

Universidad Autónoma de Sinaloa
Colegio de Ciencias Agropecuarias
Facultad de Agronomía
Maestría en Ciencias Agropecuarias



TESIS:

“TEXTURA DEL SUELO: INFLUENCIA EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL CULTIVO DE CEBOLLA (*Allium cepa* L.)”

Que para obtener el grado de Maestro en Ciencias Agropecuarias

PRESENTA:

JOSÉ OSCAR ARMENTA AYALA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. GUADALUPE ALFONSO LÓPEZ URQUÍDEZ

CO-DIRECTOR DE TESIS:


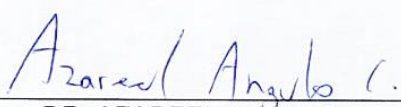


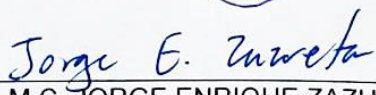
DR. AZAREEL ANGULO CASTRO

Culiacán, Sinaloa, México, junio de 2023

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR **JOSÉ OSCAR ARMENTA AYALA**, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR	 DR. GUADALUPE ALFONSO LÓPEZ URQUIDEZ
CO-DIRECTOR	 DR. AZAREEL ANGULO CASTRO
ASESOR	 DR. CARLOS ALFONSO LÓPEZ ORONA
ASESOR	 DR. MARTÍN ABRAHAM TIRADO RAMÍREZ
ASESOR	 M.C. JORGE ENRIQUE ZAZUETA LÓPEZ

CULIACÁN, SINALOA, JUNIO DE 2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Culiacán, Sinaloa el día 26 del mes junio del año 2023, el que suscribe José Oscar Armenta Ayala alumno (a) del Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias con número de cuenta 97500003, de la Unidad Académica Facultad de Agronomía, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Guadalupe Alfonso López Urquidez y el Dr. Azareel Angulo Castro cede los derechos del trabajo titulado "TEXTURA DEL SUELO: INFLUENCIA EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL CULTIVO DE CEBOLLA (*Allium cepa* L.)", a la Universidad Autónoma de Sinaloa para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



José Oscar Armenta Ayala



Dirección General de Bibliotecas



U n i v e r s i d a d A u t ó n o m a d e S i n a l o a

REPOSITORIO INSTITUCIONAL

UAS- Dirección General de Bibliotecas

**Repositorio Institucional Restricciones
de uso**

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

**Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-
Compartir Igual, 4.0 Internacional.**



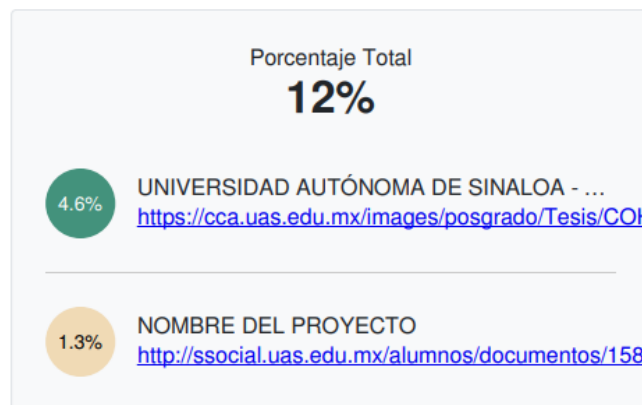
ANÁLISIS ANTIPLAGIO

El presente documento titulado "TEXTURA DEL SUELO: INFLUENCIA EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL CULTIVO DE CEBOLLA (*Allium cepa* L.)" fue sometido al software antiplagio viper, el cual presentó un aproximado de 12% de similitud con otros escritos, lo cual es considerado como óptimo para su publicación sin considerarse como plagio.



Informe del Detector de Plagio Viper

Tesis Jose Oscar Armenta Ayala.pdf **escaneado Jun**



DEDICATORIA

A MIS PADRES:

José Oscar Armenta Barreras y María Isabel Ayala García

Porque con el fruto de su amor me brindaron la oportunidad de estar en este mundo. Por sus apoyos incondicionales y consejos valiosos que me permitieron superar momentos difíciles y de desesperación; por inculcarme el respeto, la humildad, la gratitud y el perdón; y por ser la guía hacia el camino del bien y la fortaleza para superar obstáculos y alcanzar mis metas.

A MI ESPOSA:

Iliana Castillo Maldonado

Por el amor y apoyo incondicional que me da en todo momento, por estar ahí siempre que es necesario, y por ser la principal motivadora de mi desarrollo y crecimiento como persona. Te Amo.

A MIS HIJOS:

Insel Anit Armenta Aguilera, María José Armenta Aguilera, Oscar Elián Armenta Castillo y Maryam Gissel Hernández Castillo, que son el regalo más hermoso que Dios me ha dado.

A LA FAMILIA

Por estar presentes siempre en mi corazón, tenerme siempre en buen aprecio a mi persona. A los que ya partieron al descanso eterno, y que siempre los llevo conmigo, porque con su vida dejaron huella en mí.

A todas las personas que influyeron en mí para escalar un peldaño más en mi vida profesional.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la vida, la salud y la fortaleza que me brinda día a día para seguir mis metas; por las bendiciones recibidas y por permitirme disfrutar lo maravilloso de la vida y escalar un peldaño más en mi vida profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado durante el periodo de mi formación académica.

Al Colegio de Ciencias Agropecuarias por abrirme las puertas y acogerme entre sus muros de sabiduría.

A la entrañable Facultad de Agronomía, y a la Universidad Autónoma de Sinaloa por todo lo que han representado en mi vida.

Al Dr. Guadalupe Alfonso López Urquídez, por su apoyo incondicional y sugerencias durante mi formación académica y desarrollo del trabajo de investigación. Además, por sus valiosos conocimientos, tiempo y entusiasmo compartido.

Al Dr. Azareel Angulo Castro, por sus acertadas sugerencias y entusiasmo en el trabajo de investigación; por sus valiosos consejos, tiempo y conocimientos compartidos.

Al Dr. Carlos Alfonso López Orona, por su apoyo incondicional para el acceso a estos estudios, por sus conocimientos compartidos, y sugerencias en los escritos.

Al Dr. Martín Abraham Tirado Ramírez, por sus aportes y sugerencias para el correcto desarrollo de este trabajo de investigación, por la disposición mostrada en todo momento.

Al M.C. Jorge Enrique Zazueta López, por compartir sus conocimientos de la profesión y de la vida, por hacer más amena la realización de experimento y apoyarme en todo este proceso de estudios.

También quiero agradecer a todos los compañeros y amigos que de una u otra manera contribuyeron conmigo para la realización de este trabajo de investigación, y que me apoyaron para lograr culminar con un proyecto profesional más en mi vida.

CONTENIDO

	PÁGINA
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	3
III. HIPÓTESIS	4
IV. OBJETIVOS	4
4.1. Objetivo General	4
4.2. Objetivos Específicos	4
V. REVISIÓN DE LITERATURA	5
5.1. La Cebolla	5
5.1.1. Morfología de la cebolla	5
5.1.2. Clasificación botánica	6
5.1.3. Crecimiento de cebolla	6
5.1.4. Importancia económica	7
5.2. Requerimientos ambientales para el cultivo de cebolla	7
5.2.1. Temperatura	8
5.2.2. Fechas de siembra	8
5.2.3. Fotoperiodo	9
5.2.4. Requerimiento hídrico de la cebolla	10
5.3. Suelo	10
5.3.1. Textura del suelo	11
5.3.2. Permeabilidad del suelo	13
5.3.3. Retención de agua en el suelo	13
5.3.3.1. Punto de saturación	14
5.3.3.2. Capacidad de campo	15
5.3.3.3. Punto de marchitamiento permanente	15
5.3.4. Infiltración del agua en el suelo	16

5.3.5. Conductividad hidráulica	17
5.3.6. Tensión de humedad en el suelo	17
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	19
6.1. Localización del experimento	19
6.2. Suelo	20
6.3. Clima	20
6.4. Riego	20
6.5. Material Vegetal	21
6.6. Trasplante de Bulbo	21
6.7. Fertilización	21
6.8. Manejo de Enfermedades	22
6.9. Manejo de Malezas	22
6.10. Manejo de Plagas	23
6.11. Variable de Respuesta	23
6.12. Cosecha	24
6.13. Diseño Experimental	24
6.14. Análisis Estadístico	25
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
7.1. Frecuencia de Riego	28
7.2. Análisis de los Tratamientos en Conjunto	29
7.2.1. Análisis de ordenación	29
7.2.2. Análisis de clasificación aglomerativa y jerárquica	31
7.3. Análisis de las Variables DE, DP y Peso del Bulbo de Cebolla	35
7.4. Frecuencia de Riego A	41
7.4.1. Peso del bulbo de cebolla	41
7.4.2. Diámetro ecuatorial del bulbo de cebolla	42
7.4.3. Diámetro polar del bulbo de cebolla	43
7.4.4. Firmeza del bulbo de cebolla	44
7.4.5. Grados Brix del bulbo de cebolla	45
7.4.6. Peso del bulbo seco de cebolla	46
7.4.7. Relación diámetro polar y diámetro ecuatorial del bulbo	

de cebolla	47
7.4.8. Relación peso húmedo/peso seco del bulbo de cebolla.....	48
7.5. Frecuencia de Riego B	50
7.5.1. Peso del bulbo de cebolla	50
7.5.2. Diámetro ecuatorial del bulbo de cebolla	51
7.5.3. Diámetro polar del bulbo de cebolla	52
7.5.4. Firmeza del bulbo de cebolla	53
7.5.5. Gardos Brix del bulbo de cebolla	54
7.5.6. Peso del bulbo seco de cebolla	55
7.5.7. Relación diámetro polar y diámetro ecuatorial del bulbo de cebolla	56
7.5.8. Relación peso húmedo/peso seco del bulbo de cebolla	57
VIII. CONCLUSIONES	59
IX. LITERATURA CITADA	60

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Clasificación taxonómica de la cebolla	6
2	Fuente y dosis Steiner de nutrición aplicados para el desarrollo de la cebolla	22
3	Porcentaje de arena-limo-arcilla de cada textura usada en el experimento	24
4	Distribución de unidades experimentales para cada tratamiento en una repetición	25
5	Prueba z para dos muestras independientes/Prueba bilateral (Significancia estadística) de dos frecuencias de riego en cebolla	29
6	Características de los grupos conformados en el dendrograma de clasificación	32
7	Análisis de varianza entre tratamientos de las variables de respuesta DE, DP y peso.	36
8	Comparación de medias entre tratamientos para la variable diámetro ecuatorial (DE) por Tukey con un alfa igual a $p \leq 0.05$	36
9	Comparación de medias entre tratamientos para la variable diámetro polar (DP) por Tukey con un alfa igual a $p \leq 0.05$	37
10	Comparación de medias entre tratamientos para la variable peso del bulbo (Peso) por Tukey con un alfa igual a $p \leq 0.05$	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las partículas, de acuerdo con la (USDA, 1977)	12
2	Localización del campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa	19
3	Análisis de componente principales de los 24 tratamiento bajo estudio, de acuerdo con las variables estudiadas	30
4	Dendrograma de clasificación de los 24 tratamientos con base en las variables del bulbo de las cebollas estudiadas	31
5	Relación del peso promedio del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario	42
6	Relación del promedio de diámetro ecuatorial del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario	43
7	Relación del diámetro polar del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario	44
8	Relación de la firmeza del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario	45
9	Relación de los grados Brix del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario	46
10	Relación del peso seco del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario	47
11	Correspondencia entre la relación del diámetro polar y el diámetro ecuatorial con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario	48
12	Correspondencia entre la relación del peso húmedo del bulbo y el peso seco del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario	49
13	Relación del peso del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego discontinuo	51

14	Relación del diámetro ecuatorial del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego discontinuo	52
15	Relación del diámetro polar del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego discontinuo	53
16	Relación de la firmeza del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego discontinuo	54
17	Relación de los grados Brix del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego discontinuo	55
18	Relación del peso seco del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego discontinuo	56
19	Correspondencia entre la relación del peso húmedo del bulbo y el peso seco del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego discontinuo	57
20	Relación del peso del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego discontinuo	58

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se llevó a cabo un experimento donde debido a la importancia del cultivo de cebolla a nivel mundial se estudió la influencia que tienen las diferentes clases texturas que se conocen, así como también la influencia de dos intervalos de riego distintas, esto con la finalidad de determinar en qué tipo de texturas, y en que intervalos de riego se tenían los mejores rendimientos de este cultivo, así como también identificar en cuál de las texturas y en que riegos se tenía la cebolla de mejor calidad. El experimento se llevó a cabo en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de Universidad Autónoma de Sinaloa, éste se implementó en un invernadero, donde se colocaron las unidades experimentales que constaron de jabas llenas de las diferentes texturas usadas, donde se sembraron 12 bulbos de cebolla en cada jaba, para el riego se implementó un sistema de riego por goteo, aprovechándose esto para aplicar la fertilización por este medio, también cabe mencionar que el control de plagas, enfermedades y malezas se realizó satisfactoriamente. El diseño experimental fue un arreglo factorial donde se tuvieron 12 clases texturales y dos frecuencias de riego distintas, de modo que se analizaron 24 tratamientos, con 4 repeticiones. Las variables de respuesta fueron peso del bulbo, diámetro ecuatorial del bulbo (DE), diámetro polar del bulbo (DP), grados Brix, firmeza del bulbo, peso seco del bulbo, DP/DE, relación entre peso seco y peso húmedo del bulbo de cebolla. Se pudo observar que en general los bulbos de cebolla en la mayoría de los tratamientos con frecuencia de riego diario presentaron mejores rendimientos y mejor calidad. Sin embargo, también se determinó que la cebolla se puede desarrollar de manera adecuada en cualquier suelo mientras este tenga suficiente humedad, ya que esto mantiene el suelo blando y el agua disponible para el cultivo.

Palabras clave: Cebolla; textura del suelo; frecuencia de riego.

ABSTRACT

In the present research work, an experiment was carried out where, due to the importance of onion cultivation worldwide, the influence of the different classes of textures that are known was studied, as well as the influence of two different irrigation intervals, this with the purpose of determining in which type of textures, and in which irrigation intervals the best yields of this crop were had, as well as to identify in which of the textures and in which irrigations the best quality onion was had. The experiment was carried out in the experimental field of the Faculty of Agronomy of the Autonomous University of Sinaloa, it was implemented in a greenhouse, where the experimental units were placed, consisting of crates filled with the different textures used, where 12 bulbs were planted. of onion in each box, for irrigation a drip irrigation system was implemented, taking advantage of this to apply fertilization by this means, it is also worth mentioning that the control of pests, diseases and weeds was carried out satisfactorily. The experimental design was a factorial arrangement where there were 12 textural classes and two different irrigation frequencies, so that 24 treatments were analyzed, with 4 repetitions. The response variables were bulb weight, bulb equatorial diameter (DE), bulb polar diameter (DP), degrees Brix, bulb firmness, bulb dry weight, DP/DE, ratio between bulb dry weight and wet weight. of onion. It was possible to observe that in general the onion bulbs in most of the treatments with daily irrigation frequency presented better yields and better quality. However, it was also determined that onion can develop adequately in any soil as long as it has sufficient moisture, since this keeps the soil soft and water available for cultivation.

Key words: Onion; soil texture; irrigation frequency.

I. INTRODUCCIÓN

Son muchos los factores que intervienen en el rendimiento de cualquier cultivo, específicamente en la cebolla, se deben considerar los siguientes: la época de cosecha (Rodríguez *et al.*, 1998); el coeficiente del cultivo, suministro de riego (Álvarez *et al.*, 2017); la temperatura (McClung y Seth, 2010) y la humedad en el suelo (Estrada *et al.*, 2015).

El suelo es la parte superficial de la capa terrestre y cuenta con componentes minerales, orgánicos, líquidos y gaseosos, que en conjunto sirven de sostén a las plantas y soporte a sus raíces permitiéndoles tomar lo necesario para su desarrollo según la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000). Dentro de las propiedades del suelo están las físicas (estructura, textura, porosidad, color, permeabilidad, profundidad efectiva, drenaje) y las químicas (pH, fertilidad, macronutrientes, micronutrientes, materia orgánica) (Villasanti, *et al.*, FAO, 2013); cada una con una función específica pero estrechamente relacionadas entre sí.

La textura del suelo se relaciona directamente con los procesos de degradación y potencial de producción (White, 2005). La textura del suelo está determinada por la proporción relativa y tamaño de partículas de arena, limo y arcilla, las cuales, al combinarse, generan las clases texturales esto según la SEMARNAT (2000). Además, las propiedades del suelo como la densidad aparente, la porosidad, el movimiento y el almacenamiento de fluidos (agua y aire) en el suelo, son influenciados por su textura (Lacasta *et al.*, 2005).

La textura es una de las propiedades físicas del suelo más estable, ya que puede permanecer constante por años y determina su permeabilidad, la capacidad de retención de humedad, la plasticidad o adhesividad, la aireación, las condiciones de labranza, la capacidad de intercambio catiónico y la fertilidad (Castro, 1998). La capacidad de almacenamiento y movimiento del agua en el suelo depende de las proporciones de arcilla y de arena (Porta *et al.*, 2003; Henríquez y Cabalceta, 2012). Esto es muy importante pues, el contenido de humedad en el suelo es fundamental

para el desarrollo y crecimiento de las plantas (Porta *et al.*, 2003), de modo que la textura influye directamente en el desarrollo de los cultivos.

