del peso de la materia seca radicular presentan que las combinaciones C2H3R2, C1H3R2, C2H3R1, C1H3R1, C2H2R2, C1H2R2 y C2H2R1 no difieren estadísticamente, indicando, en este caso, que el hidrogel utilizado tanto a 15 como a 30 kg.ha⁻¹, se combina positivamente con los dos niveles de riego a capacidad de campo para dar los mayores rendimientos en el peso de la materia seca radicular, superando claramente a las combinaciones que no recibieron hidrogel.

Tabla 46

Prueba de Tukey para la interacción cultivos x hidrogel x riegos sobre el peso fresco y seco de las raíces

OM	Peso de las raíces (g)					
	Peso fresco raíces			Peso materia seca raíces		
	Tratamiento	\bar{x}	Sig.	Tratamiento	\bar{x}	Sig.
1	C2 x H3 x R2	22,900	A	C2 x H3 x R2	4,600	A
2	C1 x H3 x R2	22,300	A	C1 x H3 x R2	4,500	A
3	C2 x H3 x R1	22,200	A	C2 x H3 x R1	4,400	A
4	C1 x H3 x R1	21,300	AB	C1 x H3 x R1	4,300	A
5	C2 x H2 x R2	21,200	AB	C2 x H2 x R2	4,200	A
6	C1 x H2 x R2	19,600	BC	C1 x H2 x R2	3,900	AB
7	C2 x H2 x R1	17,800	CD	C2 x H2 x R1	3,600	AB
8	C1 x H2 x R1	16,500	D	C2 x H2 x R1	2,800	BC
9	C2 x H1 x R1	14,000	E	C2 x H1 x R2	2,800	BC
10	C2 x H1 x R2	13,900	E	C2 x H1 x R1	1,700	CD
11	C1 x H1 x R2	8,300	F	C1 x H1 x R2	1,700	CD
12	C1 x H1 x R1	7,200	F	C1 x H1 x R1	1,400	D

ALS (T)_{0,05} = 2,238 ALS (T)_{0,05} = 1,138

Figura 11

Prueba de Tukey para las interacciones cultivo x hidrogel x riegos sobre el peso fresco de las raíces

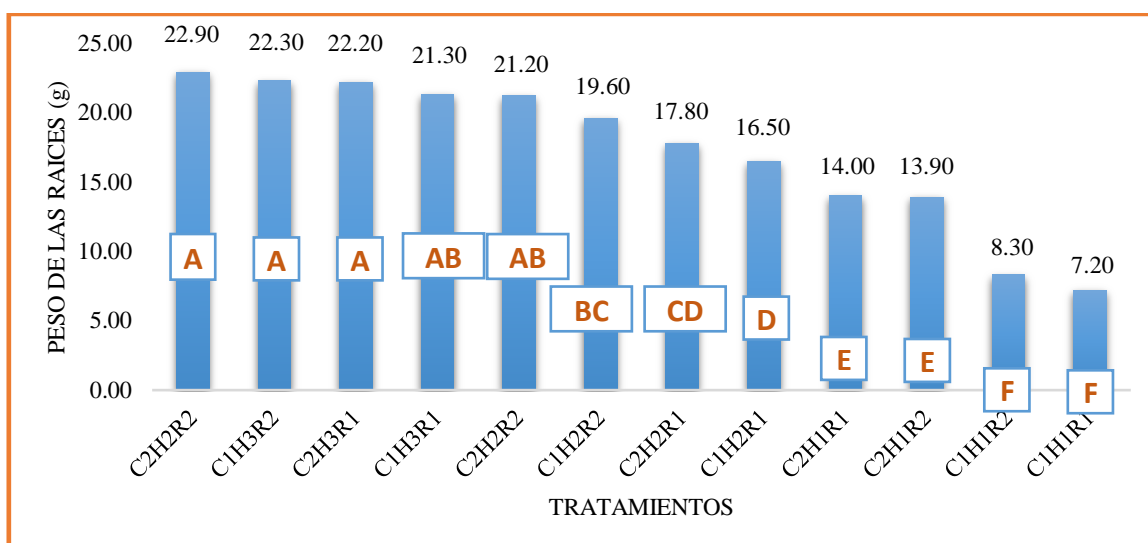
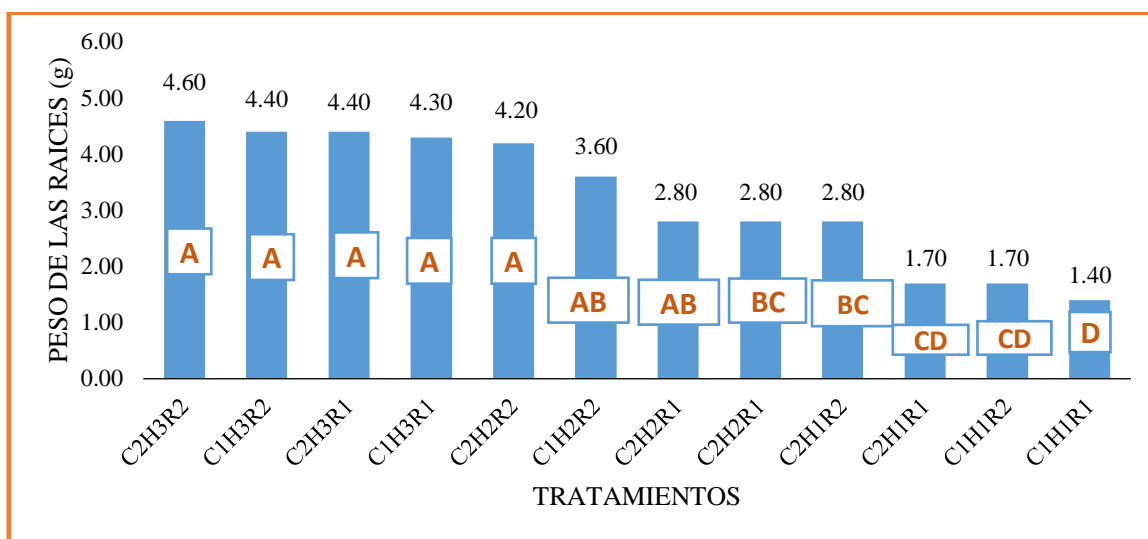


Figura 12

Prueba de Tukey para las interacciones cultivo x hidrogel x riegos sobre el peso seco de las raíces



CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

4.1. Caracterización del sustrato utilizado en la experimentación

4.1.1. Resultados del análisis de caracterización del sustrato

Los resultados del análisis del sustrato utilizado en el trabajo de investigación (Tabla 9) mostraron que el sustrato tuvo un pH moderadamente básico (8,16), una conductividad eléctrica ($3,05 \text{ dS.m}^{-1}$) que significa el sustrato es moderadamente salino y, por lo tanto, podrían afectar el normal desarrollo tanto de la “espinaca” como del “nabo” cuyos rendimientos podrían ser afectado hasta un 6 % (Cherlinka, 2023). Sin embargo, el nabo y la espinaca son especies moderadamente tolerantes a la salinidad y que los valores encontrados en la conductividad eléctrica y en el sodio intercambiables (Na^+) indican ligeros problemas de salinidad y ausencia de sodicidad (Havlin *et al*, 2014). y que, además, la capacidad para retener mayor humedad del hidrogel al ser incorporado al suelo, amenguarían el estrés hídrico causado por la dificultad que tienen las raíces para absorber suficiente agua, evitando, asimismo, un desequilibrio osmótico que también tendría un efecto negativo sobre los rendimientos de las especies estudiadas (Cherlinka, 2023). Por otro lado, el alto contenido de carbonatos (5,70 %) podría afectar la disponibilidad del fósforo, el bajo contenido de materia orgánica ($16,1 \text{ g.kg}^{-1}$), alto contenido de P disponible ($31,6 \text{ mg.kg}^{-1}$) y un contenido medio de K disponible (152 mg.kg^{-1}), sugieren un adecuado plan de fertilización y abonamiento.

La textura ligeramente gruesa (franco arenoso) (Tabla 10), indica que se debe tener en cuenta que, en las zonas áridas y semiáridas, los porcentajes de arena, limo y arcilla, conjuntamente con la densidad aparente y la conductividad eléctrica tienen un efecto significativo en la retención de la humedad en el suelo. La capacidad de intercambio catiónico (Tabla 11) es moderadamente baja ($9,60 \text{ cmol}(+).\text{kg}^{-1}$), por lo tanto, debe ser mejorada mediante la aplicación de materia orgánica, la relación Ca/Mg de 2,62 que indican una posible

deficiencia del catión Ca, la relación Ca/K igual a 1,55 confirma la deficiencia de Ca y una relación Mg/K de 1,13 indica una probable deficiencia de Mg. El Na^+ ($1,10 \text{ cmol.kg}^{-1}$) indica que este catión representa el 11,56 % de los cationes intercambiables, debiéndose evitar su concentración en el suelo porque generará problemas de sodicidad o alcalinidad y producir la destrucción de la estructura y de la materia orgánica

4.2. Evaluación de las variables biométricas

Tanto la altura de plantas y la longitud de las raíces, tal como están interpretadas a continuación:

4.2.1. Altura de plantas

Según la Tabla 12 la altura de plantas que fue evaluada a los 60 días después de la siembra, considerándose los tres factores en estudio y sus respectivas interacciones se encontró que el “nabo” (C2) superó estadísticamente en altura al cultivo de la “espinaca” (C1), en las tres evaluaciones realizadas alcanzando una altura final de 27,71 cm a los 60 días frente a los 25,71 cm de la “espinaca”, es necesario tener en cuenta que en la altura de plantas el factor genético (genotipo) es diferente en cada especie. En cuanto al efecto del hidrogel (Tabla 13) sobre la altura de las plantas se encontró que el mayor nivel de hidrogel aplicado (H3: 30 kg de hidrogel. ha^{-1}) fue estadísticamente superior a los dos restantes niveles de hidrogel (H2: 15 kg y H1 = 0 kg de hidrogel. ha^{-1}). La altura final promedio que alcanzaron las plantas a los 60 días fueron de 31,00 cm (H3), 27,12 cm (H2) y 22,02 cm (H1), respectivamente. En cuanto a los niveles de riego (Tabla 14) la aplicación del 100 % de agua a la capacidad de campo (R2) fue el que produjo un mayor crecimiento de las plantas especialmente a los 40 y 60 días, a los 60 días alcanzó una altura final promedio con relación de 27,85 cm, seguido muy de cerca por el nivel de riego con 50 % de agua a la capacidad de campo (R1) que solo consiguió 25,58 cm.