Según Bekele y Tilahun (2007) un adecuado suministro de agua aumenta los rendimientos de cebolla hasta en un 200 %. Por esa razón es importante conocer las potencialidades del uso del agua en diferentes escenarios de suministro, para programar adecuadamente el riego en esta hortaliza (Duarte *et al.*, 2012).

El bulbo es la parte comercial de la cebolla, y este se encuentra en el suelo, de tal forma que su buen desarrollo es influenciado por la textura del suelo. En CSIRO (1979) se anota que las características del suelo influyen en la capacidad de la planta para extraer agua y nutrientes. Para que las plantas se desarrollen a su máximo potencial genético, el suelo debe ser el adecuado para el crecimiento de estas. Esto incluye:

- a) Una buena estructura de este y un equilibrio entre los minerales, la materia orgánica y el aire que conforman dicho suelo.
- b) El suelo proporciona el lugar donde las raíces de las plantas se anclan y crecen.
- c) Contiene el agua en la que los nutrientes de las plantas del suelo se transforman en iones, que son la forma que la planta puede utilizar.
- d) Mantiene el espacio de aire que evita que la planta se llene de agua.
- e) Contiene los elementos químicos que determinan el pH, la salinidad y la dispersividad del suelo.

A partir de lo anterior, con la presente investigación se buscó conocer la influencia de la textura del suelo en el rendimiento y calidad del cultivo de cebolla blanca bajo dos intervalos de riego.

II. JUSTIFICACIÓN

El cultivo de cebolla es uno de los más importantes a nivel mundial debido a su importancia nutrimental para el ser humano, por este motivo la superficie dedicada a esta hortaliza en el mundo es grande, teniendo como principal productor a China FAOSTAT (2019). En lo relacionado con México, este se encuentra entre los primeros 20 lugares en producción de cebolla FAOSTAT (2019), y con rendimientos muy bajos en algunos estados como Hidalgo, Guerrero, Morelos y Oaxaca que tienen rendimientos menores a las 20 t ha⁻¹ SIAP (2020), sin embargo, debido a los climas y suelos de uso agrícola que se tienen en el resto de México, y haciendo un uso eficiente del agua de riego, es factible estar entre los primeros 5 países productores de esta hortaliza, además con rendimientos cercanos a los mejores.

Son muchas las variables que influyen en los rendimientos del cultivo de cebolla, en el presente trabajo de investigación se analizan los rendimientos de esta hortaliza en 12 diferentes texturas de suelo y bajo dos láminas de riego, para estimar cuál es la mejor textura para obtener buena calidad y altos rendimientos de cebolla. Esto dará la posibilidad de ampliar la superficie sembrada con este cultivo y así generar fuentes de empleo, debido a que en este cultivo se requiere de mucha mano obra durante las diferentes etapas de su desarrollo.

III. HIPÓTESIS

La textura del suelo y el intervalo de riego influyen en el rendimiento y calidad del cultivo de cebolla blanca.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Estimar la influencia de la textura del suelo en el rendimiento y calidad del cultivo de cebolla blanca, bajo dos intervalos de riego.

4.2. Objetivos Específicos

1. Determinar el efecto de la textura del suelo sobre el rendimiento y calidad de la cebolla.
2. Determinar el efecto de la frecuencia del riego sobre el rendimiento y la calidad de la cebolla.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. La Cebolla

Aunque la domesticación de la cebolla se ha realizado en varios lugares del mundo, se sabe que es originaria de Asia central (Locascio, 2005). Se puede deducir que la cebolla primeramente fue domesticada en las regiones montañosas de Turkmenistán y norte de Irán, de ahí que el suroeste de Asia sea considerado su centro de domesticación y variación. Además, está la región del Mediterráneo es de gran diversidad, a la cual se le considera como centro de origen secundario (Brewster, 2008). Por lo anterior, se puede decir que la cebolla se ha desarrollado en condiciones de clima desértico, por lo tanto, con oscilaciones térmicas muy extremas y poca agua, como las que ocurren en montañas de Turkmenistán. También se han desarrollado bajo las condiciones del clima Mediterráneo, el cual es templado con lluvias principalmente en invierno. Esto sugiere un mejor desarrollo de la cebolla en condiciones de temperaturas bajas (Brewster, 2008).

5.1.1. Morfología de la Cebolla

Según Mata (2011), la cebolla tiene un sistema de raíces conformado por muchas raicillas fasciculadas de color blanquecino y poco largor y estas salen a partir del tallo, que tiene forma de disco. De este surgen las hojas, las cuales se componen de dos partes bien diferenciadas: una basal formada por las “vainas foliares” engrosada que le sirven de órgano de reserva; otra terminal formada por el “filodio” que es la parte verde y fotosintéticamente activa de la planta. Las vainas foliares engrosadas forman las “túnicas” del bulbo, las más externas son apergaminadas y sirven como protectoras del resto del bulbo.

El fruto de la cebolla es una cápsula con tres caras de ángulos redondeados. Las semillas son pequeñas e irregulares de aproximadamente 2 mm de longitud de color negro.

5.1.2. Clasificación Botánica

La cebolla pertenece a la familia de las Amaryllidaceas y su clasificación taxonómica completa se muestra en a continuación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la cebolla.

Nivel taxonómico	Nombre
Reino	Plantae
Subreino	Viridiniplantae
Infrareino	Streptophyta
Superdivisión	Embryophyta
División	Tracheophlyta
Subdivisión	Spermatophytina
Clase	Magnoliopsida
Superorden	Lilianaes
Orden	Asparagales
Familia	Amaryllidaceae
Género	Allium L.
Especie	<i>Allium cepa</i> L.

Fuente: Integrated Taxonomic Information System (ITIS,2021)

5.1.3. Crecimiento de Cebolla

La cebolla es una planta bianual que tiene la característica de entrar en dormancia, para ello forma un bulbo de almacenamiento que usa para tener los nutrientes y la energía para la etapa reproductiva. Dicha dormancia es causada por procesos propios de la cebolla y por factores ambientales externos, pero los procesos que ocurren en la especie para salir de esta etapa aún no están bien estudiados, aunque se sabe que en el bulbo de la cebolla ocurre una serie de cambios bioquímicos y fisiológicos, lo que incluye el contenido de agua, la concentración del sabor, carbohidratos, minerales y reguladores de crecimiento (Chope *et al.*, 2012).

Sasikala y Pal (2013) analizaron los patrones de crecimiento desarrollo de diez variedades de cebolla a 45, 60, 75, 90 y 105 días después del trasplante (DDT), cuyos resultados indicaron que en el período entre 45 y 90 DDT es el período más importante para fijar el peso, el diámetro del bulbo y su rendimiento.

5.1.4. Importancia Económica

El principal productor de cebolla a nivel mundial es China, con una producción de 24 966 366 t, seguido por la India con 22 819 000 t, Estados Unidos con 3 170 270 t y Egipto con una producción de 3 081 047 t, mientras que en México se producen 1 487 102 t según datos de FAOSTAT (2019).

De acuerdo con el SIAP (2021), en México se cosechó un total de 48 043.88 ha con una producción de 1 451 249.99 t. Los principales estados productores de esta hortaliza a nivel nacional en el ciclo Otoño-Invierno (O-I) en 2022, fueron Chihuahua con 296 271.38 t, Zacatecas con 215 985.44 t, Guanajuato con 197 882.29 t, mientras que Sinaloa tuvo una producción de 38 323.43 t.

Además, en Guanajuato se destinó la mayor superficie en el año 2022 ciclo O-I, con 7505.5 ha, seguido de Baja California con 5846.64 ha y en tercer lugar Chihuahua con 5 609 ha, mientras que Sinaloa destinó 1961.49 ha (SIAP, 2021).

En cuanto a rendimiento, el primer lugar lo ocupa el estado de Chihuahua con 52.82 t ha⁻¹, seguido de Coahuila con 45.4 t ha⁻¹, después Durango con 43.08 t ha⁻¹, y mientras que en Sinaloa se tiene un rendimiento de 19.54 t ha⁻¹ muy por debajo de los principales estados (SIAP, 2021).

5.2. Requerimientos Ambientales para el Cultivo de Cebolla

Las plantas cultivadas pueden estar expuestas a estrés provocado por un medioambiente adverso, situación que puede prevalecer durante meses, como la poca disponibilidad de nutrientes minerales; o por días por déficit de agua; o por minutos como son las variaciones bruscas por temperatura, ante lo cual las plantas responden de diferentes formas, tales como presentar deficiencias nutrimentales o tallos y hojas flácidas por la falta de agua (Reynolds-Henne *et al.*, 2010).

La tolerancia a los factores ambientales es variable según el tipo de vegetal que se trate. Para el caso de la cebolla tiene gran tolerancia a las variaciones de temperatura, aunque tiene su punto óptimo para cada factor. Es importante conocer los factores como longitud del día, temperatura y variedad que influyen para que la cebolla forme un bulbo de almacenamiento que le permite sobrevivir en condiciones de bajas temperaturas (Wien, 2006) y poca disponibilidad de agua.

5.2.1. Temperatura

Entre los principales factores que afectan el rendimiento de las plantas está la temperatura. Esto es consecuencia de su variabilidad y a que las plantas tienen que adaptarse a diferentes temperaturas máximas y mínimas para cada región, de modo que estas requieren pasar por una etapa de aclimatación mediante adecuaciones bioquímicas y fisiológicas, que incluyen modificaciones en la membrana celular y el incremento en la cantidad de azúcares y proteínas solubles (McClung y Seth, 2010).

La bulbificación en la cebolla es influenciada directamente por la temperatura, debido a que este proceso ocurre cuando llega a acumular determinada cantidad de unidades calor (Lancaster *et al.*, 1996), lo cual depende de la variedad, al ser la cebolla un cultivo que se ha ido adaptando a distintas condiciones climáticas (Tapia, 1999).

5.2.2. Fechas de siembra

Dentro de los factores más importantes a considerar para obtener altos rendimientos del cultivo de cebolla es importante seleccionar la fecha de siembra adecuada para el clima y medioambiente del área de producción (Ikeda *et al.*, 2019). Por ejemplo, Gautam *et al.* (2006) al evaluar cuatro fechas de trasplante de cebolla dentro de un período fuera de temporada, encontraron diferencia estadística significativa en el rendimiento, ya que en una de las variedades se obtuvo mayor rendimiento. Esto es, que, aunque no era la temporada especificada para la siembra de cebolla, una

fecha fue mejor que las otras, lo cual puede ser una alternativa de siembra a consideración de los precios del mercado.

En un experimento realizado por Lancaster *et al.* (1996) se midieron el diámetro del bulbo, el cuello y el número de hojas en el cultivo de cebolla en diferentes fechas de siembra, evaluando tres variedades en dos lugares diferentes en Nueva Zelanda. El diámetro del bulbo se relacionó con el tiempo térmico acumulado antes del bulbo. Y encontraron que el bulbo solo se formó cuando se alcanzaron umbrales dobles de un tiempo térmico mínimo de 600 grados días y un fotoperiodo de 13.75 h. El tamaño final del bulbo podría predecirse a partir del tiempo en que inicie la bulbificación y la cantidad de hojas producidas después de ese proceso.

En un estudio de Carruso *et al.* (2014) se evaluaron los efectos de cuatro tiempos de trasplante en combinación con tres densidades de siembra sobre el crecimiento, la productividad y la calidad del bulbo. Encontraron que el rendimiento del cultivo, el peso medio del bulbo y el calibre disminuyeron gradualmente desde el inicio del trasplante hasta el final de este. Los indicadores de calidad del bulbo respondieron de manera diferente al tiempo de trasplante: peso seco, glucosa, fructosa, rafinosa, ácido cítrico y málico y el contenido de vitamina C no cambió; el contenido de sólidos solubles, la sacarosa y el ácido oxálico aumentaron entre el 1 de febrero y el 18 de marzo, mientras que el contenido de ácido pirúvico, calcio, cloruros y nitratos disminuyó. La secuencia de los tiempos de trasplante dio como resultado un patrón complejo de variaciones de la composición mineral y del contenido de aminoácidos libres de los bulbos.

5.2.3. Fotoperiodo

El fotoperiodo también influye en el proceso de formación del bulbo de la cebolla (Lancaster *et al.*, 1996; Mata *et al.*, 2011). Al ser el fotoperíodo un factor que depende directamente de la latitud del lugar, en México son más recomendables las variedades de planta con fotoperiodo corto (Mata *et al.*, 2011).

La intensidad luminosa está directamente relacionada con la cantidad de luz en el día, por lo que, si el día es corto, la cantidad de luz es baja, al ser percibido esto por las hojas de la planta, estas mandan señales a otras partes de la planta, iniciando en el caso de la cebolla su muerte progresiva, pasando por la eliminación de las hojas y entrando a la dormancia (Chope *et al.*, 2012).

5.2.4. Requerimiento hídrico de la cebolla

La importancia de conocer la necesidad de agua que tienen los cultivos es trascendental. Ante ello, conocer la evapotranspiración se puede tener un balance entre el agua que está en el suelo y el agua que requiere la planta. Esto permitirá calendarizar la frecuencia del riego y la duración de estos, de tal forma que si al cultivo no se le proporciona el agua en la cantidad y los intervalos adecuados, se puede generar un estrés hídrico en estos cultivos y, por lo tanto, una reducción en su rendimiento (Graham *et al.*, 2016).

La evapotranspiración (ET) es la suma de la evaporación y la transpiración; ambos procesos, ocurren de manera simultánea y es difícil distinguir entre ellos (Maselli *et al.*, 2020). El uso consuntivo de la cebolla depende del tipo de cebolla, del clima, del suelo y del tipo de riego utilizado. En España, al usar riego por goteo se reportan requerimientos de 662 mm para el mejor rendimiento del cultivo de cebolla (Al-Jamal *et al.*, 2000 y De Santa Olalla *et al.*, 2004). Otros autores encontraron que el requerimiento idóneo es de 893 mm para riego por microaspersión (López-Urrea *et al.*, 2006). En Baja California, el requerimiento de agua es de 720 mm en los meses de marzo a agosto para la cebolla (Guzmán *et al.*, 2008).

5.3. Suelo

El suelo es el medio poroso, trifásico, en el cual las plantas pueden desarrollar las raíces y, en el caso de la cebolla, es el soporte para el bulbo. La fase sólida del suelo ocupa más o menos un volumen fijo (entre el 30 y 60 % del total del volumen

del suelo, dependiendo de la textura. El resto del volumen es la fracción porosa conformada por el agua (fracción líquida) y el aire (fracción gaseosa) se complementan dinámicamente: esto es, al agregar agua al suelo, algo de aire escapa a la atmósfera circundante y, por el contrario, al retirarse agua del suelo, aire adicional penetra a este. Además, el suelo posee muchas propiedades adicionales como: ser sostén de las plantas, el abastecimiento de nutrientes, retención de humedad, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, conductividad hidráulica, infiltración. El suelo también puede ser un factor limitante cuando se tienen problemas de salinidad, mal drenaje, compactación, microorganismos patógenos, pH, entre otros (Scheuer, 2007).

La productividad de los cultivos se encuentra directamente relacionada con las propiedades físicas del suelo como densidad aparente, textura y porosidad, entre otras, porque estas modifican de diferentes formas el almacenamiento de agua en el suelo y su movimiento. (Silva, Acevedo, y Silva, 2000).

5.3.1. Textura del suelo

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de las clases de tamaño de partícula (o separaciones de suelo, o fracciones) en un volumen de suelo dado y se describe como una clase textural de suelo. Los nombres para las clases de tamaño de partícula corresponden estrechamente con la terminología estándar comúnmente utilizada, incluida aquella del sistema utilizado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) (FAO, 2009).

La textura interviene directamente sobre la permeabilidad, la estabilidad estructural, la reserva hídrica, la sensibilidad a la erosión y la actividad química del suelo (Dregne, 1976). La textura es la propiedad física más estable del suelo debido a que no sufre modificaciones significativas en un período largo de años y que sirve comúnmente como criterio para determinar la permeabilidad e infiltración en el suelo, por ello es determinante en el desarrollo de las plantas. Dependiendo de la

textura del suelo, será la capacidad que este tenga para retener humedad, la plasticidad o adhesividad, la aireación, las condiciones de labranza, la capacidad de intercambio catiónico y la fertilidad (Castro, 1998). La textura es un factor que afecta a muchos aspectos que intervienen en el desarrollo de las plantas, por lo que es imprescindible conocer sus efectos.

De acuerdo con el tamaño de las partículas, al suelo se le ha clasificado en las clases texturales (Figura 1) ordenadas según el aumento de las proporciones de las partículas finas y son: arenosa, arenosa franca, franca, franca limosa, limosa, franco arcillo limosa, franco arcillosa, arcillo arenosa, arcillo limosa, y arcillosa. Para fines prácticos las clases texturales se disponen en grupos texturales, teniendo en cuenta su similitud en el comportamiento hidráulico, quedando como texturas gruesas, moderadamente gruesas, medias, moderadamente finas y finas (Castro, 1998).

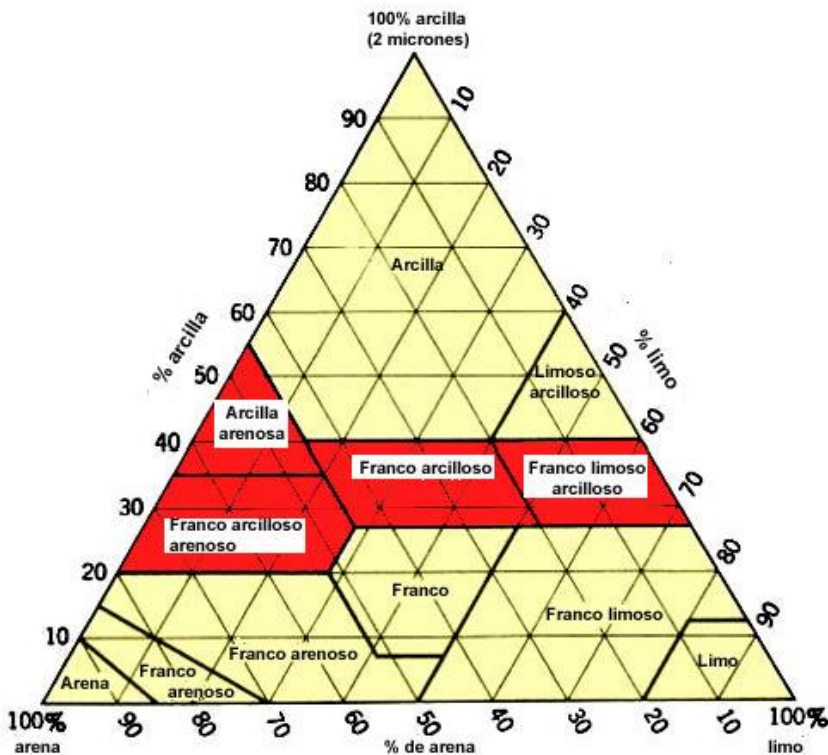


Figura 1. Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las partículas, de acuerdo con la (USDA, 1977).

Los suelos orgánicos, ligeros de texturas arenosas, limosas y limo-arenosas son propicios para el buen desarrollo del cultivo de cebolla. En cambio, los suelos de texturas arcillosas no se recomiendan para este cultivo, debido a que pueden deformar el bulbo de la cebolla o generar un mal desarrollo de la planta (Rosas, 2009).

5.3.2. Permeabilidad del suelo

La permeabilidad de los suelos se refiere a la facultad con la que el agua pasa a través de los poros de este. (Angelone *et al.*, 2006) también expresa que, la permeabilidad es la propiedad del suelo que permite que el agua fluya a través de él. La permeabilidad ocurre en todos los suelos en mayor o menor medida, de modo que cuentan con valores específicos para el coeficiente de permeabilidad, los cuales dependen de la viscosidad del fluido, el grado de saturación, el índice de huecos, el tamaño y la forma de las partículas y los poros (Roth *et al.*, 2006).

5.3.3. Retención de agua en el suelo

Es importante conocer de la capacidad de retención de humedad del suelo para realizar investigar la relación que existe entre el agua y el suelo. Esta afecta directamente a la infiltración, el drenaje, el flujo de agua, el transporte de solutos, el manejo, las labores culturales del suelo y la disponibilidad de agua para el crecimiento de los cultivos (Calle y Proaño, 2003).

La textura del suelo tiene un considerable efecto sobre la capacidad de retención de agua útil, ya que el agua es retenida en forma de película sobre las superficies de las partículas y en los pequeños poros entre ellas. Los suelos con textura fina tienen partículas pequeñas con una gran superficie total y un elevado volumen de pequeños poros distribuidos entre las partículas. Esto permite que tengan una elevada capacidad de retención de agua (Thompson, 2014).

La textura influye directamente en la velocidad de infiltración del agua en el suelo, afectando al drenaje, y también en las dificultades que se pueden tener en lo referente al laboreo o preparación del terreno (Sch *et al.*, 1997), lo cual es básico para el cultivo de cebolla, que requiere buen drenaje y una estructura granular del suelo para su buen desarrollo.

Según Escobar (2016) la masa de sólidos de un suelo está directamente relacionada con la cantidad de agua que es capaz de retener un suelo, es decir, que a mayor cantidad de masa mayor cantidad de agua puede contener, siempre y cuando el suelo no haya recibido una compactación externa.

El estrés hídrico por exceso o falta de agua afecta directamente el desarrollo de las raíces, lo que ha llevado a formular teorías sobre cómo el suelo almacena y transporta el agua, también sobre la disponibilidad de agua para las plantas y, en general, sobre estudios de la relación intangible que se da entre suelo-agua-planta-atmósfera, (Porta *et al.*, 2008)

Castro (1998) reseña que, de acuerdo con la cantidad de agua retenida en el suelo, se pueden identificar tres estados o porcentajes de humedad muy importantes, punto de saturación, capacidad de campo, y punto de marchitamiento permanente, lo cual sirve para identificar las necesidades de humedad para cada cultivo, las cuales se describen a continuación.

5.3.3.1. Punto de saturación

Punto de saturación o suelo saturado, se refiere al suelo que en este estado se presenta la máxima cantidad de agua que puede almacenar un suelo sin permitir la presencia de agua libre, es decir, todo el espacio poroso del suelo (macroporos, mesoporos y microporos) está ocupado por partículas de agua. A nivel de campo se puede observar un suelo totalmente húmedo y en el que no se pueden realizar labores mecanizadas. Esta condición es desfavorable al desarrollo de la mayoría de

las plantas, incluyendo al cultivo de cebolla. El punto de saturación ocurre cuando se da un riego pesado o llueve demasiado. En laboratorio el punto de saturación se considera al agua retenida en el suelo después de saturar una muestra y someterla a una presión de 0.01 atmósferas o bares (1 kpa), Castro (1998).

5.3.3.2. Capacidad de campo

Es el contenido de humedad de un suelo dos o tres días después de un riego pesado o lluvia abundante. Se dice que un suelo está a capacidad de campo cuando tiene agua retenida capilarmente en mesoporos y microporos, esto es cuando ya se ha drenado el agua gravitacional a través de macroporos. En campo esta condición de humedad asemeja un suelo húmedo el cual permitiría labores de mecanización y aseguraría un adecuado suministro de agua para las plantas. En laboratorio la capacidad de campo se considera el agua retenida en el suelo después de saturar de agua una muestra de suelo y someterla a una presión de 0.1 atmósferas o bares (10 kpa) para suelos arenosos (textura gruesa), 0.3 atmósferas o bares (30 kpa) para suelos francos (texturas medias), y 0.5 atmósferas o bares (50 kpa) para suelos arcillosos (texturas finas) (Castro, 1998).

Según Lal y Shukla (2004), la capacidad de campo se refiere al contenido de humedad que alcanza y sostiene un suelo determinado después de haber sido humedecido completamente y se haya drenado libremente. Es el tope máximo de humedad que puede contener un suelo. Es decir, es el contenido de humedad cuando todos los macroporos o poros de transmisión se han drenado y el agua en los macroporos ha sido reemplazado por aire, quedando únicamente agua en mesoporos y microporos al alcance de las raíces.

5.3.3.3. Punto de marchitamiento permanente

Este se define como el límite de humedad por debajo del cual las plantas no pueden extraer agua del suelo para sus funciones y comienzan a mostrar síntomas de

marchitez temporal o permanente. En campo esta condición se presenta como un suelo muy seco en donde las plantas llegan a un punto de marchitez permanente, esto significa que: aunque se le aplique agua posteriormente, la planta ya no se recupera del estado de marchitez en que se encuentra y perece. En laboratorio, el punto de marchitamiento permanente (PMP) se obtiene cuando después de saturar la muestra de suelo se somete a una presión de 15 atmósferas o bares (1500 kpa), Castro (1998).

Cuando ya incluso los microporos de retención de humedad se han quedado sin agua, se dice que el suelo está en el estado de punto de marchitamiento permanente. Además, el contenido de humedad residual, es decir, la última forma de humedad del suelo en el PMP es de poca utilidad para las plantas (Lal y Shukla, 2004).

5.3.4. Infiltración del agua en el suelo

La infiltración se refiere a cómo se infiltra el agua en el suelo, y esto empieza a suceder tan pronto entra el agua en contacto con suelo, de modo que, si el suministro de agua es lento, el agua se infiltra tan rápido como llega, pero si el suministro aumenta al grado de superar la capacidad de absorción del suelo entonces el agua se acumula y empieza a escurrir por la superficie del suelo. Si el aporte de agua se mantiene por debajo de la velocidad de infiltración del suelo, la penetración o flujo dependerá de la velocidad con que el agua superficial fluya hacia él (IGAC, 1990).

También se tiene que la infiltración es el proceso mediante el cual el agua de la superficie terrestre penetra al suelo; cuando la infiltración inicia, el suelo incrementa su contenido de humedad, causando que la tasa de infiltración disminuya con el tiempo hasta alcanzar un valor final constante. La tasa inicial de infiltración depende del contenido de humedad del suelo. La tasa final de infiltración es equivalente a la conductividad hidráulica del suelo (Neitsch *et al.*, 2011). La infiltración es uno de los

movimientos de agua en el suelo y es afectada directamente por la textura de este, así como también afecta la acumulación de agua, fertilizantes, gas y calor en el suelo, afectando el crecimiento y el rendimiento de cualquier cultivo (Juma 1993; Li, Wang y Hao 2002; Wu, Huang y Gallichand 2011).

5.3.5. Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica es la permeabilidad que le tiene suelo al agua, de modo que la conductividad hidráulica depende directamente de la permeabilidad del suelo, y a su vez la permeabilidad del suelo depende de la porosidad de este, de la distribución del tamaño de los poros y de la geometría de estos. La fluidez del agua depende de su temperatura, la cual afecta directamente su viscosidad y densidad; además depende de la gravedad. La conductividad hidráulica depende también del contenido de humedad presente en el suelo. En condiciones de saturación del suelo la conductividad es constante, pero si no está saturado el agua se moverá según el número y tamaño de los poros (Narro, 1994).

5.3.6. Tensión de humedad del suelo

Cuando se humedece un suelo seco, el agua ocupa los poros hasta que llega a la saturación y es cuando empieza a escurrir el agua debido a la gravedad, una vez escurrido el exceso de agua, el suelo queda a su máxima capacidad de retención y se dice que el suelo está a capacidad de campo, y entre sus partículas queda retenida el agua debido a la acción de dos fuerzas: la tensión superficial y las fuerzas de absorción, a la suma de estas dos fuerzas se le llama tensión de humedad del suelo; estas fuerzas de tensión se oponen a las fuerzas de absorción de las raíces de las plantas (Aguilera y Martínez, 1996).

Existen varias formas de monitorear la humedad del suelo en los cultivos, una forma práctica de hacerlo en el riego por goteo es en términos de la tensión de humedad del suelo (THS). Esta es medida con dispositivos conocidos como tensiómetros

(irrometer) que ofrecen buena sensibilidad a cambios de humedad en un intervalo inferior a los 30 kPa (Pier y Doerge, 1995).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Localización del Experimento

El trabajo de investigación se realizó en el ciclo otoño-invierno del 2021/2022 en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, con dirección en kilómetro 17.5 de la carretera Culiacán-Eldorado, ubicado en el valle de Culiacán. El área de estudio se localizó geográficamente en la región central del estado de Sinaloa a $24^{\circ}27'27.64''$ latitud norte, $107^{\circ}16'1.45''$ longitud oeste del meridiano de Greenwich y una altitud de 40 m (Figura 2).

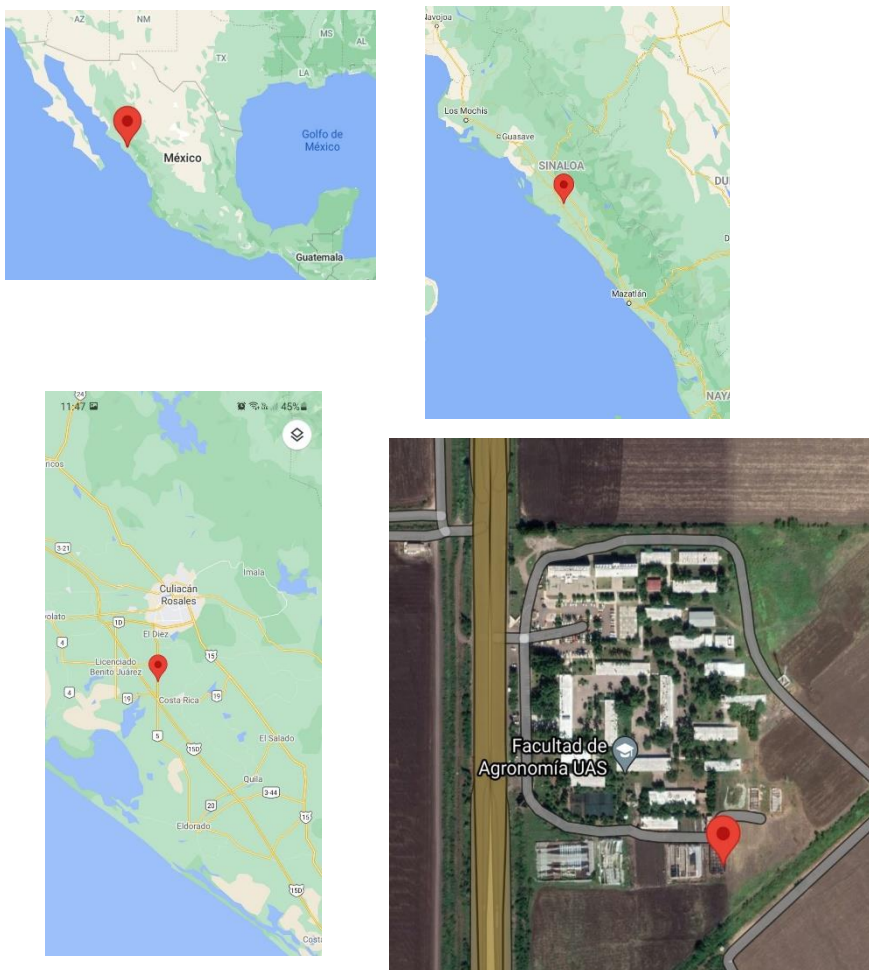


Figura 2. Localización del campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

Fuente: Imágenes obtenidas de Google Maps. Elaboración Propia.

6.2. Suelo

Para el trabajo se tuvieron las 12 clases texturales según la USDA, las cuales se prepararon mezclando arena, limo y arcilla en las diferentes proporciones. Los tres minerales se obtuvieron de diferentes partes de la región de Sinaloa.

El suelo fue colocado en jabs de plástico de dimensiones de 40 cm x 60 cm x 30 cm, donde se preparó con las labores culturales necesarias para dejarlo con la estructura adecuada para el cultivo de cebolla, aplicándole movimientos, nivelación, formación de hileras y eliminación de terrones en la superficie.

6.3. Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García (1978), el tipo de clima es BS1, descrito como semiárido, con lluvias en verano, y una precipitación pluvial media anual de 670 mm. La zona tiene una temperatura media anual de 24 °C, presentándose la máxima de 41 °C en verano y la mínima de 5 °C en invierno, la humedad relativa promedio anual es de 66.66 %, según el servicio meteorológico de CONAGUA en Culiacán hasta el año 2021.

El experimento se llevó a cabo dentro de un invernadero tipo cenital con plástico de 65 % de transparencia en la parte superior y malla negra en los costados, de modo que la lluvia no fue una condición meteorológica a considerar.

6.4. Riego

El riego se aplicó mediante un sistema de riego por goteo, y se usó cintilla con separación entre goteros de 20 cm, el caudal de cada gotero fue de 1LPH. Se aplicaron dos intervalos de riego distintos, considerando que el intervalo de riego fue uno de los factores evaluados. Se regaron las 12 clases texturales diariamente

con un litro de agua, y el otro intervalo de riego consistió en regar las 12 clases texturales cada cinco días con cinco litros de agua.

6.5. Material Vegetal

El establecimiento del cultivo fue mediante el uso de cebollín. La variedad fue Carta blanca la cual presenta las siguientes características: a) Cebolla de maduración intermedia, b) Excelente calidad de los bulbos en forma y tamaño, c) De 170 a 175 días a la maduración, d) Forma redonda, color piel blanca, tipo jumbo, e) Resistencia a enfermedades radicales (Nunhems, 2020).

6.6. Trasplante de Bulbo

El bulbo se colocó en las jabas con el suelo previamente humedecido, a una separación de 12 cm entre ellos, hasta cubrirlos por completo.

6.7. Fertilización

La fertilización en cualquier cultivo es importante, debido a que estos le proporcionan a la planta los nutrientes necesarios para su buen desarrollo, uno de los principales es el nitrógeno, este elemento químico influye directamente en el rendimiento y calidad de cualquier cultivo, al aumenta el área foliar, expansión foliar, tasa de fotosíntesis y grosor de hojas. El suministro de nitrógeno en cualquiera de sus formas mejora el proceso fotosintético y como resultado, se incrementan la tasa de asimilación neta, la duración del área foliar, el rendimiento y la biomasa (Khanzada *et al.*, 2016).