El efecto de la interacción del tipo de cultivo (C) y los niveles de hidrogel (H), según la Tabla 15, mostró que el cultivo del “nabo” (C2) y el cultivo de la “espinaca” (C1) en combinación con la aplicación de 30 kg.ha^{-1} de hidrogel (H3) destacaron notoriamente en las evaluaciones de la altura hechas a los 20, 40 y a 60 días, especialmente al final del

experimento donde la combinación C2 x H3 alcanzó una altura promedio de 31,40 cm, seguido de la combinación C1 x H3 con una altura de 30,60 cm, siendo ambas combinaciones estadísticamente similares pero superiores al resto de combinaciones, donde quedaron en los últimos lugares las combinaciones C2 x H1 y C1 x H1. En cuanto al efecto de la interacción entre las variables cultivos (C) y riegos (R) (Tabla 16), se encontró que la combinación C2 x R2 logró ser muy superior al resto de combinaciones al ser evaluada a los 20, 40 y 60 días, alcanzando a los 60 días una altura promedio de 28,53 cm, siendo superior estadísticamente al resto de combinaciones que lograron alcanzar una altura de 27,16 (C1 x R2), 26,90 (C2 x R1) y 24,267 (C1 x R1) cm, respectivamente. La interacción de los niveles de hidrogel (H) con los niveles de riego (R) (Tabla 17) muestra que las combinaciones de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel (H3) con riegos al 100 % (R2) y 50 % (R1) fueron los que ocuparon el primer lugar en las tres fechas de evaluación de la altura promedio, es así como a los 60 días la combinación H3R2 H3R1 con alturas de 31,40 y 30,05 cm, son estadísticamente iguales pero superiores al resto de combinaciones, ocupando el último lugar la interacción H1R2, con solo 20,9 cm. La prueba de Tukey de la interacción de los tres factores en estudio (C x H x R), para la evaluación de la altura promedio de plantas a los 20, 40 y 60 días (Tabla 18), demuestra que a los 60 días las interacciones C2H3R2 con 32,3 cm; C1H3R2 con 31,6 cm; C2H3R1 con 30,5 cm; C2H2R2 con 29,6 cm y C1H3R1 con 29,6 cm; fueron estadísticamente iguales pero superiores al resto de combinaciones, ocupando el último lugar la combinación C1H1R1 con sólo 18,2 cm de altura. Los análisis de varianza de las interacciones se observan en el Apéndice 3.

Con respecto a los resultados del efecto de las interacciones discutidas, Joseph (2010), señala que, para lograr un mayor rendimiento de alimentos con un suministro limitado de agua, el riego oportuno en cantidad adecuada reforzada con sustancia superabsorbentes como el hidrogel (Saha *et al.*, 2020), es esencial para lograr un máximo rendimientos. Además, se debe tener en cuenta que la cantidad de agua y el tiempo de su aplicación, influirán en un mayor rendimiento de los cultivos (Pedroza *et al.*, 2015).

4.2.2. Longitud de las raíces

La prueba de Tukey del efecto de los cultivos sobre la longitud de las raíces (Tabla 19) indica que el cultivo del “nabo” (C2) logró un desarrollo radicular promedio de 17,06 cm y fue

superior estadísticamente al cultivo de la “espinaca” (C1) que solo alcanzó 11,63 cm; sin embargo, también se hace necesario tener en cuenta que la longitud de las raíces, al igual que la altura de plantas, son manifestaciones genotípicas de cada especie. Del mismo modo, el efecto del hidrogel (H) sobre la longitud de las raíces (Tabla 20), demostró que la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ (H3) con una longitud de 17,22 cm, fue estadísticamente superior a la aplicación de 15 kg.ha⁻¹ de hidrogel que logró una longitud de 14,52 cm y al tratamiento que recibió 0 kg.ha⁻¹ de hidrogel con una altura de 11,30 cm. Así mismo, al comparar las medias del efecto de los riegos (R) sobre la longitud de las raíces (Tabla 21) se encontró que cuando el riego fue aplicado al 100 % de la capacidad de campo (R2) la longitud fue de 15,35 cm, siendo superior estadísticamente al riego efectuado al 50 % de la capacidad de campo (R1) que logró 13,35 cm en la longitud de las raíces.

Del mismo modo, el efecto de la interacción cultivo (C) y niveles de hidrogel (H) mediante la prueba de Tukey (Tabla 22) indica que la combinación cultivo de “nabo” (C2) x 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel (H3) logró una longitud de las raíces de 19,05 cm y la combinación del cultivo de “nabo” con la aplicación de 15 kg.ha⁻¹ de hidrogel (H2) con una longitud de raíces de 18,40 cm, ambos resultados fueron similares estadísticamente pero superiores al resto de combinaciones, ocupando el último lugar la combinación C1H1 que sólo logró una longitud de raíces de 8,85 cm. Así mismo, la interacción cultivos y riegos (Tabla 23) demuestra que la combinación cultivo del “nabo” (C2) y el nivel de riego al 100 % de la capacidad de campo (R2) alcanzó una longitud de raíces de 18,26 cm, siendo superior estadísticamente al resto de combinaciones y la combinación C1R1 ocupó en último lugar con tal solo 10,83 cm de longitud. Al comparar las combinaciones entre los niveles de hidrogel (H) y los niveles de riego (R) (Tabla 24) se encontró que la combinación de 30 kg.ha⁻¹ (H3) con el riego al 100 % de agua a la capacidad de campo (R2) fue el que ocupó el primer lugar con una longitud de raíces de 18,25 cm, siendo estadísticamente superior al resto de combinaciones, donde la interacción H1R1 fue el que ocupó el último lugar con solo 10,75 cm de longitud. La interacción de los tres factores (CHR) (Tabla 25) demuestra que las combinaciones cultivo de “nabo” (C2) x 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel (H3) x 100 % de agua a nivel de capacidad de campo (R2) que alcanzó una longitud de 20,30 cm y el cultivo del “nabo” (C2) x 15 kg, ha⁻¹ de hidrogel (H2) y 50 % de agua a la capacidad de campo (H2) x 100 % de agua a la capacidad de campo (R2) con una longitud de 19,90 cm, ocuparon el primer lugar en el orden de méritos no siendo diferentes estadísticamente pero superiores al resto de

tratamientos, donde la combinación C1H1R1 ocupó el último lugar con tan solo 8,60 cm de longitud.

En relación con estos resultados se aprecia claramente que de manera independiente para cada especie estudiada, la mayor cantidad de hidrogel aplicado conjuntamente con la mayor cantidad de agua de riego favorecieron un mayor desarrollo de las raíces, lo cual tiene concordancia con lo citado por Huallpa (2010) quién señala que la materia orgánica y el agua presentes en niveles suficientes, el factor variedad y el medio ambiente donde se desarrollan el cultivo, influyen indirectamente en la cantidad y longitud de las raíces. Además, Joseph (2010) considera que al efectuarse el riego oportunamente con la cantidad suficiente de agua que requiere la planta, se logra un mayor rendimiento en los cultivos, aspectos que han sido mejorados por la presencia del hidrogel.

4.3. Evaluación del rendimiento del “nabo” y la “espinaca”

El rendimiento tanto del “nabo” como de la “espinaca” fueron evaluados en base a los pesos en verde (fresco) y en materia seca de la parte aérea de las plantas (hojas y tallos) y al peso en húmedo y en materia seca de las raíces.

4.3.1. Peso en fresco y en materia seca de las hojas

a) Peso fresco de las hojas

Al efectuarse la prueba de comparación de Tukey del efecto del factor cultivo (C) sobre el peso en fresco de las hojas de la “espinaca” (C1) y del “nabo” (C2) mostrados en la Tabla 26, demuestra que el factor cultivo C2 con un peso de 72,40 g fue estadísticamente superior al C1 que logró un peso de 63,48 g, demostrando que el “nabo” tuvo un mayor peso que la “espinaca”, debido a que el “nabo” es una especie que tiene hojas más robustas y tallos suculentos de mayor grosor. Así mismo, el efecto del factor hidrogel (H) (Tabla 27) indica que la aplicación de 30 kg de hidrogel.ha⁻¹ con 88,70 g de peso en fresco (H3) fue estadísticamente superior a la aplicación de 15 kg.ha⁻¹ de hidrogel (H2) que alcanzó 75,10 g de peso fresco (H2) y al tratamiento que no recibió hidrogel (H1) que obtuvo un peso de 40,02 g en verde, el mismo que ocupó el último lugar. Con respecto al factor riego (Tabla 28) el tratamiento que recibió el 100 % de agua a la capacidad de campo (R2) con 72,15 g

de peso en fresco, fue estadísticamente superior ($p \leq 0,05$) al tratamiento que solo recibió el 50 % de riego que presentó un peso de 63,73 g.

Del mismo modo al comparar las interacciones cultivo y niveles de hidrogel (C x H) (Tabla 29) se observa que la combinación cultivo del “nabo” con el nivel de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel (C2 x H3) alcanzó un peso en fresco de 90,30 g y fue estadísticamente superior ($p \leq 0,05$) al resto de interacciones, donde la combinación del cultivo de “espinaca” con el nivel 0 kg.ha⁻¹ de hidrogel (C1 x H1) con un peso en fresco de 31,10 g, fue relegado al último lugar. Así mismo, la Tabla 30 muestra el efecto de la interacción del factor cultivo por los niveles de riego (C x R) encontrándose que la combinación del cultivo de “nabo” con la aplicación del riego al 100 % de la capacidad de campo (C2 x R2) con un peso en fresco de 77,33 g fue superior al resto de combinaciones, donde el tratamiento C1 x R1 ocupó el último lugar con sólo 60,0 g de peso fresco de las hojas. Las interacciones de los factores niveles de hidrogel con los niveles de riego (H x R) (Tabla 31), muestra que la combinación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel con el riego con agua al 100 % de la capacidad de campo (H3 x R2) con 90,40 g de peso en fresco de hojas, demostrando ser estadísticamente superior al resto de combinaciones, donde la interacción H1 x R1 ocupó el último lugar con una producción de 35,55 g en peso fresco. El efecto de la interacción de los tres factores en estudio (C x H x R) (Tabla 32) demuestra que la combinación del cultivo de “nabo” con la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel (H3) y con un riego a nivel del 100 % de la capacidad de campo (C2 x H3 x R2), con un rendimiento de 91,70 g de peso en fresco de las hojas, ocupó el primer lugar conjuntamente con las combinaciones C1 x H3 x R2 y C2 x H3 x R1 con 89,10 g y 88,90 g de peso fresco, respectivamente, resultaron ser iguales estadísticamente pero superiores al resto de interacciones, donde la combinación C1 x H1 x R1 ocupó el último lugar con un rendimiento de 28,90 g de peso fresco de las hojas.

b. Peso seco de las hojas

Al efectuarse la prueba de Tukey sobre el efecto del factor cultivo sobre el peso en seco de las hojas de la “espinaca” y del “nabo” (C2) (Tabla 26), se encontró que el factor cultivo del nabo con un peso de 14,46 g de materia seca fue estadísticamente superior ($p \leq 0,05$) al cultivo de la “espinaca” (C1) que logró un peso de 12,70 g, demostrando que el “nabo” logró un mayor peso que la “espinaca” influenciado por sus características genotípicas. Así mismo, el efecto del factor hidrogel (H) indicó que la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ (H3) (Tabla 27) con

17,72 g de peso en seco, fue estadísticamente superior a la aplicación de 15 kg.ha⁻¹ de hidrogel que produjo 15,02 g de peso seco (H2) y al tratamiento que no recibió hidrogel (H1) que obtuvo un peso de 8,00 g en seco, ocupando el último lugar en el orden de méritos. Con respecto al factor riego (Tabla 28) el tratamiento que recibió el 100 % de agua a la capacidad de campo (R2) con 14,41 g de peso en seco, fue estadísticamente superior al tratamiento que solo recibió el 50 % de riego (R1) que presentó un peso seco de 12,75 g.

Del mismo modo, al comparar las interacciones cultivo y niveles de hidrogel (C x H) mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) (Tabla 29), se encontró que la combinación cultivo del “nabo” con el nivel de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel (C2 x H3) y la combinación cultivo de “nabo” que alcanzaron 18,05 y 17,4 g respectivamente, son estadísticamente iguales pero superiores al resto de interacciones, donde la combinación del cultivo de la “espinaca” con el nivel 0 kg.ha⁻¹ de hidrogel (C1 x H1) con un peso seco de 6,25 g, fue relegado al último lugar. Así mismo, en el efecto de la interacción del factor cultivo por los niveles de riego (C x R) tal como se observa en la Tabla 30 muestra que la combinación del cultivo de “nabo” con la aplicación del riego al 100 % de la capacidad de campo (C2 x R2) con peso en seco de 15,43, es estadísticamente superior ($p \leq 0,05$) al resto de combinaciones, donde el tratamiento C1 x R1 ocupó el último lugar con sólo 12,00 g de peso seco. Las interacciones de los factores niveles de hidrogel con los niveles de riego (H x R) (Tabla 31), muestra que las combinaciones de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel con el riego al 100 % de la capacidad de campo (H3 x R2) con 18,05 g de peso en seco demuestra ser superior estadísticamente al resto de combinaciones, donde la interacción H1 x R1 ocupó el último lugar con una producción de 7,10 g de peso seco.

La Tabla 32 muestra el efecto de la interacción de los tres factores en estudio (C x H x R) encontrándose que las combinaciones cultivo de “nabo” con la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel (H3) y con un riego a nivel del 100 % de la capacidad de campo (C2 x H3 x R2) con 18,30 g de peso de materia seca hojas, cultivo de “espinaca” con la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel (H3) y con un riego a nivel del 100 % de la capacidad de campo (C1 x H3 x R2) con 17,80 g son iguales estadísticamente ($p \leq 0,05$), pero superiores al resto de interacciones donde la combinación C1 x H1 x R1 ocupó el último lugar con un rendimiento de 5,80 g de peso seco de las hojas.

4.3.2. Peso en fresco y en materia seca de los tallos

a. Peso en fresco de los tallos

Al efectuarse la prueba de Tukey para el efecto del factor cultivo (C) sobre el peso en fresco de los tallos de “espinaca” (C1) y del “nabo” (C2) (Tabla 33), se encontró que el factor cultivo de “nabo” con un peso de 48,28 g fue estadísticamente superior ($p \leq 0,05$) al C1 (cultivo de “espinaca” que logró un peso de 44,50 g de ocupando el último lugar. Así mismo, interpretar el efecto del factor hidrogel (H) (Tabla 34) se determinó que la aplicación de 30 kg de hidrogel.ha⁻¹ (H3) con 62,17 g de peso en fresco fue estadísticamente superior ($p \leq 0,05$) a la aplicación de 15 kg.ha⁻¹ de hidrogel (H2) dio 50,30 g de peso fresco y al tratamiento que no recibió hidrogel (H1) con un peso de 26,70 g de peso fresco, ocupando el último lugar. Con respecto al factor riego (Tabla 35) el tratamiento que recibió el 100 % de agua a capacidad de campo (R2) con 50,26 g, de peso fresco de tallos, fue estadísticamente superior al tratamiento que solo recibió el 50 % de riego a la capacidad de campo (R1), el mismo que alcanzó un peso de tallos en fresco de 42,51 g.

Del mismo modo, al comparar las interacciones cultivo con niveles de hidrogel (C x H) mediante la prueba de Tukey (Tabla 36) se encontró que la combinación cultivo de “espinaca” con el nivel de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel (C1 x H3) que alcanzó un peso de 64,10 g, es estadísticamente superior ($p \leq 0,05$) al resto de interacciones, donde la combinación del cultivo de la “espinaca” con el nivel 0 kg.ha⁻¹ de hidrogel (C1 x H1) con un peso en fresco de 20,75 g, fue relegado al último lugar. La interacción del factor cultivo por los niveles de riego (C x R) (Tabla 37) muestra que la combinación del cultivo de “nabo” con la aplicación del riego al 100 % de la capacidad de campo (C2 x R2) con un peso de 51,56 g en fresco, fue superior ($p \leq 0,05$) al resto de combinaciones, donde el tratamiento C1 x R1 ocupó el último lugar con sólo 40,03 g de peso. En la interacción de los factores niveles de hidrogel con los niveles de riego (H x R) señaladas en la Tabla 38, se muestra que la combinación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel con un riego al 100 % de la capacidad de campo (H3 x R2) con 66,30 g de peso en fresco, demostró ser estadísticamente superior al resto de combinaciones ($p \leq 0,05$), donde la interacción H1 x R1 ocupó el último lugar con una producción de 23,75 g en peso de tallos frescos. El efecto de las interacciones de los tres factores en estudio (C x H x R) (Tabla 39) demuestra que la combinación cultivo de la “espinaca” con la aplicación

de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel y con un riego al 100 % de la capacidad de campo (C1 x H3 x R2), y con un rendimiento de 71,40 g de peso en fresco de tallos, ocupó el primer lugar en el orden de mérito, siendo superior al resto de interacciones, donde la combinación C1 x H1 x R1 ocupa el último lugar con un rendimiento de 19,30 g de peso fresco.

b. Peso en seco de tallos

Al efectuarse la prueba de Tukey sobre el efecto del factor cultivo (C) sobre el peso seco de los tallos de la “espinaca” (C1) y del “nabo” (C2) tal como se muestra en la Tabla 35, se encuentra que el factor cultivo C2 con un peso de 6,28 g es estadísticamente superior ($p \leq 0,05$) al C1 que tiene un peso de 5,767 g, determinándose que el peso seco de tallos de nabo es mayor que la espinaca. Así mismo, el efecto del factor hidrogel (H) (Tabla 34) indica que la aplicación de 30 kg de hidrogel.ha⁻¹ (H3) con 8,10 g de peso en materia seca fue estadísticamente superior a la aplicación de 15 kg.ha⁻¹ de hidrogel con 6,50 g de peso seco (H2) y al tratamiento que no recibió hidrogel (H1) y que obtuvo un peso seco de 3,47 g (H1), ocupando éste el último lugar. Con respecto al factor riego (Tabla 35) el tratamiento que recibió el 100 % de agua a la capacidad de campo (R2) con 6,51 g de peso en seco, fue estadísticamente superior al tratamiento que solo recibió el 50 % de riego (R1) y que presentó un peso en seco de 5,53 g.

Del mismo modo al comparar las interacciones cultivo y niveles de hidrogel (C x H) mediante la prueba de Tukey (Tabla 36) se encontró que la combinación cultivo de la “espinaca” combinado con el nivel de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel (C1H3) que alcanzó un peso de 8,35 g, y C2H3 con un peso de 7,85 son estadísticamente superiores ($p \leq 0,05$) al resto de interacciones, donde la combinación del cultivo de la “espinaca” con el nivel 0 kg.ha⁻¹ de hidrogel (C1 x H1) con un peso en seco de 2,70 g, es relegado al último lugar. El efecto de la interacción del factor cultivo por los niveles de riego (C x R) (Tabla 37) demuestra que las combinaciones del cultivo de “nabo” y la “espinaca”, ambas con el riego al 100 % de la capacidad de campo (C2 x R2 y C1 x R2) con un 6,70 y 6,33 g de peso en seco, fueron estadísticamente iguales, pero solo la combinación C2R2 es superior ($p \leq 0,05$) al resto de combinaciones, donde el tratamiento C1 x R1 ocupa el último lugar con sólo 5,20 g de peso seco. Las interacciones de los factores niveles de hidrogel con los niveles de riego (H x R) señaladas en la Tabla 38, muestra que la combinación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel con el riego

al 100 % de la capacidad de campo (H3 x R2) con 8,65 g de peso en seco de tallos, es estadísticamente superior al resto de combinaciones, donde la interacción H1 x R1 ocupó el último lugar con una producción de 3,10 g en peso seco.

El efecto de la interacción de los tres factores en estudio (C x H x R) tal como se señala en la Tabla 39, demuestra que las combinaciones de la “espinaca” y el “nabo” con 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel y con un riego a nivel del 100 % de la capacidad de campo (C1 x H3 x R2 y C2 x H3 x R2), con rendimientos de 9,30 y 8,00 g de peso en seco, respectivamente, fueron estadísticamente iguales y ocuparon el primer lugar, siendo superiores al resto de interacciones ($p \leq 0,05$), donde la combinación C1 x H1 x R1 ocupó el último lugar con un rendimiento de 2,50 g de peso seco de los tallos, notándose que en todas las combinaciones para esta variable al aumentar el contenido de hidrogel se incrementa el contenido de materia seca.

4.3.3. Peso en húmedo y en materia seca de las raíces

a. Peso húmedo de las raíces

Al efectuarse la prueba de Tukey sobre el efecto del factor cultivo sobre el peso en fresco de las raíces de la “espinaca” (C1) y del “nabo” (C2) mostrada en Tabla 40, se encontró que el cultivo del “nabo” (C2) con un peso de 18,66 g fue estadísticamente superior ($p \leq 0,05$), al cultivo de la “espinaca” (C1) que logró un peso de 15,86 g, determinándose que el “nabo” tuvo un mayor peso en húmedo que la “espinaca”, lo cual se debe más a la condición fenotípica de cada especie. Así mismo, el efecto del factor hidrogel (Tabla 41) mostró que la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel (H3) con 22,17 g de peso en húmedo fue estadísticamente superior a la aplicación de 15 kg.ha⁻¹ de hidrogel (H2) que tuvo 18,77 g de peso y al tratamiento que no recibió hidrogel (H1) y que rindió un peso de 10,85 g en húmedo, el mismo que ocupó último lugar. Con respecto al factor riego (Tabla 42) el tratamiento que recibió el 100 % de agua a la capacidad de campo (R2) con 18,03 g de peso en húmedo, fue estadísticamente superior al tratamiento que solo recibió el 50 % de riego con agua a la capacidad de campo (R1) que logró un peso de 16,50 g.

Del mismo modo al comparar las interacciones cultivo y niveles de hidrogel (C x H) (Tabla 43) mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$), se encontró que las combinaciones cultivo del “nabo” con el nivel de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel (C2 x H3) alcanzó un peso de 22,55 g y el cultivo de la “espinaca” con la aplicación del riego al 100 % de la capacidad de campo (C1 x R2) con un peso de 21,80 g, fueron estadísticamente iguales pero superiores al resto de interacciones, donde la combinación del cultivo de la “espinaca” con el nivel 0 kg.ha⁻¹ de hidrogel (C1 x H1) con un peso de 7,75 g, fue relegado al último lugar. Así mismo, en el efecto de la interacción del factor cultivo por los niveles de riego (C x R) (Tabla 44) se encontró que la combinación del cultivo de “nabo” con la aplicación del riego al 100 % de la capacidad de campo (C2 x R2) con 19,33 g de peso en húmedo fue superior estadísticamente al resto de combinaciones, donde el tratamiento C1 x R1 ocupó el último lugar con sólo 15,00 g de peso húmedo de las raíces. Las interacciones de los factores niveles de hidrogel con los niveles de riego (H x R) (Tabla 45), mostraron que las combinaciones de la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel con el riego al 100 % de la capacidad de campo (H3 x R2) con 22,60 g de peso en húmedo y la combinación H3 x R1 con 21,75 g de peso, son estadísticamente iguales ($p \leq 0,05$), destacando claramente la combinación H3R2 con respecto al resto de combinaciones, donde la interacción H1 x R1 ocupa el último lugar con 10,60 g en peso húmedo.