Para la fertilización del cultivo de cebolla se empleó a los seis macroelementos nitrógeno (N), fosforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), y azufre (S). La fuente de cada nutriente y la dosis de cada uno de ellos se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Fuente y solución Steiner de nutrición aplicados para el desarrollo de la cebolla.

Etapa fenológica	Conductividad eléctrica (dS/m)	Requerimiento nutrimental (mg L ⁻¹)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Trasplante	0.5	42.04	7.75	68.25	45	12	27.97
Vegetativo-Inicio	1	84.07	15.5	136.5	90	24	55.94
bulberización	1.8	126.11	23.25	204.75	135	36	83.91
Inicio bulberización-llenado	2	168.15	31	273	180	48	111.88

Fuente: Soluciones nutritivas propuestas para el cultivo de cebolla por etapas fenológicas (Sánchez-García resultados no publicados).

6.8. Manejo de Enfermedades

Se detectó la presencia de mildiu *Peronospora destructor* (Berk) en una parte del cultivo. Para su control se aplicó producto una vez por semana. A continuación, se mencionan los productos que se aplicaron.

Cabrio c (ingrediente activo boscalid y pyraclostrobin) en dosis de 3 g L⁻¹ de agua.

Cloratalonil con metalaxil en dosis de 14 ml L⁻¹ de agua.

Propamocarb en dosis de 2 ml L⁻¹ de agua.

6.9. Manejo de Malezas

Se aplicó el herbicida preemergente Prow H₂O (se lava con el riego) (pendimentalyn 41 %). Después de que el cultivo se estableció, el deshierbe fue manual debido a que la aplicación de algún herbicida para eliminar maleza de hoja ancha y hoja angosta podía dañar al cultivo.

6.10. Manejo de Plagas

Se detectó la presencia de trips (Thysanoptera) y se controló al aplicarle por lo menos una vez por semana alguno de los productos que se mencionan a continuación, con lo que se evitó la generación de un daño significativo al cultivo, debido a que ese no era el objeto de estudio de esta investigación.

Imidacloprid en solución de 5 ml L⁻¹ de agua.

Acetamiprid en solución de 1 ml L⁻¹ de agua.

Dimetoato en solución de 5 ml L⁻¹ de agua.

Exalt en solución de 2 ml L⁻¹ de agua.

6.11. Variables de Respuesta

El diámetro ecuatorial (DE) se obtuvo al medir el bulbo con un vernier graduado en milímetros, al colocarlo en el centro del bulbo.

El diámetro polar (DP) se obtuvo al medir con un vernier graduado en milímetros, al colocarlo por la parte central del tallo al cuello del bulbo.

Se pesó el bulbo cosechado en una balanza digital con valores ajustados al decigramo, con ello se obtuvo el rendimiento de la cebolla (g planta⁻¹).

Se midió el contenido de sólidos solubles (°Brix) mediante el uso de un refractómetro.

Se midió la firmeza del bulbo, para lo cual se utilizó un penetrómetro digital.

Se midieron el peso de la biomasa húmeda del bulbo y de la hoja verde (g), y también el peso de la biomasa seca (g) de bulbos y hojas verdes deshidratadas en estufa a 80 °C por 24 h.

6.12. Cosecha

Cuando aproximadamente el 70 % de las plantas de cada tratamiento presentaron el doblez característico de que la cebolla ha llegado a su madurez fisiológica (López-Urquidez. *et al.*, 2017), se procedió a doblar manualmente el resto de las plantas. Dos días después las plantas se cosecharon y colocaron sobre el suelo para completar el sellado del bulbo.

6.13. Diseño Experimental

Se realizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 12x2, se evaluó a las 12 clases texturales con dos intervalos de riego, al primero se le proporcionó el agua con un intervalo de riego diario, y al segundo con un intervalo de riego de cada cinco días, manteniendo el suelo húmedo en todo momento. Además, tuvieron cuatro repeticiones. Se trabajó con un total de 24 tratamientos.

Cada tratamiento constó de una clase textural (Cuadro 3) y un intervalo de riego, contando con cuatro repeticiones de cada tratamiento. Las unidades experimentales fueron las jabsas de 40 cm x 60 cm x 30 cm llenas de una clase textural distinta cada una, de modo que se tuvo un total de 96 unidades experimentales.

Cuadro 3. Porcentaje de arena-limo-arcilla de cada textura usada en el experimento.

Clase textural	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
Arena (are)	96	1	3
Arenoso Franco (aref)	82	15	3
Franco Arenoso (fare)	64	30	6
Franco Arcillo Arenoso (faare)	62	10	29
Franco (f)	47	32	21
Arcillo Arenoso (aare)	51	12	37
Franco Arcilloso (fa)	43	26	31
Arcilla (a)	16	21	63
Franco Limoso (fl)	20	62	18
Franco Arcillo Limoso (fal)	19	48	33
Arcillo Limoso (al)	18	41	41
Limo (l)	18	81	1

Se sembraron 12 bulbos de cebolla en cada jaba, de modo que se tuvo un total de 1152 cebollas como población y a partir de las cuales se tomaron las muestras correspondientes para las mediciones respectivas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Distribución de unidades experimentales para cada tratamiento en una repetición.

		Intervalos de riego	
		A	B
Clases texturales	are	Aare	Bare
	aref	Aaref	Baref
	fare	Afare	Bfare
	faare	Afaare	Bfaare
	f	Af	Bf
	aare	Aaare	Baare
	fa	Afa	Bfa
	a	Aa	Ba
	fl	Afl	Bfl
	fal	Afal	Bfal
	al	Aal	Bal
	l	Al	Bl

Abreviaturas: are=arenoso; aref=arenoso franco; fare=franco arenoso; faare=franco arcillo arenoso; f=franco; aare=arcillo arenoso; fa=franco arcilloso; a=arcilloso; fl=franco limoso; fal=franco arcillo limoso; al=arcillo limoso; l=limoso; A=intervalo de riego diario; B=intervalos de riego cada cinco días.

6.14. Análisis Estadístico

Para realizar el análisis estadístico se empleó el paquete estadístico XLSTAT 2022 3.1. (Addinsoft, 2022).

Los análisis de estadística paramétrica parten del supuesto de que la variable evaluada tiene una distribución normal. En ocasiones los datos que se miden en campo pueden no tener esta distribución y, en caso de no tenerla, se debe realizar una transformación de los datos, para continuar con un análisis paramétrico. También, se asume que en el análisis de varianza los grupos de comparación tienen la misma varianza y que son aditivos los efectos del tratamiento, (Krebs, 1999). Para

conocer si los datos que se obtuvieron en campo siguieron una distribución normal, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk. También se llevaron a cabo pruebas de homocedasticidad de varianzas para conocer si las poblaciones estudiadas tenían la misma varianza, para ello se empleó la prueba de Levene.

Para analizar el efecto de la frecuencia de riego, se realizó una comparación de medias mediante la prueba Z con las hipótesis siguientes:

H₀: La diferencia entre las medias es igual a 0.

H_a: La diferencia entre las medias es diferente de 0.

Se realizó una prueba de comparación de medias para determinar cuál tratamiento es el más efectivo en el rendimiento y calidad de la cebolla. También se realizó una prueba de regresión lineal para analizar el comportamiento de las variables dependientes con respecto a los valores de arena, limo y arcilla.

Por otra parte, se hizo también un análisis de correlación entre las variables peso y diámetro de la cebolla para determinar si existe relación entre dichas variables.

Con los datos de las variables dependientes, se realizó un análisis multivariado en dos vertientes. El primero fue un análisis de componentes principales para ordenar a los tratamientos a lo largo de dos ejes de acuerdo con sus parecidos según dichas variables. el segundo fue un análisis de conglomerados mediante una clasificación jerárquica, que agrupara a los tratamientos evaluados. Para ello se elaboró un dendrograma de clasificación por el método de Ward con criterio de disimilitud la distancia euclidiana. Para ello se utilizó el paquete estadístico Xlstat versión 2022 3.1. (Addinsoft, 2023).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evaluaron 24 tratamientos, constituidos por dos factores correspondientes a 12 clases texturales y dos intervalos de riego distintos.

Para tener un mejor análisis estadístico de los datos recabados de cada tratamiento, este se hizo en cuatro partes:

a) Primero se analizó el experimento comparando el tratamiento frecuencia de riego diario (A) con el tratamiento de riego discontinuo (B).

b) Posteriormente se analizaron los 24 tratamientos en su conjunto, mediante un análisis de varianza, un análisis de ordenación mediante componentes principales, una clasificación aglomerativa y jerárquica de los diferentes tratamientos, y un análisis de los 24 tratamientos de las variables DE, DP y peso del bulbo.

c) Después, se analizó la frecuencia de riego (A), que consistió en estudiar los 12 tratamientos correspondientes a las 12 clases texturales con el intervalo de riego diario.

d) Finalmente, se analizó la frecuencia de riego (B), donde se estudió a los 12 tratamientos correspondientes a las 12 clases texturales con intervalo de riego de cada cinco días.

Al aplicar la prueba de Shapiro-Wilk, se obtuvo que los datos siguieron una distribución normal. También, al utilizar la prueba de homocedasticidad de varianzas, de Levene, se determinó que las poblaciones estudiadas tenían la misma varianza. Al conocer el resultado de las pruebas anteriores, se realizó el análisis de varianza de tres variables del bulbo de la cebolla, que son: el diámetro ecuatorial (DE), diámetro polar (DP) y peso de los 24 tratamientos.

Para conocer la relación entre las variables de diámetro ecuatorial y diámetro polar del bulbo, se realizó un análisis de correlación de Pearson, teniendo como resultado que con una probabilidad <0.0001 existe una correlación del diámetro ecuatorial con el diámetro polar de 0.24184.

La hipótesis estadística nula que se consideró fue en la que las medias de cada tratamiento son iguales entre sí.

7.1. Frecuencia del Riego

En lo que respecta al factor de frecuencia de riego diario (A), se desarrollaron bulbos con mayor peso que las cebollas que se establecieron en los tratamientos del factor con frecuencia de riego de cada cinco días (B), como se observa en el Cuadro 5. En el mismo cuadro se muestra que, en lo referente al diámetro ecuatorial del bulbo, en el factor (A) de frecuencia de riego diario tuvo en promedio 65.2 mm, siendo también más grande que en el factor de frecuencia de riego de cada cinco días (B) que tuvo una media de 61.6 mm. Con respecto al diámetro polar del bulbo, no se presentó diferencia estadística significativa (Cuadro 5). Estos resultados coinciden con lo expuesto por Petit (2004), quien observó que se obtiene mejor calidad y rendimiento de la cebolla cuando la frecuencia del riego es diaria, o cada tercer día, con relación a un riego con una frecuencia de riego de cada cuatro días. Lo anterior se debe a que, al mantenerse el suelo húmedo el mayor tiempo posible, permite que la cebolla obtenga mejor los nutrientes del suelo, debido a que es una planta con raíces poco profundas.

Al analizar la relación entre el diámetro polar y el diámetro ecuatorial se observaron valores más altos en los tratamientos del factor de frecuencia de riego discontinuo (B), es decir, los bulbos desarrollados en los tratamientos con menor frecuencia de riego fueron más alargados, lo cual disminuye la calidad de la cebolla (Cuadro 5).

Cuadro 5. Prueba z para dos muestras independientes / Prueba bilateral (Significancia estadística) de dos frecuencias de riego en cebolla

Variables Evaluadas	Frecuencia de Riego				Valor de P
	A		B		
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	
Peso (g)	160.1	29.4	140.2	37.6	0.0004
Diámetro Ecuatorial (mm)	65.2	5.5	61.6	6.9	0.0004
Diámetro Polar (mm)	68.5	5	67.2	6.2	0.259
Firmeza (N)	117.6	9.4	114.1	12.5	0.12
Grados Brix	9.7	0.6	9.6	0.9	0.514
Peso Bulbo Seco (g)	10.5	2.4	9.4	3.5	0.072
DP/DE A	1.1	0.1	1.1	0.1	0.025
Relación PH/PS	15.6	2.5	15.7	3.2	0.826

7.2. Análisis de los Tratamientos en Conjunto

A continuación, se presentan los resultados de los tres tipos de métodos estadísticos aplicados en el análisis de los datos obtenidos.

7.2.1. Análisis de ordenación

En la ordenación de los 24 tratamientos, siguiendo el procedimiento de análisis de componentes principales se observa que la mayor parte de los tratamientos con frecuencia de riego diaria (A), se cargan hacia el lado positivo del primer componente, el cual explica el 58.29 del orden, mientras que la mayor parte de los tratamientos con frecuencia de riego discontinua (B) se encuentran en el lado negativo de dicho eje (Figura 3). Esto es que las variables analizadas peso, DE, peso seco del bulbo y DP/DE del factor con frecuencia de riego diario (A) fueron significativamente mayores a lo observado en los tratamientos correspondientes al factor con frecuencia de riego discontinuo (B). Lo cual coincide con Ramos (1999), quien observó que el rendimiento del cultivo de cebolla se incrementó en función de la lámina y frecuencia de riego, y obtuvo mejores rendimientos con la lámina con la

frecuencia de riego diario. También coincide con Torres (2012), quien sostiene que el riego es clave en la producción de un cultivo, así mismo, conocer el tipo de suelo es decisivo al momento de hacer un uso eficiente del agua, y en lo que respecta al cultivo de cebolla dice que al tener la cebolla raíces poco profundas esta es muy susceptible a las fluctuaciones de humedad en el suelo, de tal forma que el rendimiento y calidad de los bulbos de cebolla son afectados directamente por la frecuencia del riego. También se coincide con los resultados por Tambo (2016) en su investigación sobre el efecto de biol bovino sobre las características y rendimientos de dos variedades de cebolla, teniendo mejores resultados con el tratamiento con mayor cantidad de biol aplicado, lo cual hace ver que, al ser riego diario, la planta dispone de los nutrientes que son aplicados en dicho riego y no tiene que esperar días para volver a recibir nutrientes.

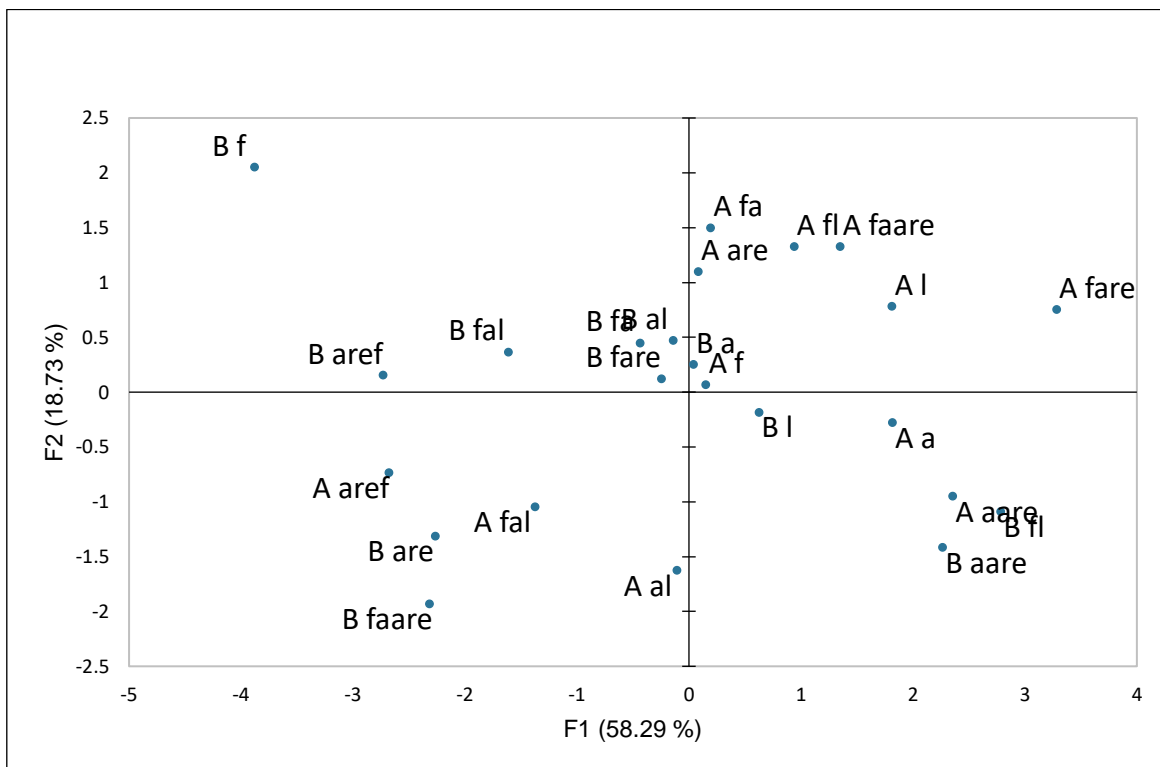


Figura 3. Análisis de componente principales de los 24 tratamiento bajo estudio, de acuerdo con las variables estudiadas. Abreviaturas: Aare= riego diario y textura arenosa; Aaref= riego diario y textura arenosa franca; Afare= riego diario y textura franco arenosa; Afaare= riego diario y textura franco arcillo arenosa; Af= riego diario y textura franca; Aaare= riego diario y textura arcillo arenosa; Afa= riego diario y textura franco arcillosa; Aa= riego diario y textura arcillosa; Afl= riego diario y textura franco limosa; Afal= riego diario y textura franco arcillo limosa; Aal= riego diario y textura arcillo limosa; Al= riego diario y textura limosa; Bare= riego cada cinco días y textura

arenosa; Baref= riego cada cinco días y textura arenosa franca; Bfare= riego cada cinco días y textura franco arenosa; Bfaare= riego cada cinco días y textura franco arcillo arenosa; Bf= riego cada cinco días y textura franca; Baare= riego cada cinco días y textura arcillo arenosa; Bfa= riego cada cinco días y textura franco arcillosa; Ba= riego cada cinco días y textura arcillosa; Bfl= riego cada cinco días y textura franco limosa; Bfal= riego cada cinco días y textura franco arcillo limosa; Bal= riego cada cinco días y textura arcillo limosa;Bl= riego cada cinco días y textura limosa.