El efecto de la interacción de los tres factores en estudio (C x H x R) mostrados en la Tabla 46, demostró que las combinaciones cultivo de “nabo” con la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel y con un riego al 100 % de la capacidad de campo (C2 x H3 x R2), con un rendimiento de 22,90 g de peso en húmedo, el cultivo de la “espinaca” con la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel y con un riego al 100 % de la capacidad de campo (C1 x H3 x R2) con un rendimiento de 22,30 g de peso en húmedo y el cultivo del “nabo” con la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel y con un riego al 50 % de la capacidad de campo (C2 x H3 x R1) con un rendimiento de 22,20 g de peso, fueron iguales estadísticamente ($p \leq 0,05$), pero superiores al resto de interacciones, donde la combinación C1 x H1 x R1 ocupó el último lugar con un rendimiento de 7,20 g de peso húmedo de las raíces.

a. **Peso en seco de las raíces**

Al efectuarse la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) sobre el efecto del factor cultivo sobre el peso en seco de las raíces de la “espinaca” y del “nabo” (Tabla 40), se encontró que el factor cultivo del “nabo” (C2) con un peso de 3,73 g fue estadísticamente superior al cultivo de la “espinaca” (C1) que logró un peso de 2,91 g, demostrando que el “nabo” tuvo un mayor peso que la “espinaca”. Así mismo, en la Tabla 41 sobre el efecto del factor hidrogel (H) indica que la aplicación de 30 kg de hidrogel.ha⁻¹ (H3) con 4,45 g de peso en húmedo fue estadísticamente superior a la aplicación de 15 kg.ha⁻¹ de hidrogel (H2) que tiene 3,35 g de peso seco y al tratamiento que no recibió hidrogel y que dió un peso de 2,17 g en peso seco (H1), ocupando el último lugar este tratamiento. Con respecto al factor riego (Tabla 42) el tratamiento que recibió el 100 % de agua a la capacidad de campo (R2) con 3,61 g de peso, fue estadísticamente superior al tratamiento que solo recibió el 50 % de riego a la capacidad de campo (R1) que alcanzó un peso en seco de 3,033 g de peso en seco de las raíces. Del mismo modo, al comparar las interacciones cultivo y niveles de hidrogel mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) tal como se muestra en la Tabla 43, se encontró que las combinaciones cultivo del “nabo” con el nivel de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel (C2 x H3) alcanza un peso de 4,50 g, cultivo de la “espinaca” con el nivel de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel (C1 x H3) alcanza un peso de 4,40 g y el cultivo del “nabo” con el nivel de 15 kg.ha⁻¹ de hidrogel (C2 x H2) alcanza un peso en seco de 3,90 g, fueron similares estadísticamente y superiores al resto de las interacciones ($p \leq 0,05$), donde la combinación del cultivo de la “espinaca” con el nivel 0 kg.ha⁻¹ de hidrogel (C1 x H1) con un peso en seco de 1,55 g, fue relegado al último lugar.

Por otro lado, el efecto de la interacción del factor cultivo por los niveles de riego (C x R) no se encontraron diferencias estadísticas en las cuatro combinaciones ya que la Tabla 44 muestra que las combinaciones del cultivo de “nabo” con la aplicación del riego al 100 % de riego a la capacidad de campo (C2 x R2) con un peso de 3,86 g, cultivo de “nabo” con un riego al 50 % de la capacidad de campo (C2 x R1) con un peso de 3,60 g de peso y cultivo de “espinaca” con un riego al 100 % de la capacidad de campo (C1 x R2) con un peso de 3,36 g de peso, fueron estadísticamente iguales, pero superiores a la combinación C1 x R1 que ocupó el último lugar con sólo 2,46 g de peso seco de las raíces. La interacción de los niveles de hidrogel con los niveles de riego (Tabla 45) muestran que las combinaciones de la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel con el riego al 100 % de la capacidad de campo (H3

x R2) con 4,55 g de peso en seco, 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel con el riego al 50 % de la capacidad de campo (H3 x R1) con 4,35 g de peso en seco y 15 kg.ha⁻¹ de hidrogel con el riego al 100 % de la capacidad de campo (H2 x R2) con 4,05 g de peso en seco de las raíces, demuestran ser estadísticamente iguales pero superiores al resto de combinaciones, donde la interacción H1 x R1 ocupó el último lugar con una producción de 2,10 g.

El efecto de la interacción de los tres factores en estudio (Tabla 46) demuestra que las combinaciones cultivo de “nabo” con la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel y con un riego al 100 % de la capacidad de campo (C2 x H3 x R2) con un rendimiento de 4,60 g de peso en seco de raíces; del cultivo de “espinaca” con la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel y con un riego a nivel del 100 % de la capacidad de campo (C1 x H3 x R2) con un rendimiento de 4,50 g; cultivo de “nabo” con la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel y con un riego a nivel del 50 % de la capacidad de campo (C2 x H3 x R1) con un rendimiento de 4,40 g de peso; cultivo de “espinaca” con la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel y con un riego a nivel del 50 % de la capacidad de campo (C1 x H3 x R1) con un rendimiento de 4,30 g de peso; cultivo de “nabo” con la aplicación de 15 kg.ha⁻¹ de hidrogel y con un riego a nivel del 50 % de la capacidad de campo (C1 x H2 x R2) con un rendimiento de 4,20 g de peso; cultivo de “espinaca” con la aplicación de 15 kg.ha⁻¹ de hidrogel y con un riego a nivel del 50 % de la capacidad de campo (C1 x H2 x R2) con un rendimiento de 3,90 g de peso; y cultivo de “nabo” con la aplicación de 15 kg.ha⁻¹ de hidrogel y con un riego a nivel del 50 % de la capacidad de campo (C2 x H2 x R1), con un rendimiento de 3,60 g de peso en seco de las raíces, son estadísticamente iguales ($p \leq 0,05$), pero superiores al resto de interacciones, donde la combinación C1 x H1 x R1 ocupa el último lugar con un rendimiento de 1,40 g de peso seco de las raíces.

Los resultados obtenidos con relación al rendimiento en fresco y en seco de las hojas, tallos y raíces, tanto del cultivo de la “espinaca” como del “nabo”, tienen relación estrecha con lo reportado por Pedroza *et al.* (2015), quienes afirman que cuando hay suficiente humedad y suficiente contenido de materia orgánica y se aplica entre 12,5 a 25 kg.ha⁻¹ de hidrogel, las plantas cultivadas tienden a un mayor desarrollo y por lo tanto a un mayor incremento ya sean de hojas, tallos, frutos y raíces. Consecuentemente, las especies utilizadas en la presente investigación han resultado ser buenas indicadoras del efecto de la interacción de los tres

factores en estudio. Así mismo, se debe tener en cuenta que el hidrogel asegura un mayor crecimiento de las plantas incluso en suelos muy permeables, especialmente en los cultivos de hortalizas cultivadas en invernadero y en macetas, donde este compuesto produce una mayor retención del agua e incluso de nutrientes, mejorando así la gestión del agua, además de ser un producto ambientalmente seguro y biodegradable (Alquera Ciencia, 2020).

Cabe también resaltar que las plantas de “nabo” lograron una altura mucho mayor con respecto a las plantas de “espinaca” y como consecuencia de esto lograron pesos mayores ya sea en las hojas, tallos o raíces. Del mismo modo, mejores resultados se consiguieron con la aplicación de 15 a 30 kg de hidrogel por hectárea combinado con riegos entre 50 al 100 % de la capacidad de campo del sustrato que tuvo una textura franca arenosa (moderadamente gruesa). La aplicación de hidrogel a razón de 30 kg/ha compensa la menor disponibilidad de agua del régimen de riego R2 (equivalente al 50 % de la capacidad de campo) y reduce la diferencia de crecimiento tanto en nabo como espinaca que se podría esperar al aplicar una mayor cantidad de agua cuando regamos al 100 % de la capacidad de campo. Igualmente la menor disponibilidad de agua del régimen de riego C2 podría interactuar negativamente con el contenido de sales del suelo creando un efecto osmótico mayor que tendría consecuencias en el crecimiento sobre todo en el nabo; sin embargo, al revisar las medias de las interacciones de los tratamientos C2R2H3 y C2R2H2 no se encuentran diferencias en las variables peso seco y fresco de raíces y hojas, indicando que el hidrogel aplicado a razón de 15 y 30 kg.ha⁻¹, han demostrado su capacidad de mantener la humedad del suelo en condiciones satisfactorias para el desarrollo de los cultivos.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. La caracterización del suelo utilizado como sustrato en la investigación ha permitido conocer que dicho material, dentro sus principales características, presentaba riesgos notorios especialmente relacionado con la conductividad eléctrica que lo calificaba como un suelo ligeramente salino, condición que podría limitar el normal desarrollo normal de las plantas como consecuencia de la alteración de la estructura y la destrucción de la materia orgánica del suelo, alterando del mismo modo la actividad osmótica, dificultades que probablemente han sido atenuadas por la presencia del hidrogel.
2. Con respecto a la altura de plantas se encontró que durante los primeros días del experimento el crecimiento fue lento, pero a partir de los 20 días se observó un desarrollo rápido, notándose claramente el efecto de los niveles de hidrogel aplicado al suelo y de la cantidad de agua de riego que fue utilizado. El “nabo” tuvo una mayor altura con respecto a la “espinaca” debido más que nada al factor genético por ser ambas especies diferentes. Al igual que la altura de plantas, la longitud de las raíces mostró diferencias, notándose que tanto la altura de plantas y el desarrollo de las raíces son consecuencia de la interacción de las características genéticas de cada especie influenciadas por los niveles de riego y las cantidades de hidrogel aplicados en el estudio, donde la longitud de las raíces fue ligeramente mayor en el “nabo” sobre la “espinaca” notándose claramente el efecto de los factores en estudio estrechamente relacionados con las características genéticas de cada especie en estudio.
3. Con referencia a los rendimientos tanto del cultivo de la “espinaca” como del “nabo” influenciados por los tres factores en estudio (Cultivos, niveles de hidrogel y niveles de riego a capacidad de campo), se encontró que dentro del factor cultivos que el “nabo” tuvo un mayor desarrollo tanto en la parte aérea como en la parte radicular y por lo tanto esta especie logró estadísticamente un mayor crecimiento. Así mismo, los niveles de hidrogel aplicados de acuerdo con los tratamientos en estudio resaltaron en casi todos los casos, el nivel de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel superó, aunque en algunos casos muy

4. ligeramente, a los dos restantes niveles de 15 y 0 kg.ha⁻¹ de hidrogel. Por otro lado, el efecto de los riegos indicó que la aplicación del 100 y 50 % de agua a nivel de capacidad de campo, dieron los mejores resultados. El efecto de la interacción entre los tres factores en estudio indicó que la combinación entre el factor cultivo y niveles de hidrogel sobre la altura de plantas, que estadísticamente es similar la combinación del cultivo de “nabo” y de la “espinaca” con 30 o 15 kg.ha⁻¹ de hidrogel. Así mismo, la interacción del factor cultivo con el factor riego, resalta claramente que la combinación del cultivo del “nabo” o de la “espinaca” con el nivel de 100 % de riego a la capacidad de campo.

5. La interacción del nivel de hidrogel con el riego muestra que la combinación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel y la aplicación de riego son tanto del 100 % como del 50 % de la capacidad de campo, lo que corresponde al 11,5 y 7,55 % de humedad del suelo no fue estadísticamente diferente y fue el mejor tratamiento para la altura. La interacción de los tres factores estudiados muestra claramente que el cultivo de nabo y espinaca combinado con niveles de hidrogel de 30 o 15 kg.ha⁻¹ y riego del 50 y 100 % de la capacidad de campo son estadísticamente iguales y favorecen plantas de mayor altura. El desarrollo de raíces en ambas especies logró un patrón similar a la altura de la planta.