7.2.2. Análisis de clasificación aglomerativa y jerárquica.

Lo obtenido mediante el análisis de componentes principales se reafirma mediante el dendrograma de clasificación, en el cual se muestra la conformación de seis grupos, resaltando que el criterio de clasificación fue el sistema de frecuencia de riego empleado (Figura 4).

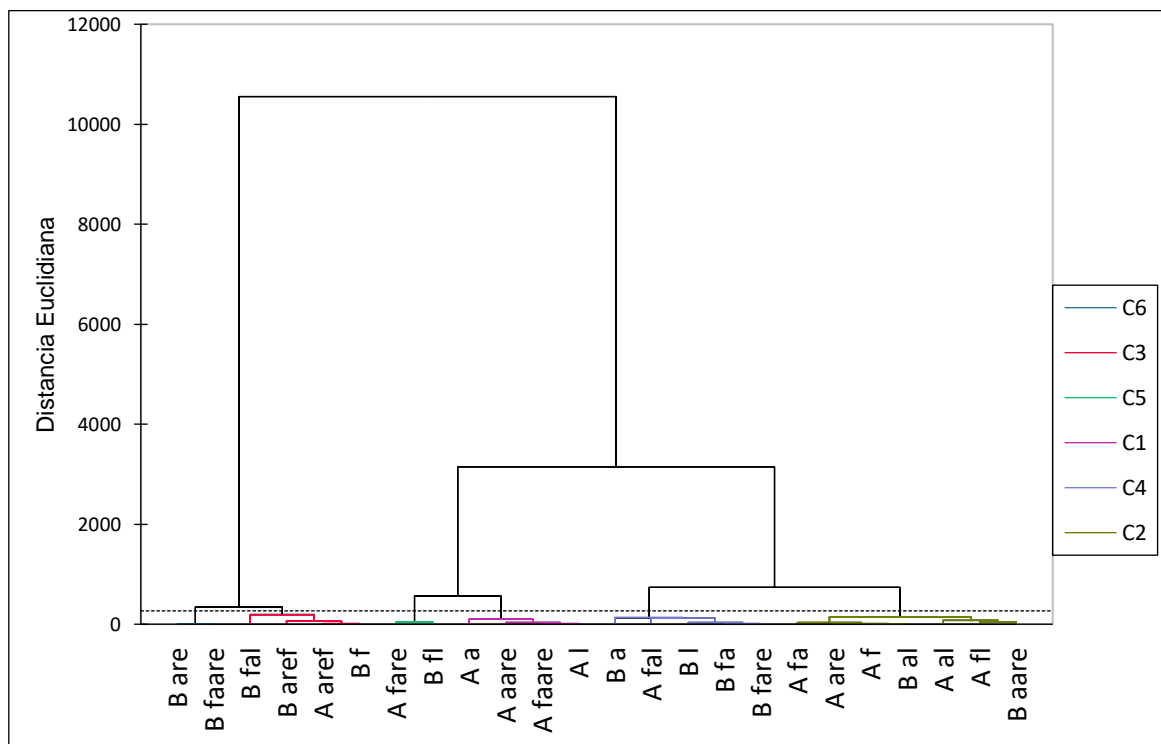


Figura 4. Dendrograma de clasificación de los 24 tratamientos con base en las variables del bulbo de las cebollas estudiadas. Abreviaturas: Aare=riego diario y textura arenosa; Aaref= riego diario y textura arenosa franca; Afare= riego diario y textura franco arenosa; Afaare= riego diario y textura franco arcillo arenosa; Af= riego diario y textura franca; Aaare= riego diario y textura arcillo arenosa; Afa= riego diario y textura franco arcillosa; Aa= riego diario y textura arcillosa; Afl= riego diario y textura franco limosa; Afal= riego diario y textura franco arcillo limosa; Aal= riego diario y textura arcillo limosa; Al= riego diario y textura limosa; Bare= riego cada cinco días y textura arenosa; Baref= riego cada cinco días y textura arenosa franca; Bfare= riego cada cinco días y textura franco arenosa; Bfaare= riego cada cinco días y textura franco arcillo arenosa; Bf= riego cada cinco días y textura franca; Baare= riego cada cinco días y textura arcillo arenosa; Bfa=

riego cada cinco días y textura franco arcillosa; Ba= riego cada cinco días y textura arcillosa; Bfl= riego cada cinco días y textura franco limosa; Bfal= riego cada cinco días y textura franco arcillo limosa; Bal= riego cada cinco días y textura arcillo limosa;Bl= riego cada cinco días y textura limosa.

En el Cuadro 6 se observa que los tratamientos que integran el grupo 1 observado en el dendrograma (Figura 4), son aquellos que presentan mayor peso, mayor diámetro ecuatorial y mayor diámetro polar, todos ellos corresponden a los tratamientos del factor de frecuencia de riego diario (A), mientras que en el grupo 6 se encuentran los tratamientos con los valores más bajos en las variables antes mencionadas. Estos tratamientos corresponden al grupo (B), los cuales tenían riego cada 5 días.

Cuadro 6. Características de los grupos conformados en el dendrograma de clasificación

Grupo	Tratamiento	Peso (g)	Diámetro Ecuatorial (mm)	Diámetro Polar (mm)	Promedio firmeza	Grados brix	Peso Bulbo Seco
1	A a	168.4	68.0	66.2	130.0	9.6	11.7
1	A aare	177.5	69.2	68.1	119.7	9.3	14.2
1	A faare	171.9	68.4	70.2	118.1	10.2	10.7
1	A l	172.1	68.6	71.1	123.5	9.7	10.3
2	A al	157.8	60.9	62.8	119.0	9.2	11.1
2	A are	156.2	65.3	69.3	115.7	10.0	8.5
2	A f	154.9	65.2	68.4	112.8	9.6	9.6
2	A fa	161.1	64.0	70.5	109.9	10.3	10.8
2	A fl	161.9	63.9	71.6	118.4	10.1	11.3
2	B aare	166.0	68.1	66.7	120.9	9.3	16.0
2	B al	157.0	64.5	67.7	111.1	9.9	9.6
3	A aref	108.2	55.7	65.4	107.7	9.4	8.2
3	B aref	115.8	57.2	67.4	106.0	9.6	5.9
3	B f	105.3	54.2	64.3	108.7	11.0	5.9
3	B fal	117.9	56.3	66.3	120.8	9.9	9.1
4	A fal	137.9	62.3	62.4	111.7	9.5	8.6
4	B a	140.3	62.9	67.1	127.3	9.7	8.9
4	B fa	144.4	62.8	69.2	115.9	9.6	7.8
4	B fare	147.5	61.3	70.3	112.6	9.4	9.4
4	B l	149.1	62.7	71.3	120.3	9.1	9.8
5	A fare	193.2	71.2	75.6	124.6	9.2	10.7
5	B fl	192.4	70.4	66.7	125.1	9.2	13.2
6	B are	123.0	59.4	64.4	98.7	9.3	9.4
6	B faare	123.3	59.1	64.7	101.5	8.8	7.4

Abreviaturas: Aare= riego diario y textura arenosa; Aaref= riego diario y textura arenosa franca; Afare= riego diario y textura franco arenosa; Afaare= riego diario y textura franco arcillo arenosa; Af= riego diario y textura franca; Aaare= riego diario y textura arcillo arenosa; Afa= riego diario y textura franco arcillosa; Aa= riego diario y textura arcillosa; Afl= riego diario y textura franco limosa; Afal= riego diario y textura franco arcillo limosa; Aal= riego diario y textura arcillo limosa; Al= riego diario y textura limosa; Bare= riego cada cinco días y textura arenosa; Baref= riego cada cinco días y textura arenosa franca; Bfare= riego cada cinco días y textura franco arenosa; Bfaare= riego cada cinco días y textura franco arcillo arenosa; Bf= riego cada cinco días y textura franca; Baare= riego cada cinco días y textura arcillo arenosa; Bfa= riego cada cinco días y textura franco arcillosa; Ba= riego cada cinco días y textura arcillosa; Bfl= riego cada cinco días y textura franco limosa; Bfal= riego cada cinco días y textura franco arcillo limosa; Bal= riego cada cinco días y textura arcillo limosa; Bl= riego cada cinco días y textura limosa.

Los resultados hasta aquí presentados coinciden con lo indicado por Rodríguez *et al.* (2013) quien señala que el riego rodado intermitente incrementa la eficiencia de aplicación del agua a diferencia del método tradicional de riego rodado que consiste en un riego sin interrupciones. Eso mejora los indicadores técnicos y productivos de la actividad agrícola específicamente en la cebolla. Es decir, que el riego intermitente mantiene el suelo con humedad más tiempo que el riego tradicional. Así mismo, Assuero *et al.* (2007) indican que poca disposición de agua en el proceso de llenado del bulbo determina un tamaño reducido.

Para De Santa Olalla *et al.* (2005), el proceso de crecimiento, así como en todo proceso que involucra división celular, es afectado por la poca disponibilidad hídrica, y ya iniciados los primordios, el tamaño final del bulbo de cebolla se determina por el tiempo que dura la división celular; además, la disposición de agua influye de manera importante en muchos procesos vitales del cultivo de cebolla. Lo que significa que tener poca disposición de agua en el suelo afecta directamente el crecimiento del bulbo. De la misma manera, Estrada *et al.* (2015), en un estudio realizado con diferentes variedades de cebolla en condiciones de sequía señalan que el déficit hídrico, en su magnitud y rapidez con que se experimenta es la principal influencia del llenado del bulbo de cebolla y por lo tanto del tamaño de este.

Se obtuvo en cada caso que el movimiento del agua en el suelo es diferente y también que la disposición de agua para el cultivo se va haciendo más crítica como respuesta al estrés hídrico. Conforme el nivel de humedad se aproxima al punto de marchitez permanente del suelo, son afectados los procesos vitales de la planta,

influyendo directamente en los rendimientos de los cultivos. Cuando el contenido de humedad del suelo está por debajo del valor establecido como factor de agotamiento crítico del suelo (45 %), las raíces no pueden transportar el agua a la velocidad suficiente para que se realice la transpiración requerida, de modo que el cultivo comenzará a tener estrés hídrico (Duarte *et al.*, 2012).

Kumar *et al.* (2007a) quienes al usar riego por microaspersión en un suelo arenoso encontraron que con riegos del 100 y 120 % de la Ev hay una mayor acumulación de masa seca que con 60 y 80 %. Es decir, al mantener el suelo arenoso húmedo se tuvo mejor respuesta del cultivo de cebolla.

El agua constituye el medio de transporte y es parte fundamental del desarrollo y crecimiento del cultivo. Además, es el medio de transporte de las moléculas indispensables para la planta como son proteínas, ácidos nucleicos, polisacáridos y otros componentes de la célula (Taiz *et al.*, 2015). Por otra parte, los cultivos pierden agua continuamente por efecto de la transpiración, lo que les permite regular la temperatura e intercambiar vapor de agua por CO₂, para que se realice la fotosíntesis (Medrano *et al.*, 2008). Todos estos procesos aseguran tener un crecimiento mayor (Rattin *et al.*, 2011), lo que repercute en una mayor cantidad de masa seca al aplicar mayor cantidad de agua.

El crecimiento de la planta disminuye cuando el agua que se aplica es 1.4 veces la evaporación, con relación a cuando se aplica 1.2 veces la evaporación, esto pasa debido a la saturación de humedad en el suelo ocasionado por agregar un volumen de agua superior al que se puede infiltrar, así que se disminuye la cantidad de oxígeno y provoca anoxia en la planta (Sauter, 2013). En condiciones de anoxia la planta produce más ácido aminociclopropano carboxílico (ACC), el cual se transporta desde las raíces hacia la parte superior de la planta en donde se convierte en etileno (Irfan *et al.*, 2010), provocando la ralentización del crecimiento y la abscisión foliar, lo que a su vez provoca menor acumulación de masa seca, (Steffens, 2014), lo que explica crecimiento menor bajo el coeficiente 1.4. Kumar *et*

al. (2007b) obtuvieron que en un suelo arenoso y con riego por microaspersión la aplicación del 100 % de la evaporación (Ev) sucede lo mismo que aplicar un 120 % esto en la acumulación de masa seca total de la planta. También, Metwally (2011) estudió un suelo arcilloso de Australia y obtuvo que la cantidad de hojas y de masa seca de las mismas es menor bajo un riego de 1.75 m³ por metro cuadrado que uno de 0.9 m³ por metro cuadrado.

El peso del bulbo de cebolla aumenta en proporción a la cantidad de agua que se le aplica, es decir cuando se pasa de aplicar agua en razón a 0.8 veces la evaporación a aplicar agua en razón a 1.4 veces la evaporación, aunque la cantidad de masa seca de este órgano se mantiene constante después de la aplicación de 1.2 de evaporación (Ev), (Álvarez *et al.*, 2017).

7.3. Análisis de las Variables DE, DP y peso del bulbo de Cebolla

Además de los análisis por separado que se hizo de las dos frecuencias de riego y sus respectivas 12 clases texturales, también se hizo un análisis de los 24 tratamientos para las variables de respuesta de diámetro ecuatorial, diámetro polar y peso del bulbo de cebolla, con esto se identificó más específicamente en que tratamiento se tuvieron los mejores resultados para cada una de estas variables de respuesta.

Al realizar el Análisis de Varianza (ANDEVA) (Cuadro 7) y encontrar diferencia significativa entre las variables evaluadas, se empleó la prueba de comparación de medias por Tukey con un alfa igual a $p \leq 0.05$, para identificar entre qué tratamientos se mostraba tal diferencia.

Los análisis de cada variable se muestran a continuación, de la variable de diámetro ecuatorial en el Cuadro 8, de la variable de diámetro polar en el Cuadro 9 y de la variable de peso del bulbo en el Cuadro 10.

Cuadro 7. Análisis de varianza entre tratamientos de las variables de respuesta DE, DP y peso.

Variable	Media	Desviación Estándar	P
DE	63.41	9.36	<0.0001
DP	67.82	8.08	0.0032
peso	150.13	47.68	<0.0001

Abreviaturas: DE=diámetro ecuatorial del bulbo, DP=diámetro polar del bulbo. ($\alpha=0.05$).

En lo referente a las variables de estudio DE, DP y peso se obtuvo que sí existió diferencia significativa entre los tratamientos.

Cuadro 8. Comparación de medias entre tratamientos para la variable diámetro ecuatorial (DE) por Tukey con un alfa igual a $p \leq 0.05$.

Agrupamiento	Media	std.Error	N	Tratamientos
A	71.200 ±1.79		12	riego diario-franco arenoso (Afare)
A	70.417 ±2.81		12	riego discontinuo-franco limoso (Bfl)
B A	69.208 ±2.16		12	riego diario-arcillo arenoso (Aaare)
B A C	68.617 ±1.12		12	riego diario-limoso (Al)
B A C	68.442 ±2.24		12	riego diario-franco arcillo arenoso (Afaare)
B D A C	68.142 ±2.14		12	riego discontinuo-arcillo arenoso (Baare)
B D A C	68.042 ±1.52		12	riego diario-arcilloso (Aa)
E B D A C	65.275 ±1.36		12	riego diario-arenoso (Aare)
E B D A C	65.200 ±2.65		12	riego diario-franco (Af)
E B D A C	64.483 ±3.26		12	riego discontinuo-arcillo limoso (Bal)
E B D A C	64.017 ±2.91		12	riego diario-franco arcilloso (Afa)
E B D A C	63.900 ±2.53		12	riego diario-franco limoso (Afl)
E B D A C	62.900 ±1.43		12	riego discontinuo-arcilloso (Ba)
E B D A C	62.825 ±2.16		12	riego discontinuo-franco arcilloso (Bfa)
E B D A C	62.667 ±2.16		12	riego discontinuo-limoso (Bl)
E B D A C	62.258 ±3.02		12	riego diario-franco arcillo limoso (Afal)
E B D A C	61.317 ±2.51		12	riego discontinuo-franco arenoso (Bfare)
E B D A C	60.917 ±5.15		12	riego diario-arcillo limoso (Aal)
E B D A C	59.433 ±2.00		12	riego discontinuo-arenoso (Bare)
E B D A C	59.092 ±1.67		12	riego discontinuo-franco arcillo arenoso (Bfaare)
E B D C	57.183 ±1.50		12	riego discontinuo-arenoso franco (Baref)
E D C	56.275 ±3.02		12	riego discontinuo-franco arcillo limoso (Bfal)
E D	55.717 ±1.23		12	riego diario-arenoso franco (Aaref)
E	54.242 ±2.53		12	riego discontinuo-franco (Bf)

Letras idénticas en las filas de la tabla son estadísticamente iguales (LS, $\alpha=0.05$).