6. En cuanto al rendimiento de los cultivos de “espinaca” y “nabo” afectado por los tres factores estudiados (cultivo, nivel de hidrogel y nivel de riego volumétrico del campo), se encontró que dentro del factor cultivo, el “nabo” tuvo mayor desarrollo y por ende un crecimiento estadísticamente mayor de la especie. Asimismo, los niveles de hidrogel aplicados según los tratamientos estudiados fueron destacados en casi todos los casos, superando los niveles de hidrogel los 30 kg.ha⁻¹ por hectárea, aunque muy levemente en algunos Hidrogel a niveles de 15 y 0 kg.ha⁻¹. Los efectos del riego, por otro lado, muestran que aplicar el 100 y el 50% del agua al nivel de capacidad de campo da los mejores resultados. El efecto de la interacción entre los tres factores en estudio indicó que la combinación entre el factor cultivo y niveles de hidrogel sobre la altura de plantas, que estadísticamente fue similar la combinación del cultivo de “nabo” y de “espinaca” con 30 o 15 kg.ha⁻¹ de hidrogel. Así mismo, la interacción del factor cultivo con el factor riego, resalta claramente que la combinación del cultivo del “nabo” o de la “espinaca” con el nivel de 100 % de riego a la capacidad de campo.

7. La interacción de los niveles de hidrogel con los riegos indica que tanto la combinación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel con la aplicación de riegos tanto al 100 como al 50 % de agua a nivel de capacidad de campo, no son diferentes estadísticamente y son los mejores tratamientos con respecto a la altura. La interacción de los tres factores en estudio indica claramente que el cultivo tanto del “nabo” como de la “espinaca” combinado con el nivel de 30 o 15 kg.ha⁻¹ de hidrogel y con los riegos al 50 y 100 % de la capacidad de campo son estadísticamente iguales y favorecen para una mayor altura de las plantas. Un patrón similar al de la altura de plantas se ha logrado en el desarrollo de las raíces de ambas especies.

8. Con respecto a los rendimientos tanto de la “espinaca” como del “nabo”, se encontró que el “nabo” tuvo un mayor rendimiento en peso que el cultivo de la “espinaca” tanto en fresco como en materia seca, en este caso también se debe tener en cuenta el factor genético que es diferente para cada especie con relación al rendimiento; del mismo modo, dentro del factor niveles de hidrogel fue el tratamiento con 30 kg.ha⁻¹ en que dio los mejores resultados y en el factor riegos fue la aplicación del 100 % de agua al nivel de capacidad de campo el que logró el mayor rendimiento tanto en fresco con el seco. Las interacciones mostraron que la combinación del cultivo del “nabo” y de la “espinaca” con la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel dieron los mayores resultados en cuanto al rendimiento en fresco como en materia seca. Del mismo modo la interacción entre cultivo del “nabo” con la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel logró mayor rendimiento en fresco y en seco. Así mismo, la combinación de 30 kg.ha⁻¹ de hidrogel con el riego al 100 % de agua a la capacidad de campo tuvieron un rendimiento superior.

9. Finalmente, los mejores rendimientos se encontraron para cultivos de “espinaca” y “nabo” en combinación con 30 o 15 kg.ha⁻¹ de hidrogel y riego con agua al 100 o 50 % de la capacidad de campo. Por lo tanto, se asume que una combinación económicamente favorable está representada por la combinación de cultivos de “nabo” o “espinaca” con la aplicación de 15 kg.ha⁻¹ de hidrogel y 50 % de la capacidad de campo.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar este estudio a nivel de campo definitivo teniéndose en cuenta las principales características que favorecerán una mayor absorción del agua en el suelo y consecuentemente ayuden a mejorar los rendimientos, especialmente se debe tener en cuenta la relación que debe existir entre la reacción del suelo, los niveles de salinidad y el contenido de materia orgánica, los mismos que a nivel de campo son difíciles de estar en condiciones óptimas.
2. Al haberse comprobado que el pH, conductividad eléctrica, textura y contenido de materia orgánica del sustrato utilizado en la investigación no se encontraban en condiciones óptimas para la retención del agua, se recomienda que para futuras investigaciones se consideren más niveles de hidrogel para favorecer una mejor retención del agua de riego en el suelo por haberse demostrado la eficiencia de este compuesto que ha demostrado ser útil aun cuando las condiciones del suelo no son aparentes.
3. Por haberse demostrado estadísticamente que los niveles de riego al 50 y 100 % de agua a la capacidad de campo no son diferentes estadísticamente, con el fin de mantener un buen rendimiento de las plantas cultivadas, se recomienda hacer los riegos con el 50 % de agua a la capacidad de campo, combinados con 15 kg.ha^{-1} de hidrogel, porque es el nivel económicamente más favorable.
4. Se recomienda que para estudios de este tipo se deberían de determinar la eficiencia de uso del agua cuantificando el total de agua aplicada en cada tratamiento y compararlo con la materia seca producida. Esto será muy valioso dado a la realidad mundial del agotamiento progresivo de las fuentes de agua dulce que obligan optimizar el uso del recurso hídrico.

REFERENCIAS

- Alquera Ciencia (2020). *Online productos químicos y material laboratorio*. Madrid, España
Recuperado de <https://www.alquera.com/hidrogel/>
- Alternativa Ecológica. (2012). *Cultivo del nabo*. Lima, Perú. Recuperado de
<https://ecosiembra.blogspot.com/2012/12/cultivo-de-nabo.html>
- Arshad, M. A., Lowery, B. y Grossman, B. (1996). Physical test for monitoring soil quality.
In J. W. Doran, y A. J. Jones, *Methods for Assessing Soil Quality* (pp. 123-142).
Madison, WI: *Soil Science Society of America*. USA.
- Banco Mundial. (2017). El agua en la Agricultura. [BM]
<https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>
- Buchmann, C., Bentz, J. y Schaumann, G.E. (2015). Intrinsic and model polymer
hydrogel-induced soil structural stability of a silty sand soil as affected by soil
moisture dynamics. *Soil Till. Res.* 154, 22–33. <https://www.semanticscholar.org/paper/Intrinsic-and-model-polymer-hydrogel-induced-soil-a-Buchmann-Bentz/14e94fbc7aa854d9ec8e412ad3cd76695>
- Calvo, J. C. (2018). *Adaptabilidad y potencial de rendimiento de tres variedades de espinaca (Spinacia oleracea L.) en el distrito de Lamas*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto, San Martín. Recuperado de
<https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3229/AGRONOMIA%20-%20Juan%20Carlos%20Calvo%20Bartra%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Campos, A. (2020). El contenido de agua en el suelo: su importancia. El Portal.
<https://elportal.mx/princ/el-contenido-de-agua-en-el-suelo-su-importancia/>
- Chambers, R. (1988). *Managing Canal Irrigation: Practical Analysis from South Asia*. New York, N.Y.: Cambridge University Press.
- Cherlinka, V. (2023). Salinidad del Suelo: cómo prevenirla y reducirla. Eos Data Analytics. <https://eos.com/es/blog/salinidad-del-suelo/>
- Chicas, R., Venegas, E. y García, N. (2014). Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad en suelos de la subcuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. N° 1. Chiquimula, Guatemala.

- Da Costa, A., Albuquerque, P., Da Costa, A., Pertile, P. y Rodríguez, F. (2013). Water retention and availability in soils of the State of Santa Catarina-Brasil: Effect of textural classes, soil classes and lithology. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*.
- De Jesús, I. (2010). *Materia orgánica y actividad biológica*. Colegio de Graduados. Universidad Intercultural del Estado de México. Recuperado de <https://uiem.academia.edu/IvanDeJesus>.
- Demin, P. E. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego: métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones*. 1ra. Edición. San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca. Ediciones INTA. Argentina. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_aportes_para_el_mejoramiento_del_manejo_de_los_sistemas_de_riego.pdf
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. (2008). *Agregación y estabilidad, indicadores de la calidad del suelo*. USDA. Recuperado de http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053287.pdf.
- Distribuidora y Comercializadora Tornado (2012). *¿Qué es Hidrogel?* Recuperado de <http://www.hidrogelmex.com/hidrogel.html>
- Domingo, J., Fernández, R., Corral, E. y Rapp, I. (2006). Estimación de la capacidad de retención de agua en el suelo: revisión del parámetro CRA. *Investigación Agraria: Sistema Recursos Forestales*, 15(1), 14-23.
- EcuRed contributors. (2018). Impactos ambientales del riego. https://www.ecured.cu/index.php?title=Impactos_ambientales_del_riego&oldid=3190174
- Eusebio, E. A. (2014). *Respuesta de tres variedades de nabo (Brassica rapa L.) Fuku komachi, Tokyo cross y Just right a la infestación de Macrosiphon euphorbiae (Hemíptera, Aphididae) en condiciones de campo*. (Tesis de grado). Facultad de Ingeniería Agraria Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú. Recuperado de http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/866/1/empetocles_eusebio_brassica_rapa_hemiptera%20aphididae.pdf
- Fernández-Jáuregui, C. (2004). *Presentación del Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo*. UNESCO Recuperado de <http://www.unescoetxea.org/dokumentuak/EncuentrosAgua.pdf>

- Fernández, R., Milla, M. Ávila, R., Berengena, J., Gavilán, P., y Oyonarte, N. A. (2010). *Manual de riego para Agricultores: módulo 2. Riego por superficie*. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación. Sevilla, España. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/48517053.pdf>.
- Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental. (2017). *Contaminación del agua: causas, consecuencias y soluciones*. Agua.org.mx. México. [FCEA]. Recuperado de <https://agua.org.mx/contaminacion-del-agua-causas-consecuencias-soluciones/>
- Fundación Aquae. (2022). Tipos de sistema de riego y sus características. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/tipos-de-riego/>
- García, J. (2019). Composición química del agua. La Guía – Biología. <https://biologia.laguia2000.com/bioquimica/composicion-quimica-del-agua>
- Génova, L. J. (2003). Resistencia y resiliencia a la degradación salina y sódica de suelos pampeanos, disturbados por riego complementario. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23,(2-3)p.119-130. Recuperado de <http://ri.agro.uba.ar/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=rfa&d=2003genoval>
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L. y Beaton, J. D. (2014). *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management* (8th ed.). Pearson
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. 6ta. Edición. Mc Graw Hill Educación. México. Recuperado de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/etodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Huallpa, F. (2010). *Comportamiento productivo de variedades de nabo (Brassica napus L.) con diferentes abonos orgánicos en el altiplano norte de la Paz*. (Tesis de grado). Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. Recuperado de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5130/T1383.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Huerta, C. H. (2010). *Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín, Querétaro y su relación en el crecimiento bacteriano*. (Tesis de grado). Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Juriquilla. México. <http://www.geociencias.unam.mx/~bole/boletin/tesisHilda1101.pdf>
- Huttermann, A., Oriquiriza, L. J. y Agaba, H. (2009). Application of superabsorbent polymers for improving the ecological chemistry of degraded or polluted lands. CLEAN–Soil,

INFOAGRO. (2005). *El cultivo de la espinaca*. Agricultura Ecológica Recuperado de <http://www.infoagro.com/hortalizas/espinaca.htm>.

Instituto de la Potasa y el Fósforo. (1997). *Manual Internacional de Fertilidad de Suelos*, 1ra. Edición. Quito, Ecuador. INPOFOS.

INTAGRI S.C. (2007). El riego, la importancia de su programación y los parámetros de humedad en el Suelo. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/El-riego-la-importancia-de-su-programacion-y-los-parametros-de-humedad-en-el-suelo>.

Integrated Taxonomic Information System (2022). [ITIS]. Taxonomic Information on Plants. www.itis.gov, <https://doi.org/10.5066/F7KH0KBK>

International Union of Pure and Applied Chemistry. (2005). Nomenclature of Inorganic Chemistry – IUPAC Recommendations. *Chemistry International - Newsmagazine for IUPAC*, vol. 27, No. 6, pp. 25-26. <https://doi.org/10.1515/ci.2005.27.6.25>

Iza, M. (2021). Precipitación ¿cuándo es poco y cuándo es mucho? El Tiempo.es. <https://www.eltiempo.es/noticias/precipitacion-cuando-es-poco-y-cuando-es>

Jiménez, J. L., Gil, R., Fuentes, L. S. y Niño, N. (2010) cultivo de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.) y su manejo sanitario en Colombia. Primera edición. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://searchworks.stanford.edu/view/11598683>

Jordán, A. (2010). *Edafología*. Sevilla, España: Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química. Universidad de Sevilla.

Joseph, M. (2010). *A study on the water retention characteristics of soils and their improvements*. Division of Civil Engineering School of Engineering. Cochin University of Science and Technology. (Thesis of Doctor of Philosophy). Kochi, Kerala, India.

Kalhpure, A., Kumar, R., Singh, V.P. y Pandey, D.S. (2016). Hydrogels: a boon for increasing agricultural productivity in water-stressed environment. *Curr. Sci.* 111, 1773.

<https://www.bing.com/search?q=Kalhapure%2C+A.%2C+Kumar%2C+R.%2C+Singh%2C+V.P.%2C+Pandey%2C+D.S.%2C+2016.+Hydrogels%3A+a+boon+for+increasing+agricultural+productivity+in+waterstressed+environment.+Curr.+Sci.+111%2C+1773.&cvid= edge.69i57.2055j0j1&pgl=43&FORM=ANNTA1&PC=U531>

Little, T. M. y Hills, F. J. (2002). *Métodos Estadísticos para la Investigación en la Agricultura*. Editorial Trillas. Cuarta Reimpresión. México D. F., México.

León, M. (2000). *Propiedades de los suelos*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria. CORPOICA, Bucaramanga, Colombia. Recuperado de www.agronet.gov.co/www/docs_si2/200671995247_Propiedades%20de%20los%20suelos.pdf

Liotta, M. (2015). *Riego por goteo, Manual de capacitación*. Recuperado de https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf

Mamani, F. G. (2018). *Producción de nabo (Brassica napus L.) con tres tipos de abonos orgánicos en el Municipio de Patacamaya*. (Tesis de grado). Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. Recuperado de: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/18390/TS2550.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Marandi, G.B., Hariri, S. y Mahdavinia, G.R. (2009). Effect of hydrophobic monomer on the synthesis and swelling behaviour of a collagen-graft-poly [(acrylic acid)-co-(sodium acrylate)] hydrogel. *Polym. Int.* 58, 227–235. [https://www.bing.com/search?q=Marandi%2C+G.B.%2C+Hariri%2C+S.%2C+Mahdavinia%2C+G.R.%2C+2009.+Effect+of+hydrophobic+monomer+on+the+synthesis+and+swelling+behaviour+of+a+collagen%20%90graft%20%90poly+%5B\(acrylic+acid\)%20%90co+%20%90\(sodium+acrylate\)%5D+hydrogel.+Polym.+Int.+58%2C+227%20%90%93235.&cvid=f903d6da5dfb4824b1b7753a582de0fc&aqs=edge.69i57.3497j0j1&pgl=43&FORM=ANNTA1&PC edge..69i57.3497](https://www.bing.com/search?q=Marandi%2C+G.B.%2C+Hariri%2C+S.%2C+Mahdavinia%2C+G.R.%2C+2009.+Effect+of+hydrophobic+monomer+on+the+synthesis+and+swelling+behaviour+of+a+collagen%20%90graft%20%90poly+%5B(acrylic+acid)%20%90co+%20%90(sodium+acrylate)%5D+hydrogel.+Polym.+Int.+58%2C+227%20%90%93235.&cvid=f903d6da5dfb4824b1b7753a582de0fc&aqs=edge.69i57.3497j0j1&pgl=43&FORM=ANNTA1&PC edge..69i57.3497)

Martínez, J. (2020). ¿Cómo llega el agua desde las raíces hasta las plantas? eHow en español. https://www.ehowenespanol.com/llega-agua-raices-hasta-plantas-como_120653/

Mejía, C. (2019). *Estructura de un proyecto de investigación*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=mScO6ojcC8I>

Melgarejo, C. A. (2018). *Efecto del nivel de salinidad del agua de riego en el crecimiento del cultivo de espinaca (Spinacia oleracea L.) en suelo arenoso*. (Tesis de grado).

- Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3609/melgarejo-choque-carolay-antuanett>.
- Mendoza, A. (2013). *Riego por Goteo*. Recuperado de <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/riego/Riego%20por%20goteo.pdf>
- Mercola, J. (2019). Cómo cultivar nabos en su jardín. Asociación de consumidores orgánicos. <https://consumidoresorganicos.org/2019/05/08/como-cultivar-nabos-en-su-jardin/>
- Ministerio del Ambiente (2012). Aprende a prevenir los efectos del mercurio Módulo 1: *Salud y ambiente*. Lima, Perú. [MINAM].
- National Geographic (2022). ¿Qué es un ecosistema? <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2022/08/que-es-un-ecosistema>
- Navarro, J. (2003). *Efecto de Cuatro Láminas de Riego sobre el Rendimiento de Plátano (Musa paradisiaca, var. Currare) Bajo las condiciones de Aldea Los Encuentros, Coatepeque, Quetzaltenango*. (Tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2010.pdf
- Organización de las Naciones Unidas (2014). *Agua y Desarrollo Sostenible*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (DAES) Recuperado de https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. Guías para la determinación de los requerimientos de agua para los cultivos. Roma, Italia.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). *Textura del suelo*. [FAO]. Recuperado de http://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm#top
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *Propiedades Físicas del Suelo*. [FAO]. Recuperado de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. (2015). *Estudio detallado de los árboles, bosques y el uso de la tierra en las zonas áridas del planeta*. Recuperado de <http://www.fao.org/news/story/es/item/426108/icode/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2003). *Mejorar la tecnología de riego*. Enfoques. Recuperado de <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0303sp3.htm>. [FAO].
- Pacheco, J. (2020). *Marco metodológico. Segunda fase*. Web y Empresas. Recuperado de <https://www.webyempresas.com/fasesdelainvestigación>.
- Pedroza, A., Yáñez, L.G., Sánchez, I. y Samaniego, J. A. (2015). Efecto del hidrogel y vermicompost en la producción de maíz. Universidad Autónoma Chapingo. *Revista Fitotecnia Mexicana, Vol. 38, N° 4*. Chapingo, México. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802015000400005
- Pereira, G. (2010). Cultivo del Maní. Unidad de Difusión e Información Tecnológica. INIA Tacuarembó. *Boletín de Divulgación N° 48*. Montevideo, Uruguay. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/390539002/DL-276>.
- Plaster, E. (2005). *La Ciencia del suelo y su manejo*. International Thompson Editores. 1ra. Edición, 2^{da}. Reimpresión. Madrid, España.
- Porta, C., López, M. y Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3ra edición, Multi Prensa. Madrid, España.
- Ruano, S. (1999). *Enciclopedia práctica de la agricultura y la ganadería*. Editorial OCEANO/CENTRUM. Barcelona –España. Pp. 542 – 544.
- Sawchik, J. (2000). *Algunos conceptos básicos para el manejo del riego*. GRAS, INIA. Montevideo, Uruguay
- Schoeneberger, P., Wysocki, D., Benham, E., y Broderson, W. (2012). *Field Book for Describing and Sampling Soils*. Lincoln, OR.: Natural Resources Conservation Service, USDA. National Soil Center.
- Servicio de Protección de Suelos de los Estados Unidos de América. (1980). *Manual de Conservación de Suelos*. (3^a ed.). México: Limusa.

- Servín, M. (2007). Programa para calcular demandas de agua y calendarizar el riego de los cultivos. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro “. Coahuila, México. <http://www.repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2678/Programa%20para%20calcular%20demandas%20de%20agua.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Silva, A., Ponce de León, J., García, F. y Durán, A. (1988). Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay. *Boletín de Investigación, Facultad de Agronomía*, Universidad de la República. Uruguay.
- Solórzano, P. R. (2020). Absorción de nutrientes por las raíces de las plantas. Quifuca. División Agrícola. <https://www.quifuca.com/ve/2020/08/20/absorcion-de-nutrientes-por-las-raices-de-las-plantas/>
- Stakland, S. (2017). *Capacidad del suelo de retención de humedad*. eHowe en español. Recuperado de: www.ehowenespanol.com/capacidad-del-suelo-retencion-humedad-info_288012/.
- Tarjuelo, J. M. (2005). El riego por aspersión. Centro Regional de Estudios del Agua-CREA. Universidad de Castilla-La Mancha. España.
- Ugás, R., Siura, S., Delgado de la Flor, F., Casas, A. y Toledo, J. (2000). *Hortalizas*. Universidad Nacional Agraria La Molina [UNALM]. Lima, Perú. Recuperado de <http://www.lamolina.edu.pe/hortalizas/ /Datosbasicos.html#>
- Universidad Católica Sedes Sapientiae (2018) *Reglamento de tesis. Facultad de Ingeniería Agraria*. [UCSS]. Lima, Perú
- Universidad Nacional Agraria La Molina (2020). *Análisis de Suelos – Caracterización*. Laboratorio de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes. Universidad Nacional Agraria La Molina. La Molina, Lima, Perú.
- Valenzuela, H. (2016). *Evaluación del efecto de abonos orgánicos en el cultivo de espinaca (Spinacia oleracea L.), variedad viroflay dash en invernadero del centro de investigación y producción Santo Tomas Abancay*. (Tesis de grado). Universidad Tecnológica de los Andes, Apurímac, Perú.
- Vásquez, M., Magaña, N. y López, G. (2014). *Programa Integral de Desarrollo Rural*. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. México D.F., México.

Weil, R. R. y Brady, N. C. (2017). *The nature and properties of Soils*. 15th edition. Pearson Education Publisher. Harlow, England. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/301200878_The_Nature_and_Properties_of_Soils_15th_edition

Zavaleta, A. (1992). *Edafología: el suelo en relación con la producción*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Lima, Perú.

Zegarra, E. (2005). La Investigación social sobre el manejo del agua de riego en el Perú: una mirada a conceptos y estudios empíricos. En M. Pulgar-Vidal, E. Zegarra y J. Urrutia (Eds.), *Perú, el problema agrario en debate: Seminario Permanente de Investigación Agrario*: SEPIA (pp. 319-348). Lima, Perú.

TERMINOLOGÍA

Agricultura de riego. Es el suministro artificial de agua a los cultivos a través de diversos métodos o sistemas de riego con el fin de cubrir las necesidades hídricas (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2003).

Análisis de suelo. Es un análisis químico de la composición del suelo, generalmente destinado a estimar la disponibilidad de los nutrientes pero que también incluye mediciones de acidez, alcalinidad y conductividad eléctrica (Instituto de la Potasa y el Fósforo [INPOFOS], 1997).