Se observa que el tratamiento con mejores resultados numéricos en la variable de diámetro ecuatorial (DE) es el Afare aunque como se observa en resultados de la prueba de Tukey no existe diferencia significativa con los tratamientos Bfl, Aaare, Al, Afaare, Baare, Aa, Aare, Af, Bal, Afa, Afl, Ba, Bfa, Bl, Afal, Bfare, Aal, Bare, y Bfaare. Lo que nos indica que en 20 de los 24 tratamientos no hay diferencia significativa en lo referente al diámetro ecuatorial del bulbo de la cebolla. Estos resultados donde los bulbos con mayor tamaño se presentaron en la mayoría de los tratamientos del factor con frecuencia de riego diario (A) donde el agua y los fertilizantes estuvieron al alcance de las raíces con facilidad en todo momento, coinciden con lo expuesto por Ramos (1999), quien dice que el cultivo de cebolla requiere de clima seco, bastante insolación y relativamente resiste la sequía, aunque no le debe faltar agua en las etapas de germinación y crecimiento de raíces y bulbos.

En seguida se presentan los resultados del análisis hecho a la variable de diámetro polar (DP) para observar entre que tratamientos existe diferencia significativa para esta variable (Cuadro 9).

Cuadro 9. Comparación de medias entre tratamientos para la variable diámetro polar (DP) por Tukey con un alfa igual a $p \leq 0.05$.

Agrupamiento	Media	std.Error	N	Tratamientos
A	75.567	±1.40	12	riego diario-franco arenoso (Afare)
B A	71.567	±3.46	12	riego diario-franco limoso (Afl)
B A	71.283	±1.82	12	riego discontinuo-limoso (Bl)
B A	71.050	±1.00	12	riego diario-limoso (Al)
B A	70.517	±0.82	12	riego diario-franco arcilloso (Afa)
B A	70.283	±2.67	12	riego discontinuo-franco arenoso (Bfare)
B A	70.225	±1.24	12	riego diario-franco arcillo arenoso (Afaare)
B A	69.342	±1.62	12	riego diario-arenoso (Aare)
B A	69.183	±2.03	12	riego discontinuo- franco arcilloso (Bfa)
B A	68.433	±1.24	12	riego diario-franco (Af)
B A	68.075	±1.88	12	riego diario-arcillo arenoso (Aaare)
B A	67.733	±2.52	12	riego discontinuo-arcillo limoso (Bal)
B A	67.350	±2.21	12	riego discontinuo-arenoso franco (Baref)
B A	67.058	±1.64	12	riego discontinuo-arcilloso (Ba)
B A	66.725	±5.89	12	riego discontinuo-franco limoso (Bfl)

B A	66.708±2.16	12	riego discontinuo-arcillo arenoso (Baare)
B A	66.317±2.35	12	riego discontinuo-franco arcillo limoso (Bfal)
B A	66.225±1.66	12	riego diario-arcilloso (Aa)
B A	65.392±1.33	12	riego diario-arenoso franco (Aaref)
B A	64.692±2.89	12	riego discontinuo-franco arcillo arenoso (Bfaare)
B A	64.367±1.70	12	riego discontinuo-arenoso (Bare)
B A	64.325±1.10	12	riego discontinuo-franco (Bf)
B	62.792±1.94	12	riego diario-arcillo limoso (Aal)
B	62.383±1.66	12	riego diario-franco arcillo limoso (Afal)

Letras idénticas en las filas de la tabla son estadísticamente iguales (LS, $\alpha=0.05$).

Aquí se puede observar que el tratamiento que tuvo las dimensiones mayores numéricamente para la variable diámetro polar (DP) es el Afare, aunque no presenta diferencia significativa según la prueba de Tukey con los tratamientos Afl, BI, AI, Afa, Bfare, Afaare, Aare, Bfa, Af, Aaare, Bal, Baref, Ba, Bfl, Baare, Bfal, Aa, Aaref, Bfaare, Bare, Bf, teniendo que en 22 de los 24 tratamientos del experimento fueron estadísticamente iguales. Cabe hacer notar que solo resultaron dos clasificaciones de tratamientos entre diferencias significativas, de modo que se deduce que no hay mucha diferencia entre tratamientos para esta variable. Según los resultados obtenidos en esta investigación en relación a la variable de diámetro polar del bulbo de cebolla se pudo observar que los tratamientos correspondientes al factor de riego discontinuo (B) presentaron menor tamaño con respecto a los tratamientos correspondientes al factor de riego diario (A), lo cual puede deberse a que en los tratamientos donde el riego fue cada cinco días (B) pudo haber existido momentos en los que las plantas presentaron un grado mayor de estrés hídrico en relación con los tratamientos donde el riego fue diario (A), lo cual coincide con el hecho de que los diferentes coeficientes de estrés hídrico en el cultivo de cebolla inducen a que la planta genere una transpiración menor que la óptima, por lo tanto, el rendimiento que se obtiene decrece (López *et al.*, 2009).

En el Cuadro 10, se presentan los resultados del análisis hecho a la variable peso, para observar entre que tratamientos existe diferencia significativa para esta variable.

Cuadro 10. Comparación de medias entre tratamientos para la variable peso del bulbo (Peso) por Tukey con un alfa igual a $p \leq 0.05$.

Agrupamiento	Media	std.Error	N	Tratamientos
A	193.19±9.15		12	riego diario-franco arenoso (Afare)
A	192.42±19.36		12	riego discontinuo-franco limoso (Bfl)
B A	177.46±13.00		12	riego diario-arcillo arenoso (Aaare)
B A C	172.13±5.83		12	riego diario-limoso (Al)
B A C	171.94±13.26		12	riego diario-franco arcillo arenoso (Afaare)
B D A C	168.38±10.31		12	riego diario-arcilloso (Aa)
B D A C	166.04±12.61		12	riego discontinuo-arcillo arenoso (Baare)
B D A C	161.92±17.88		12	riego diario-franco limoso (Afl)
B D A C	161.06±13.89		12	riego diario-franco arcilloso (Afa)
B D A C	157.80±11.93		12	riego diario-arcillo limoso (Aal)
B D A C	157.01±18.66		12	riego discontinuo-arcillo limoso (Bal)
B D A C	156.19±6.30		12	riego diario-arenoso (Aare)
B D A C	154.90±15.31		12	riego diario-franco (Af)
B D A C	149.08±11.10		12	riego discontinuo-limoso (Bl)
B D A C	147.48±13.13		12	riego discontinuo-franco arenoso (Bfare)
B D A C	144.35±10.83		12	riego discontinuo-franco arcilloso (Bfa)
B D A C	140.27±7.50		12	riego discontinuo-arcilloso (Ba)
B D A C	137.94±13.98		12	riego diario-franco arcillo limoso (Afal)
B D C	123.28±11.42		12	riego discontinuo-franco arcillo arenoso (Bfaare)
B D C	123.02±9.53		12	riego discontinuo-arenoso (Bare)
B D C	117.93±14.13		12	riego discontinuo-franco arcillo limoso (Bfal)
B D C	115.76±7.72		12	riego discontinuo-arenoso franco (Baref)
D C	108.21±4.51		12	riego diario-arenoso franco (Aaref)
D	105.33±10.80		12	riego discontinuo-franco (Bf)

Letras idénticas en las filas de la tabla son estadísticamente iguales (LS, $\alpha=0.05$).

Para la variable peso se observa que el tratamiento Afare obtuvo el mejor resultado, aunque según la prueba de Tukey no presenta diferencia significativa con Bfl, Aaare, Al, Afaare, Aa, Baare, Afl, Afa, Aal, Bal, Aare, Af, Bl, Bfare, Bfa, Ba, Afal, sin embargo, con el resto de los tratamientos si se observó diferencia significativa ($P \leq 0.05$). Estos resultados coinciden con Chapin, *et al.* (2002) quien dice que es el suelo el elemento principal de almacenamiento de agua en los ecosistemas terrestres y no así la biomasa, es decir que la reserva de agua dentro de las plantas es muy escasa, siendo de hecho que la que contiene en determinado momento únicamente les sirve para sostener un ritmo constante de evapotranspiración durante a lo mucho unos cuantos días, de modo que depende la planta en gran

medida de la capacidad de retención de agua del suelo, de modo que en esta investigación los tratamientos de texturas arenosas del factor de frecuencia de riego diario (A) obtuvieron buenos resultados en relación al peso del bulbo, y en los tratamientos de suelos francos y arcillosos del factor de frecuencia de riego discontinuo (B) son los de mejores resultados para esta variable. Además, estos resultados donde los mejores rendimientos se obtuvieron en los tratamientos del factor de frecuencia de riego diario (A) se debe a prácticamente no existe déficit hídrico, coinciden con el hecho de que el principal factor abiótico que limita la distribución geográfica y el rendimiento de casi todos los cultivos es el déficit hídrico (Araus *et al.*, 2002; Tuberosa y Salvi, 2006).

También se tiene que a diferencia de lo que menciona Rosas (2009), que la cebolla se desarrolla mejor en suelos orgánicos, ligeros o arenosos, limosos y limo-arenoso, en esta investigación se puede deducir que los suelos arcillosos también pueden propiciar un buen desarrollo del cultivo de cebolla, al mantener humedecido el suelo que contiene arcilla dentro de sus componentes, el suelo no se endurece, favoreciendo que el bulbo de cebolla crezca de manera adecuada.

Además, aunque los resultados obtenidos coinciden con lo que reportaron (Ibarra, Ruíz, González y Flores, 2008) sobre el hecho de que texturas francas son las ideales para el desarrollo de un cultivo, en esta investigación se obtuvo que los suelos arcillosos también generan un buen desarrollo en el cultivo de cebolla teniendo las condiciones de humedad adecuada.

En un riego por gravedad la eficiencia en la aplicación y uniformidad del agua es baja, causando estrés en la cebolla y un mal desarrollo (Clinton, Erick y Lamont, 2000). Al tener en esta investigación un sistema de riego por goteo se observa en el Cuadro 10, en lo que respecta al peso del bulbo no existe diferencia significativa entre 11 de las 12 clases texturales analizadas siendo estas las siguientes: fare, fl, aare, l, faare, a, fa, al, are, f, fal, y teniendo una mejor media numéricamente el suelo franco-arenoso con 193.19 g, siendo el aref el único suelo con diferencia

significativa. Referente al diámetro ecuatorial no hay diferencia significativa entre 11 de las 12 clases texturales siendo la franco-arenosa la que presentó mejor media numéricamente con 71.20 mm, al igual que con la variable de peso la textura aref es la única que presenta diferencia significativa.

Con respecto al diámetro polar no existe diferencia significativa entre de las doce clases texturales, presentando mejor media numérica la textura fare con 75.57 mm.

A modo de interrelacionar las variables analizadas de peso, diámetro ecuatorial y diámetro polar del bulbo de cebolla, se observa que el tratamiento Afare presente la mejor combinación de resultados de estas variables, teniendo un bulbo de cebolla con peso de 193.19 g, equivalente a 57.96 t ha⁻¹ considerando una densidad de siembra de 30 cebollas m⁻², y con una forma DE de 71.20 mm y un DP de 75.57 mm. Según la NMX-FF-021-SCFI-2023 el DE de 71.20 mm pertenece a una calidad de cebolla de tamaño grande.

7.4. Frecuencia de Riego A

7.4.1. Peso del bulbo de la cebolla

En la figura 5 se observa que el peso más alto ocurrió en el tratamiento fare (64% arena, 30% limo y 6% arcilla) con un valor de 193.2 g en promedio, mientras que el peso más bajo ocurrió en el tratamiento aref (82 % arena, 15 % limo y 3 % arcilla) con un peso de 108.2 g en promedio. Esto coincide con lo analizado por Tian, *et al.*,(2012) quienes observaron que la humedad de marchitez y la forma de crecimiento de plántulas de 20 cultivos en diferentes suelos, fue mejor en suelos con arcilla, limo y arena, teniendo plántulas jóvenes y viejas con tasas de marchitamiento moderadas. Esto debido principalmente a que este tipo de suelo tiene buena ventilación, buena permeabilidad al vapor y fuerte retención de agua y fertilizantes. Lo contrario ocurre en los suelos con mayor porcentaje de arena, donde se tiene mala retención de agua y fertilizantes.

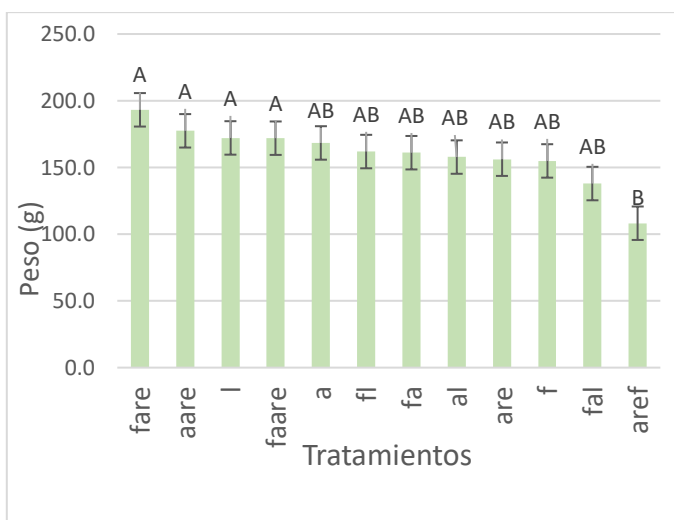


Figura 5. Relación del peso promedio del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LS, $\alpha=0.05$). Abreviaturas: are= arenoso; aref= arenoso franco; fare= franco arenoso; faare= franco arcillo arenoso; f= franco; aare= arcillo arenoso; fa= franco arcilloso; a=arcilloso; fl= franco limoso; fal= franco arcillo limoso; al= arcillo limoso; l= limoso.

7.4.2. Diámetro ecuatorial del bulbo de la cebolla

En lo referente al diámetro ecuatorial del bulbo de cebolla se puede observar (Figura 6) que los tratamientos señalados con la letra A no presentan diferencia significativa entre ellos, siendo que los tratamientos al y aref, son los que tuvieron menores diámetros ecuatoriales. Estos resultados coinciden con Zhao *et al.* (2015), quienes analizaron el efecto de suelos con texturas diferentes en el desarrollo y crecimiento de cacahuate y observaron que el suelo franco es propicio para el desarrollo de este cultivo. Esto se debe a las propiedades físicas y químicas que tiene un suelo franco tales, como mejor retención de humedad y mayor facilidad de extracción de nutrientes del suelo por parte de la planta.

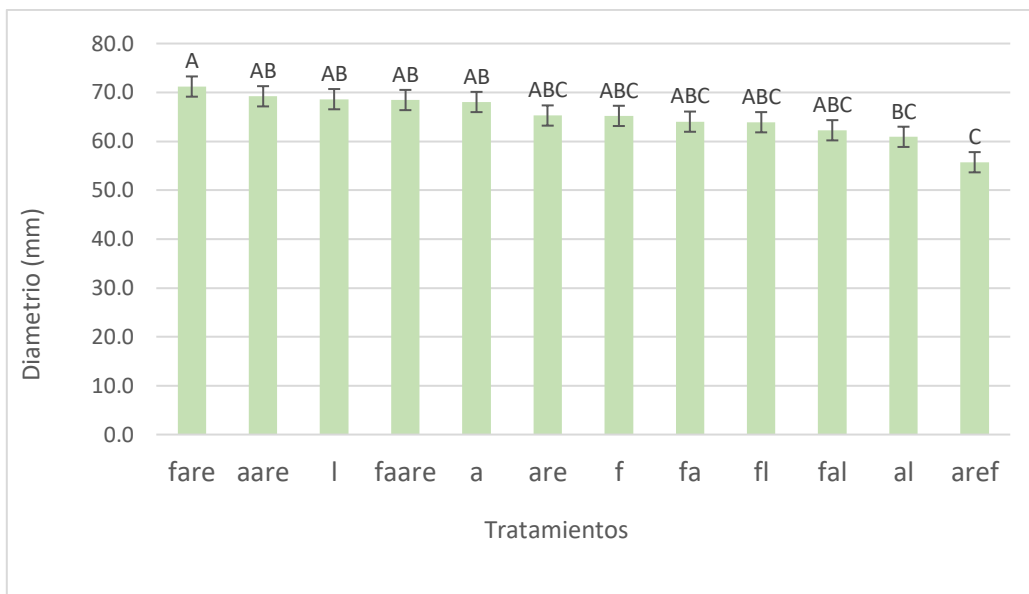


Figura 6. Relación del promedio de diámetro ecuatorial del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LS, $\alpha=0.05$). Abreviaturas: are=arenoso; aref=arenoso franco; fare=franco arenoso; faare=franco arcillo arenoso; f=franco; aare=arcillo arenoso; fa=franco arcilloso; a=arcilloso; fl=franco limoso; fal=franco arcillo limoso; al=arcillo limoso; l=limoso.

7.4.3. Diámetro polar del bulbo de cebolla

En lo que respecta a la variable de diámetro polar medido al bulbo de cebolla no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos marcados con la letra A, quedando significativamente diferentes únicamente los tratamientos de aref, al y fal (Figura 7). Prácticamente se tuvo el mismo resultado que para peso y diámetro ecuatorial del bulbo, de modo que también coincide con Tian, *et al.* (2012) y Zhao *et al.*(2015).