Capacidad retentiva del agua. Es la cantidad de agua que el suelo puede mantener después de haber sido saturado y luego sometido al drenaje libre por un periodo de dos o tres días (Ortiz y Ortiz, 1990).

Contaminación ambiental. Es la incorporación en los cuerpos receptores de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, o mezclas de ellas, siempre que alteren desfavorablemente las condiciones naturales del mismo, o que puedan afectar la salud, la higiene o el bienestar del público (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2012).

Déficit hídrico. Es la condición en que las plantas están recibiendo menos agua de la que necesitan (Navarro, 2003).

Densidad aparente. Es la relación de la masa del suelo por unidad de volumen en su estado natural en el campo, incluyendo el espacio que ocupa el aire y la materia mineral, más las sustancias orgánicas (Arshad *et al.*, 1996).

Ecosistema. Es una comunidad constituida por organismos como vegetación, animales, y microorganismos que están en relación con los elementos abióticos de su hábitat (National Geographic, 2022).

Infiltración del agua. Es el proceso por el cual el agua entra al suelo, cuyo porcentaje depende del tipo de suelo, de la estructura y del contenido de agua en el suelo (Arshad *et al.*, 1996).

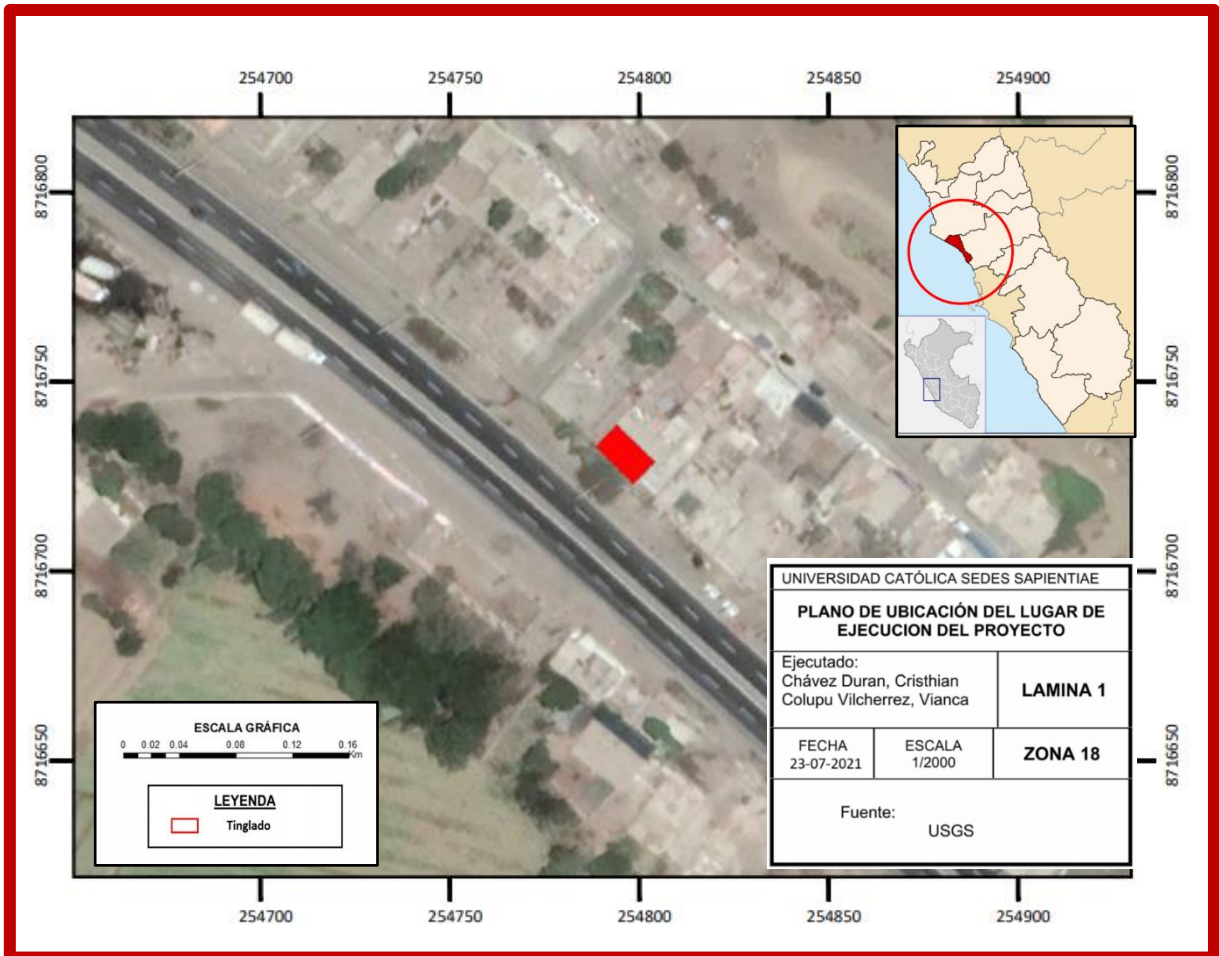
Lixiviación. Remoción de materiales en solución por el paso del agua a través del perfil del suelo (INPOFOS, 1997).

Porosidad. Porcentaje del volumen del suelo que no está ocupado por el material sólido por donde circular libremente al agua y el aire, con una relación interdependiente (Plaster, 2005).

Suelo sódico. Suelo con alto contenido de sodio intercambiable (> 15 %) y bajo contenido de sales solubles (Plaster, 2005).

APÉNDICES

Apéndice 1. Plano de ubicación de la zona experimental



Apéndice 2. Resultados del análisis de caracterización del sustrato



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION



Solicitante : ELOY MUNIVE JAUREGUI (MIANCA COLUPU)

Departamento : LIMA Provincia : CHANCAY
 Distrito : Predio :
 Referencia : H.R. 72520-069C-20 Bolt: 4202 Fecha : 15/09/2020

Número de Muestra		pH	C.E. (1:1) dSm	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
4474	Chancay 01, AP	8.16	3.05	5.70	1.61	31.6	152	65	26	19	Fr.A.	9.60	3.57	2.62	2.31	1.10	0.00	9.60	9.60	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ;
 Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Braulio La Torre Martínez
Ds. Braulio La Torre Martínez
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 Celular: 946-505-254
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, plantas, Aguas y Fertilizantes, UNALM (2020).

Apéndice 3. Tablas para la interpretación de los análisis de caracterización del sustrato

1) Potencial de hidrógeno (pH)

Definición	Rango de pH
Ultra ácido	< 3,50
Extremadamente ácido	3,51 a 4,40
Muy fuertemente ácido	4,41 a 5,00
Fuertemente ácido	5,01 a 5,50
Moderadamente ácido	5,51 a 6,00
Ligeramente ácido	6,01 – 6,50
Neutro	6,51 – 7,40
Ligeramente básico	7,41 – 7,80
Moderadamente básico	7,81 – 8,40
Fuertemente básico	8,41 – 9,00
Muy fuertemente básico	> 9,0

Fuente: Schoeneberger *et al.* (2012).

2) Conductividad eléctrica (mmhos/cm ó dS.m⁻¹)

Definición	Rango de salinidad
Sin problemas de salinidad	< 2
Ligeros problemas de salinidad	2 – 4
Salinidad moderada	4 – 8
Severos problemas de salinidad	8 – 16
Muy severos problemas de salinidad	> 16

Fuente: Schoeneberger *et al.* (2012).

3) Materia orgánica

Definición	%	g.kg⁻¹
Bajo	< de 2	< de 20
Medio	2 – 4	20 – 40
Alto	> de 4	> de 40

Fuente: Schoeneberger *et al.* (2012).

4) Calcáreo total

Definición	Rango de calcáreo total (%)
Bajo	< de 1
Medio	1 – 5
Alto	5 – 15 (precipita al P)
Muy alto	> de 15 (tóxico para las plantas)

Fuente: Schoeneberger *et al.* (2012).

5) Fósforo disponible

Definición	Rango de P (ppm o mg.kg⁻¹)
Bajo	0 – 7
Medio	7 – 14
Alto	> de 14

Fuente: Schoeneberger *et al.* (2012).

6) Potasio disponible

Definición	ppm o mg.kg⁻¹	kg.ha⁻¹
Bajo	< 100	< 250
Medio	100 – 200	250 – 500
Alto	> 200	> 500

Fuente: Schoeneberger *et al.* (2012).

7) Capacidad de intercambio catiónico (me/100 g o cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹)

Definición	Rango de CIC (me/100 g o cmol(+).kg⁻¹)
Muy baja	< de 4
Baja	4 – 8
Moderadamente baja	8 – 12
Moderadamente alta	12 – 20
Muy alta	> de 20

Fuente: Schoeneberger *et al.* (2012).

8) Porcentaje de saturación de bases

Definición	Rango de % SB
Baja	< de 35
Media	35 - 80
Alta	> de 80

Fuente: Schoeneberger et al. (2012).

9) Relaciones catiónicas

Relación	Niveles	Interpretación
Ca^{*2}/Mg^{+2}	< 2	Posibles deficiencias de Ca^{++}
	2 – 4	Ideal
	> 10	Posibles deficiencias de Mg^{++}
Ca^{+2}/K^*	< 2,0	Posibles deficiencias de Ca^{++}
	3 – 30	Ideal
	> 30	Posibles deficiencias de K^+
Mg^{+2}/K^+	< 1,0	Posibles deficiencias de Mg^{++}
	2 – 18	Ideal
	> 18	Posibles deficiencias de K^+

Fuente: Schoeneberger et al. (2012).

Apéndice 4. Resultados originales de la evaluación de los factores en estudio

1) Altura de plantas a los 20 días después de la siembra (cm)

Repet.	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12
I	5,1	4,8	5,0	5,0	5,7	5,6	9,7	10,0	9,5	9,8	10,4	9,9
II	4,9	5,2	5,3	5,8	5,5	5,5	9,8	9,6	9,9	10,0	9,7	11,0
III	4,7	5,0	5,6	5,4	5,3	5,7	9,9	9,5	10,3	9,6	10,2	10,3

2) Altura de plantas a los 40 días después de la siembra (cm)

Repet.	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12
I	11,3	12,5	14,8	19,1	19,5	23,3	13,4	15,9	20,2	22,7	20,9	22,9
II	10,8	14,3	15,0	17,6	21,8	21,5	12,9	16,2	22,4	20,9	22,6	24,9
III	11,5	14,0	16,1	18,2	20,5	20,0	11,5	15,0	19,2	24,2	21,0	23,6

3) Altura de plantas a los 60 días (cm)

Repet.	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12
I	18,3	21,5	24,0	28,2	28,5	33,3	23,4	23,9	26,6	29,9	30,9	32,6
II	17,3	23,3	25,0	27,6	30,6	31,5	22,9	24,2	27,4	31,9	29,6	30,1
III	19,0	23,0	26,0	26,1	29,7	30,0	24,5	23,0	25,8	27,0	31,0	34,2

4) Longitud de las raíces a la cosecha (cm)

Repet.	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12
I	8,9	8,9	9,8	11,1	13,8	16,2	14,0	14,6	17,2	19,0	17,5	20,5
II	8,3	9,5	8,8	12,3	14,9	17,0	12,5	15,0	16,5	20,6	18,2	19,2
III	8,6	8,9	9,3	12,6	15,1	15,4	12,2	14,2	17,0	20,1	17,7	21,2

5) Peso fresco de las hojas (g)