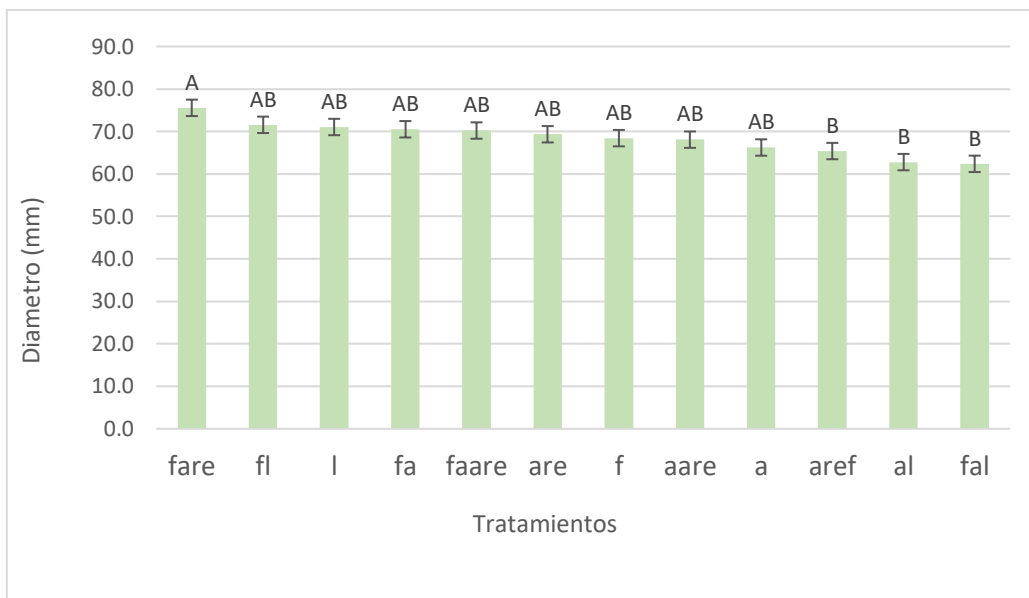


Figura 7. Relación del diámetro polar del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LS, $\alpha=0.05$). Abreviaturas: are= arenoso; aref= arenoso franco; fare= franco arenoso; faare= franco arcillo arenoso; f= franco; aare= arcillo arenoso; fa= franco arcilloso; a=arcilloso; fl= franco limoso; fal= franco arcillo limoso; al= arcillo limoso; l= limoso.

7.4.4. Firmeza del bulbo de cebolla

En el caso de la variable de firmeza del bulbo de cebolla se aprecia que no existe diferencia significativa entre los tratamientos marcados con la letra A, quedando solamente el tratamiento aref como el bulbo de menor firmeza significativamente con respecto al tratamiento de a (Figura 8). El suelo arcilloso permitió la mejor adquisición de calcio y magnesio al cultivo de cebolla mostrando esta mejor firmeza que el resto de los tratamientos, esto coincide con Zhao, Li y Sun (2007), quienes observaron que el suelo arcilloso favorece el crecimiento de la alfalfa, también coincide con Huang *et al.*, (2006) demostraron en su investigación que para tener mejor rendimiento de grano, proteína, aceite, y almidón del maíz con un alto contenido de aceite era mejor sembrar en suelos arcillosos, le sigue el suelo franco y después el suelo arenoso.

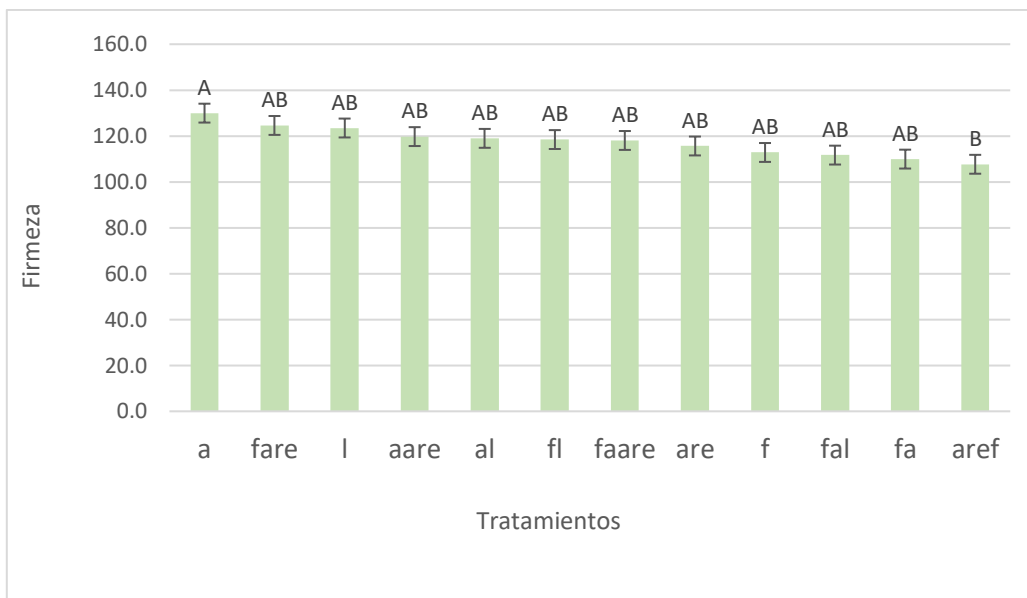


Figura 8. Relación de la firmeza del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LS, $\alpha=0.05$). Abreviaturas: are=arenoso; aref= arenoso franco; fare= franco arenoso; faare= franco arcillo arenoso; f= franco; aare= arcillo arenoso; fa= franco arcilloso; a= arcilloso; fl=franco limoso; fal= franco arcillo limoso; al= arcillo limoso; l= limoso.

7.4.5. Grados Brix del bulbo de cebolla

La variable grados Brix medida al bulbo de cebolla no presenta diferencia significativa entre los 12 tratamientos, como se observa todos los tratamientos están marcados con la letra A (Figura 9). Al contar los suelos arcillosos con microporos como una característica propia de ellos se sabe que tienen mejor capacidad de retención de humedad en el suelo, lo cual coincide con Escobar (2016) quien señala que la humedad que se mantiene disponible en un suelo para el cultivo está directamente relacionado con respecto a la masa de sólidos de este, lo que permite que los nutrientes se mantengan a disposición del cultivo establecido, pero lo que se observó en los tratamientos con frecuencia de riego diario (A), es que todos los tratamientos de texturas distintas no presentaron diferencias significativas en la variable de grados Brix del bulbo de la cebolla, y esto se puede deber principalmente a que se contó con una frecuencia de riego diaria, lo cual se interpreta como que los nutrientes se facilitaron al cultivo de manera diaria, y estuvieron al alcance de las raíces en todo momento.

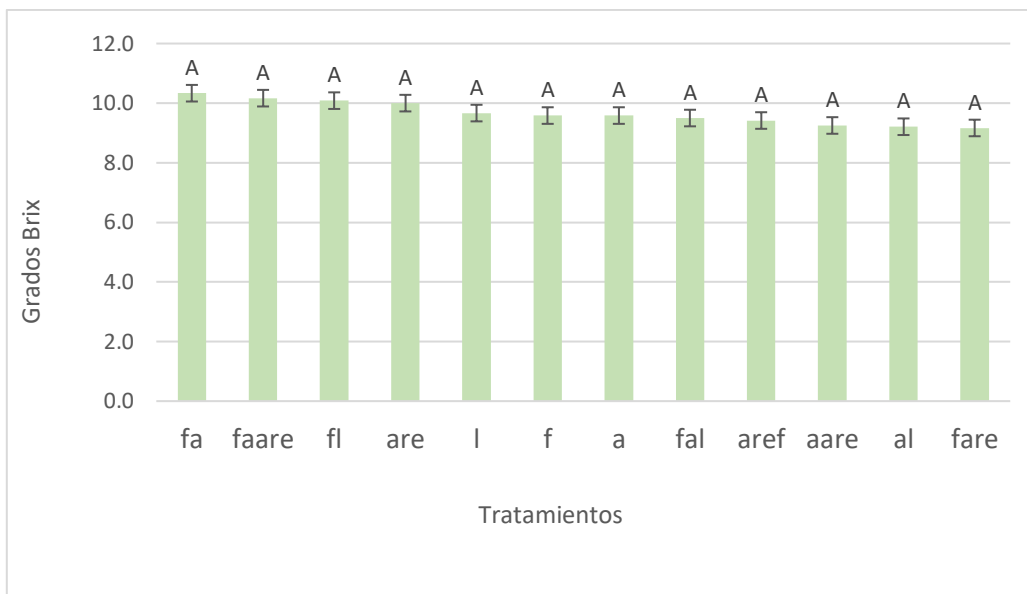


Figura 9. Relación de los grados Brix del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LS, $\alpha=0.05$). Abreviaturas: are= arenoso; aref= arenoso franco; fare= franco arenoso; faare= franco arcillo arenoso; f=franco; aare= arcillo arenoso; fa= franco arcilloso; a=arcilloso; fl= franco limoso; fal= franco arcillo limoso; al= arcillo limoso; l= limoso.

7.4.6. Peso del bulbo seco de cebolla

En lo que respecta al peso del bulbo seco se observa que el tratamiento aare fue significativamente mayor su peso seco, aunque que no tuvo diferencia significativa con los tratamientos a, fl, al, fa, faare, fare, l, f, y en el tratamiento aref, ocurrió el peso más bajo estadísticamente (Figura 10). Además, se observa que los suelos arcillosos y francos en general presentan mejor peso del bulbo seco. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Luo *et al.* (2009), quienes mostraron en su investigación que, en comparación con el suelo marga pesada, la marga arenosa permitió que el cultivo de algodón acumule mayor biomasa más rápido y también nitrógeno en fechas tempranas de su ciclo vegetativo, y el día con la tasa de acumulación máxima ocurre antes, los cuales son más propicios para la acumulación de nutrientes.

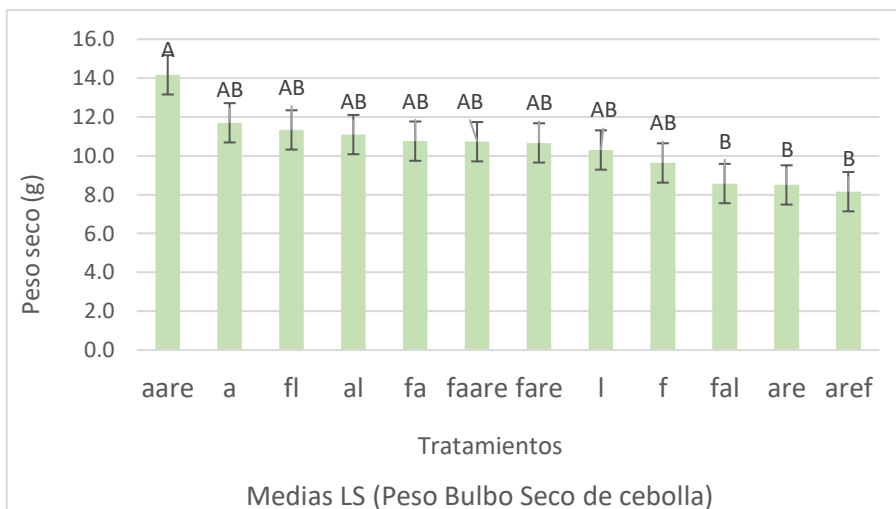


Figura 10. Relación del peso seco del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LS, $\alpha=0.05$). Abreviaturas: are= arenoso; aref= arenoso franco; fare= franco arenoso; faare= franco arcillo arenoso; f= franco; aare= arcillo arenoso; fa= franco arcilloso; a= arcilloso; fl= franco limoso; fal= franco arcillo limoso; al= arcillo limoso; l= limoso.

7.4.7. Relación diámetro polar y diámetro ecuatorial del bulbo de cebolla

En lo referente a la relación entre el diámetro polar y el diámetro ecuatorial se puede observar que no existe diferencia significativa entre los tratamientos señalados con la letra A, quedando con una relación mayor a uno y significativamente diferentes a los tratamientos fal, aare y a (Figura 11). Al tener una relación mayor a uno significa que es una cebolla alargada en la dirección polar. Además, se observa que el bulbo de cebolla con mejor relación DP/DE se desarrolló en las texturas fal, aare y a, y esto no coincide con Rosas (2009), quien menciona que para el buen desarrollo del cultivo de cebolla se recomiendan los suelos orgánicos, ligeros de textura arenosa, suelos limosos y limo arenosos, y que los suelos arcillosos no se recomiendan para este cultivo. Esto puede deberse a que, al mantener una frecuencia de riego diaria, los suelos arcillosos se mantienen blandos, propiciándose así un buen lugar para que el bulbo de la cebolla se desarrolle mejor.

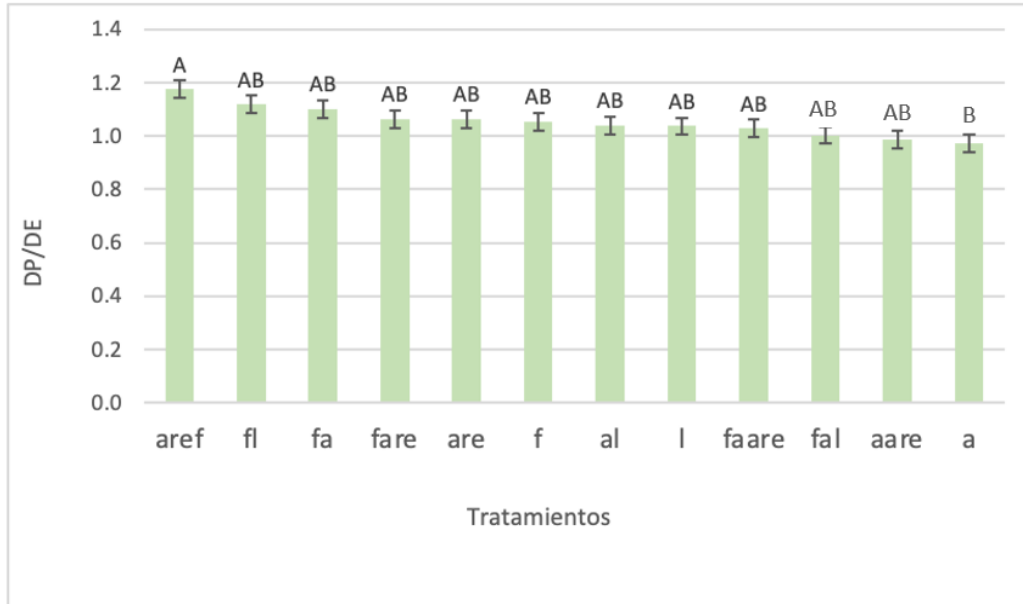


Figura 11. Correspondencia entre la relación del diámetro polar y el diámetro ecuatorial con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LS, $\alpha=0.05$). Abreviaturas: are= arenoso; aref= arenoso franco; fare= franco arenoso; faare= franco arcillo arenoso; f= franco; aare= arcillo arenoso; fa= franco arcilloso; a= arcilloso; fl=franco limoso; fal= franco arcillo limoso; al= arcillo limoso; l=limoso.

7.4.8. Relación peso húmedo/peso seco del bulbo de cebolla

En lo que respecta a esta sección se hizo un análisis de la relación entre las variables peso del bulbo de cebolla cosechada con peso seco del bulbo de la cebolla, donde entre más alta sea la relación, mayor es el contenido de humedad del bulbo, y entre menor es esta relación menor es el contenido de humedad y mayor la cantidad de materia seca que conforma el bulbo.

En lo referente a la relación entre el peso húmedo y el peso seco del bulbo de cebolla se observa que no existe diferencia significativa entre los tratamientos marcados la letra A, quedando señalados con la letra B los dos tratamientos que son significativamente diferentes a los demás (Figura 12). En la figura 12 se pueden observar a los tratamientos aare y aref como los dos tratamientos cuya relación peso húmedo con peso seco del bulbo son las más bajas, mostrando que tiene mayor cantidad de materia seca y menor humedad que el resto de los tratamientos,

y si observamos la figura 5 referente al peso del bulbo con humedad se puede ver como estos dos tratamientos son extremos, es decir, mientras que fare presenta el mayor peso del bulbo, el aref presenta el menor peso en promedio del bulbo de cebolla, lo que significa que mientras el tratamiento fare se puede considerar como la textura que mostró el mejor resultado en cuanto a peso de cebolla y en cuanto a relación peso húmedo con peso seco del bulbo, el tratamiento aref, aunque tuvo buena relación entre peso húmedo y peso seco de bulbo, no tuvo buen peso del bulbo con humedad, de modo que es insuficiente para considerarlo como un buen suelo para el desarrollo del bulbo de cebolla. Esto coincide con Sperry *et al.* (2002) quienes afirman que los factores edáficos y biológicos son determinantes en el suministro de agua y por lo tanto de nutrientes al follaje y juegan un papel importante en la evolución y desarrollo de los cultivos.