Repet.	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12
I	28,7	34,2	65,2	78,5	85,2	88,4	43,0	55,6	70,3	86,1	88,1	90,6
II	28,2	32,1	67,1	77,7	84,8	90,0	41,6	56,3	71,5	84,6	90,4	91,7
III	29,8	33,6	65,7	79,3	85,3	88,9	42,0	55,2	72,1	83,1	88,2	92,8

6) Peso seco de las hojas (g)

Repet.	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12
I	6,4	6,0	13,4	15,7	16,9	18,0	7,9	11,2	13,6	17,8	16,8	18,5
II	5,8	7,0	12,1	17,0	15,9	17,8	9,2	10,2	15,1	15,6	19,0	17,3
III	5,2	7,1	14,1	14,4	18,2	17,6	8,1	11,9	14,2	17,3	17,6	19,1

7) Peso fresco de los tallos (g)

Repet.	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12
I	19,2	21,2	45,6	52,2	54,8	73,1	29,6	36,3	47,7	57,9	57,8	61,4
II	18,6	23,4	43,6	54,1	56,8	71,6	27,2	38,4	46,3	56,5	59,0	59,8
III	20,1	22,0	42,8	53,6	58,8	69,5	27,8	36,6	48,5	54,8	61,1	62,4

8) Peso de la materia seca de los tallos (g)

Repet.	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12
I	2,8	2,5	5,8	7,2	6,9	9,2	4,3	4,7	6,1	7,8	7,3	7,4
II	2,6	3,2	5,2	6,8	7,8	8,7	3,6	5,1	5,8	7,4	8,1	8,0
III	2,1	3,0	6,1	6,4	7,5	10,0	3,2	4,6	6,7	6,7	7,7	8,6

9) Peso fresco de las raíces (g)

Repet.	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12
I	7,4	8,8	15,6	19,8	22,1	21,3	14,1	13,2	18,0	20,2	21,2	23,5
II	6,6	8,4	17,2	19,0	21,0	23,1	13,5	14,7	17,0	22,1	22,2	23,0
III	7,6	7,7	16,7	20,0	20,8	22,5	14,4	13,8	18,4	21,3	23,2	22,2

10) Peso de la materia seca de las raíces

Repet.	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12
I	1,5	1,6	1,5	4,1	4,1	4,6	3,1	2,4	3,7	4,7	3,9	4,1
II	1,4	1,9	1,7	3,9	4,5	4,0	2,9	3,2	3,0	4,1	4,8	4,6
III	1,3	1,6	1,9	3,7	4,3	4,9	2,4	2,8	4,1	3,8	4,5	5,1

Apéndice 5. Análisis de varianza de las variables en estudio

1. Análisis de varianza de la altura de la planta a los 20 días.

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	F.C.	Sign.
Repeticiones	0,020	2	0,010	0,104	0,9019
Cultivo (C)	198,810	1	198,810	2063,123	<0,0001
Hidrogel (H)	1,820	2	0,910	9,443	0,0011
Riegos (R)	0,160	1	0,160	1,660	0,2109
(C) x (H)	0,060	2	0,030	0,311	0,7357
(C) x (R)	0,010	1	0,010	0,104	0,7504
(H) x (R)	0,080	2	0,040	0,415	0,6653
(C) x (H) x (R)	0,080	2	0,040	0,415	0,6653
Error Experimental	2,120	22	0,096		
Total	203,160	35			

Fuente: Elaboración propia. S = 0,310 \bar{X} = 7,633 cm CV = 4,067 %

2. Análisis de varianza de la altura de la planta a los 60 días

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	F.C.	Sign.
Repeticiones	1,652	2	0,826	0,646	0,5338
Cultivo (C)	65,610	1	65,610	51,316	<0,0001
Hidrogel (H)	464,885	2	232,443	181,800	<0,0001
Riegos (R)	47,610	1	47,610	37,237	<0,0001
(C) x (H)	19,905	2	9,952	7,784	0,0028
(C) x (R)	0,250	1	0,250	0,196	0,6627
(H) x (R)	1,995	2	0,997	0,780	0,4706
(C) x (H) x (R)	2,135	2	1,067	0,835	0,4472
Error Experimental	28,128	22	1,279		
Total	632,170	35			

Fuente: Elaboración propia. S = 1,279 \bar{X} = 18,117 cm CV = 6,241 %

3. Análisis de varianza de la altura de la planta a los 60 días

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	F.C.	Sign.
Repeticiones	0,215	2	0,107	0,059	0,9433
Cultivo (C)	36,000	1	36,000	19,592	0,0002
Hidrogel (H)	486,305	2	243,153	132,328	<0,0001
Riegos (R)	46,240	1	46,240	25,165	0,0001
(C) x (H)	9,015	2	4,507	2,453	0,1092
(C) x (R)	3,610	1	3,610	1,965	0,1750
(H) x (R)	0,845	2	0,422	0,230	0,7965
(C) x (H) x (R)	10,655	2	5,327	2,899	0,0763
Error Experimental	40,425	22	1,838		
Total	633,310	35			

Fuente: Elaboración propia. S = 1,356 $\bar{X} = 26,717 \text{ cm}$ CV = 5,074 %

4. Análisis de varianza de la longitud de la raíz

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	F.C.	Sign.
Repeticiones	0,072	2	0,036	0,075	0,92767
Cultivo (C)	265,690	1	265,690	558,368	<0,0001
Hidrogel (H)	211,185	2	105,593	221,911	<0,0001
Riegos (R)	36,000	1	36,000	75,657	<0,0001
(C) x (H)	26,495	2	13,248	27,841	<0,0001
(C) x (R)	1,440	1	1,440	3,026	0,0959
(H) x (R)	4,605	2	2,302	4,839	0,0181
(C) x (H) x (R)	0,315	2	0,157	0,331	0,7217
Error Experimental	10,468	22	0,476		
Total	556,270	35			

Fuente: Elaboración propia. S = 0,690 $\bar{X} = 14,350 \text{ cm}$ CV = 4,807 %

5. Análisis de varianza de peso fresco de las hojas

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	F.C.	Sign.
Repeticiones	0,245	2	0,123	0,124	0,8842
Cultivo (C)	715,563	1	715,563	722,956	<0,0001
Hidrogel (H)	15137,885	2	7568,943	7647,152	<0,0001
Riegos (R)	637,562	1	637,562	644,150	<0,0001
(C) x (H)	368,495	2	184,247	186,151	<0,0001
(C) x (R)	18,922	1	18,922	19,118	0,0002
(H) x (R)	136,655	2	68,327	69,034	<0,0001
(C) x (H) x (R)	44,745	2	22372	22,604	<0,0001
Error Experimental	21,775	22	0,990		
Total	17081,848	35			

Fuente: Elaboración propia. S = 0,995 $\bar{X} = 67,942 \text{ cm}$ CV = 1.464 %

6. Análisis de varianza de peso seco de las hojas

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	F.C.	Sign.
Repeticiones	0,407	2	0,203	0,228	0,7981
Cultivo (C)	28,090	1	28,090	31,476	<0,0001
Hidrogel (H)	604,865	2	302,433	338,889	<0,0001
Riegos (R)	25,000	1	25,000	28,014	<0,0001
(C) x (H)	13,895	2	6,947	7,785	0,0028
(C) x (R)	0,640	1	0,640	0,717	0,4062
(H) x (R)	5,495	2	2,747	3,079	0,0662
(C) x (H) x (R)	1,865	2	0,932	1,045	0,3685
Error Experimental	19,633	22	0,892		
Total	699,890	35			

Fuente: Elaboración propia. S = 0,944 $\bar{X} = 13,583 \text{ g}$ CV = 6,955 %

7. Análisis de varianza de peso fresco de los tallos

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	F.C.	Sign.
Repeticiones	0,305	2	0,153	0,073	0,9298
Cultivo (C)	128,823	1	128,823	61,644	<0,0001
Hidrogel (H)	7825,805	2	3912,903	1872,406	<0,0001
Riegos (R)	540,562	1	540,562	258,670	<0,0001
(C) x (H)	373,145	2	186,572	89,279	<0,0001
(C) x (R)	12,602	1	12,602	6,031	0,0224
(H) x (R)	16,485	2	8,242	3,944	0,0344
(C) x (H) x (R)	135,485	2	67,742	32,416	<0,0001
Error Experimental	45,975	22	2,090		
Total	9079,188	35			

Fuente: Elaboración propia. S = 8,229 $\bar{X} = 46,392 \text{ g}$ CV = 3,166 %

8. Análisis de varianza de peso seco de los tallos

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	F.C.	Sign.
Repeticiones	0,015	2	0,008	0,031	0,9698
Cultivo (C)	2,403	1	2,403	9,852	0,0048
Hidrogel (H)	132,405	2	66,203	271,473	<0,0001
Riegos (R)	8,703	1	8,703	35,686	<0,0001
(C) x (H)	6,305	2	3,153	12,927	0,0002
(C) x (R)	0,203	1	0,203	0,830	0,3720
(H) x (R)	0,245	2	0,123	0,502	0,6119
(C) x (H) x (R)	2,085	2	1,043	4,275	0,0270
Error Experimental	5,365	22	0,244		
Total	157,728	35			

Fuente: Elaboración propia. S = 0,494 $\bar{X} = 6,025 \text{ g}$ CV = 8,196 %

9. Análisis de variancia de peso fresco de la raíz

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	F.C.	Sign.
Repeticiones	0,527	2	0,263	0,464	0,6350
Cultivo (C)	70,560	1	70,560	124,252	<0,0001
Hidrogel (H)	810,485	2	405,243	713,607	<0,0001
Riegos (R)	21,160	1	21,160	37,261	<0,0001
(C) x (H)	52,755	2	26,377	46,449	<0,0001
(C) x (R)	0,360	1	0,360	0,634	0,4344
(H) x (R)	13,445	2	6,722	11,838	0,0003
(C) x (H) x (R)	0,855	2	0,427	0,753	0,4828
Error Experimental	12,493	22	0,568		
Total	982,640	35			

Fuente: Elaboración propia. S = 0,754 \bar{X} = 17,267 g CV = 4,364 %

10. Análisis de variancia de peso seco de la raíz

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	F.C.	Sign.
Repeticiones	0,052	2	0,026	0,176	0,8397
Cultivo (C)	6,003	1	6,003	40,905	<0,0001
Hidrogel (H)	31,065	2	15,533	105,849	<0,0001
Riegos (R)	3,063	1	3,063	20,870	0,0002
(C) x (H)	2,345	2	1,173	7,990	0,0025
(C) x (R)	0,902	1	0,902	6,150	0,0213
(H) x (R)	3,005	2	1,503	10,239	0,0007
(C) x (H) x (R)	1,085	2	0,542	3,697	0,0413
Error Experimental	3,228	22	0,147		
Total	50,748	35			

Fuente: Elaboración propia. S = 0,383 \bar{X} = 3,325 g CV = 11,521 %

Apéndice 6. Vistas del proceso de la investigación



Habilitación de la mesa de trabajo



Habilitación de las macetas



Preparación del sustrato



Adición del hidrogel al sustrato



Mezcla del hidrogel con el sustrato



Instalación del experimento



Plantas de espinaca en crecimiento



Plantas de nabo en crecimiento



Medida de la altura de plantas de espinaca



Medida de la altura de plantas de nabo



Plantas cosechas de espinaca



Plantas cosechadas de nabo



Evaluación de plantas cosechadas de espinaca



Evaluación de plantas cosechadas de nabo



Registro de datos de la cosecha de nabo



Registro de datos de la cosecha de espinaca