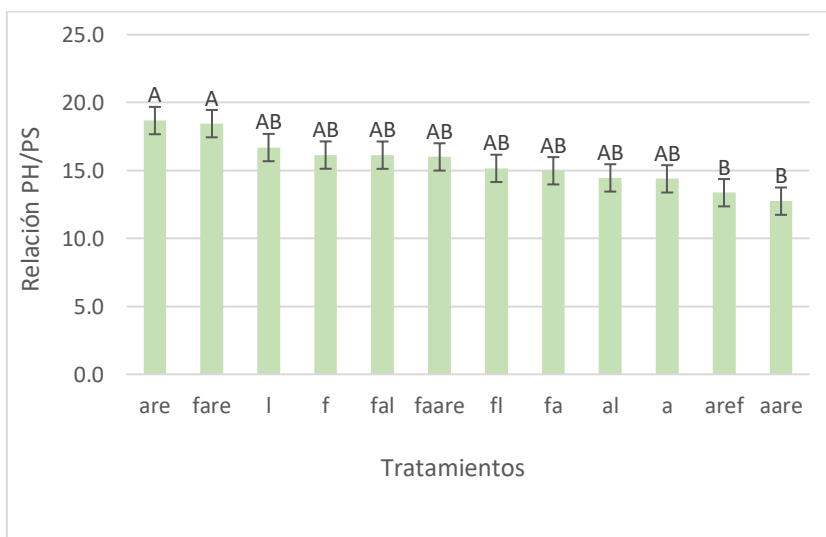


Figura 12. Correspondencia entre la relación del peso húmedo del bulbo y el peso seco del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LS, $\alpha=0.05$). Abreviaturas: are=arenoso; aref=arenoso franco; fare=franco arenoso; faare= franco arcillo arenoso; f= franco; aare= arcillo arenoso; fa= franco arcilloso; a= arcilloso; fl= franco limoso; fal= franco arcillo limoso; al= arcillo limoso; l= limoso.

7.5. Frecuencia de Riego B

La frecuencia de riego B consistió en analizar los datos recabados de los 12 tratamientos de las 12 clases texturales correspondientes al intervalo de riego de cada cinco días.

7.5.1. Peso del bulbo de cebolla

En la gráfica se observa que el peso promedio más alto con 192.4 g ocurrió en el tratamiento fl (20 % arena, 62 % limo, 18 arcilla), mientras que el peso promedio más bajo ocurrió en el tratamiento f (47 % arena, 32 % limo y 21 % arcilla) (Figura 13). Además, se observa que no existe diferencia significativa entre los tratamientos fl, aarea, al, l, fare, fa, a, faare, are, fal, aref. Estos resultados difieren con respecto a Lu *et al.*, (2010), quien afirma que la textura del suelo es muy importante en el potencial productivo del suelo, y que suelos con diferentes texturas tienen grandes diferencias tanto químicas, físicas, mecánicas, de partículas y porosidad, lo cual influye en el crecimiento y desarrollo de los cultivos al tener influencia en el calor, gas, agua y nutrientes contenidos en el suelo. Sin embargo, en este estudio en los tratamientos con frecuencia de riego discontinuo (B), el peso del bulbo de cebolla no mostró diferencia significativa en 11 de los 12 tratamientos, y esto se puede deber a que el suelo recibió la humedad en el tiempo pertinente, y el cultivo pudo tomar los nutrientes necesarios para su desarrollo.

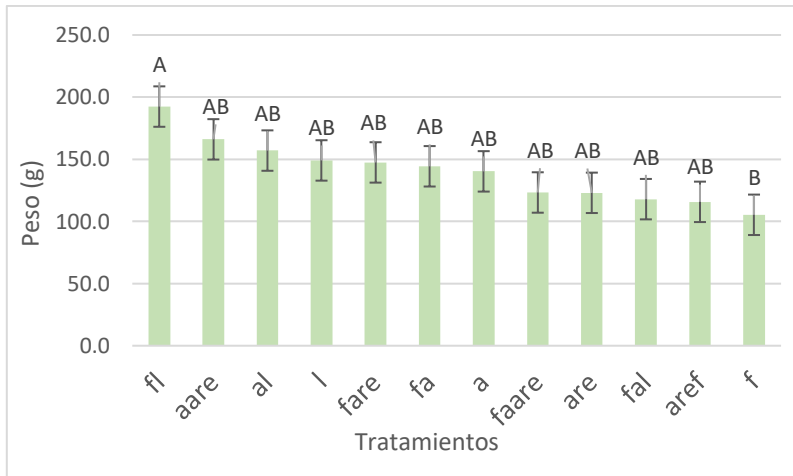


Figura 13. Relación del peso del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LS, $\alpha=0.05$). Abreviaturas: are=arenoso; aref= arenoso franco; fare= franco arenoso; faare= franco arcillo arenoso; f= franco; aare= arcillo arenoso; fa= franco arcilloso; a= arcilloso; fl= franco limoso; fal=franco arcillo limoso; al=arcillo limoso; l=limoso.

7.5.2. Diámetro ecuatorial del bulbo de cebolla

En lo referente al diámetro ecuatorial del bulbo de cebolla se puede observar que el tratamiento fl con 67.475 mm fue significativamente ($P \leq 0.05$) mayor que f con 54.531 mm (Figura 14). Estos resultados son muy similares a los obtenidos con la variable de peso del bulbo de modo que tampoco coinciden con Lu *et al.*, (2010). Esto se puede deber a que la frecuencia de riego de cada cinco días les permitió a los suelos con diferentes texturas aportarle los nutrientes suficientes para desarrollarse a los bulbos de cebolla.

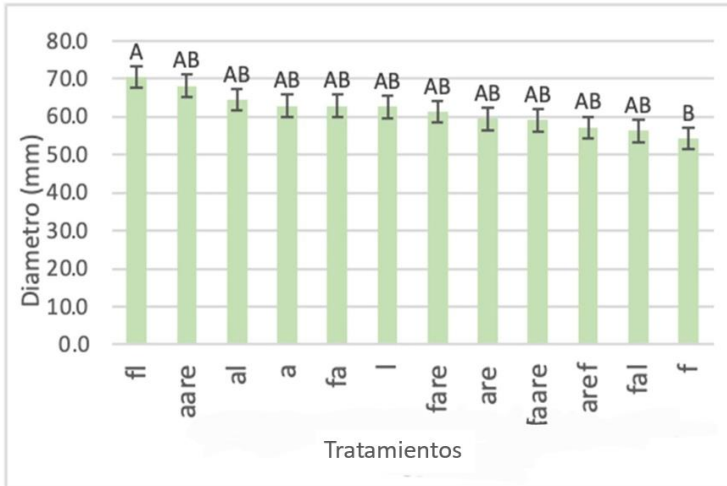


Figura 14. Relación del diámetro ecuatorial del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LS, $\alpha=0.05$). Abreviaturas: are=arenoso; aref=arenoso franco; fare= franco arenoso; faare= franco arcillo arenoso; f= franco; aare= arcillo arenoso; fa= franco arcilloso; a= arcilloso; fl= franco limoso; fal= franco arcillo limoso; al= arcillo limoso; l= limoso.

7.5.3. Diámetro polar del bulbo de cebolla

En lo que respecta a la variable de diámetro polar medido al bulbo de cebolla se tiene que no existe diferencia significativa entre los 12 tratamientos y que están marcados con la letra A. Sin embargo, hay que decir que en la textura l (18 % arena, 81 % limo y 1 arcilla ocurrió el diámetro polar más grande, en contraste con el diámetro promedio ocurrido en el tratamiento f (47 % arena, 32 % limo y 21 % arcilla (Figura 15). Estos resultados son muy similares a los obtenidos con la variable de peso del bulbo de modo que tampoco coinciden con Lu *et al.* (2010).

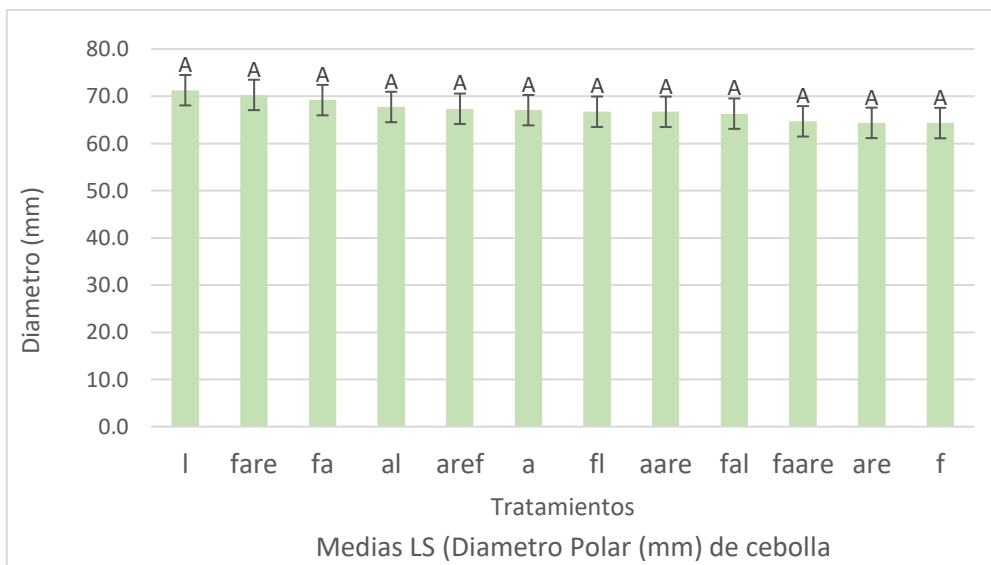


Figura 15. Relación del diámetro polar del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LS, $\alpha=0.05$). Abreviaturas: are=arenoso; aref=arenoso franco; fare=franco arenoso; faare=franco arcillo arenoso; f=franco; aare=arcillo arenoso; fa=franco arcilloso; a=arcilloso; fl=franco limoso; fal=franco arcillo limoso; al=arcillo limoso; l=limoso.

7.5.4. Firmeza del bulbo de cebolla

En el caso de la variable de firmeza del bulbo de cebolla se aprecia que el tratamiento con mayor firmeza significativa ($P \leq 0.05$) se presentó en el tratamiento a (16 % arena, 21 % limo y 63 % arcilla), con respecto a la firmeza más baja que tuvieron las cebollas del tratamiento are (96 % arena, 1 % limo y 3 % arcilla) (Figura 16). Los suelos arcillosos influyen mucho en la adquisición de calcio y magnesio por parte del cultivo de cebolla mostrando ésta una mejor firmeza que el resto de los tratamientos, observando resultados semejantes en los 24 tratamientos, es decir, tanto en los que tuvieron frecuencia de riego diario (A), como en los que tuvieron frecuencia de riego discontinuo (B), de modo que la frecuencia de riego no influyó sobre la variable de firmeza del bulbo de cebolla. Esto coincide con Zhao, Li y Sun (2007), que obtuvieron que en suelos arcillosos se ve favorecido el crecimiento de la alfalfa, además coincide con Huang *et al.* (2006) que mostraron en su trabajo que para mejorar el rendimiento de grano, proteína, aceite, y almidón del maíz con mayor contenido de aceite fue mejor sembrar en texturas arcillosas, luego le sigue el suelo marga y después el suelo arenoso.

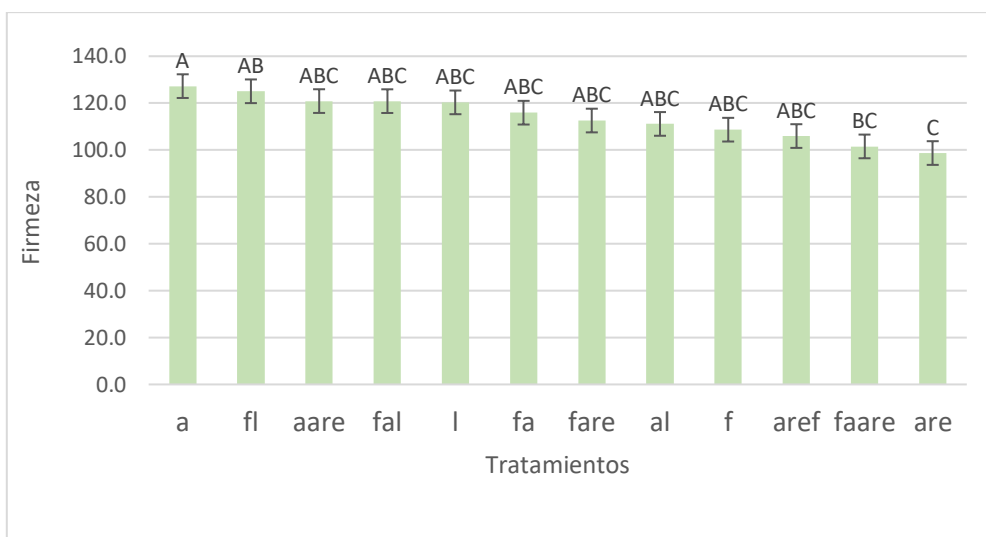


Figura 16. Relación de la firmeza del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LS, $\alpha=0.05$). Abreviaturas: are=arenoso; aref=arenoso franco; fare=franco arenoso; faare=franco arcillo arenoso; f=franco; aare=arcillo arenoso; fa=franco arcilloso; a=arcilloso; fl=franco limoso; fal=franco arcillo limoso; al=arcillo limoso; l=limoso.

7.5.5. Grados Brix del bulbo de cebolla

En el tratamiento f (47 % arena, 32 % limo y 21 % arcilla) se tuvieron las cebollas significativamente de mayor ($P \leq 0.05$) concentración de grados Brix, con un promedio de 11, con respecto al tratamiento faare (62 % arena, 10 % limo y 29 % arcilla) se tuvieron valores promedio de 8.8 grados Brix (Figura 17). Esto probablemente se deba a que la cantidad de agua que es retenida en los suelos arcillosos es mayor debido a los microporos contenidos en este tipo de textura del suelo, permitiendo de esta manera que los nutrientes se mantengan mayor tiempo a disposición del cultivo de cebolla, lo cual coincide con Escobar (2016), quien señala que la cantidad relativa de agua disponible que se encuentra en el suelo está directamente relacionado con respecto a la masa de sólido de este.

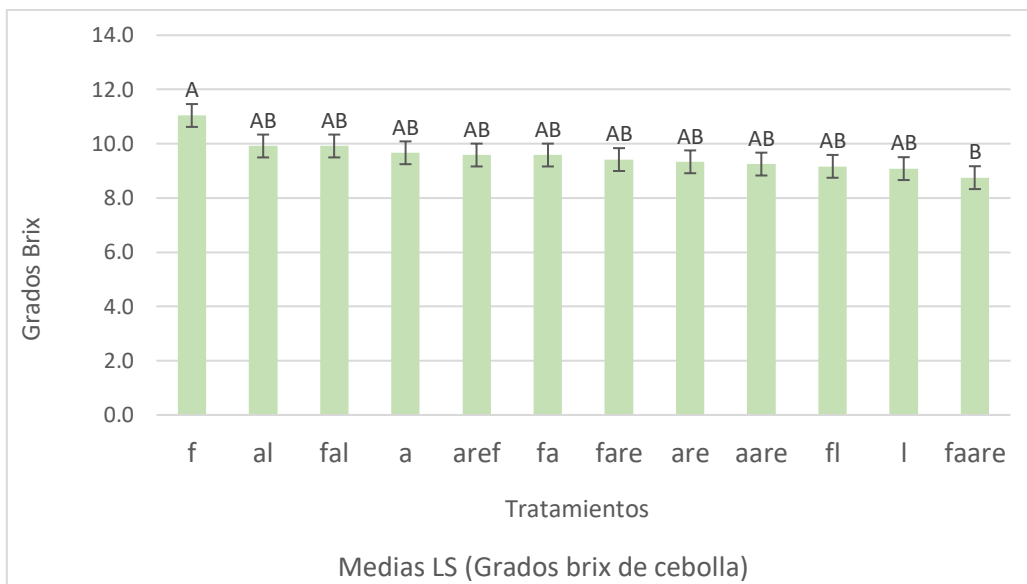


Figura 17. Relación de los grados Brix del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LS, $\alpha=0.05$). Abreviaturas: are=arenoso; aref=arenoso franco; fare=franco arenoso; faare=franco arcillo arenoso; f=franco; aare=arcillo arenoso; fa=franco arcilloso; a=arcilloso; fl=franco limoso; fal=franco arcillo limoso; al=arcillo limoso; l=limoso.

7.5.6. Peso del bulbo seco de cebolla

En lo que respecta al peso del bulbo seco se observa que solamente dos tratamientos tienen un peso del bulbo seco más alto sin diferencia significativa señalados con la letra A, siete tratamientos señalados con la letra B no tienen diferencia significativa entre ellos (Figura 18). Aquí se observa que en los tratamientos con frecuencia de riego discontinuo (B), en general estos presentaron valores menores en la variable de peso seco del bulbo de cebolla, y esto puede deberse a la diferencia entre las frecuencias de riego usadas. Además, estos resultados coinciden con Luo *et al.* (2009), quienes observaron en su trabajo que a diferencia del suelo marga pesada, el suelo marga arenosa permitió que el cultivo de algodón acumulara más biomasa y también nitrógeno en fechas tempranas de su ciclo vegetativo, y el día con la tasa de acumulación máxima ocurre antes, los cuales son más propicios para la acumulación de nutrientes.

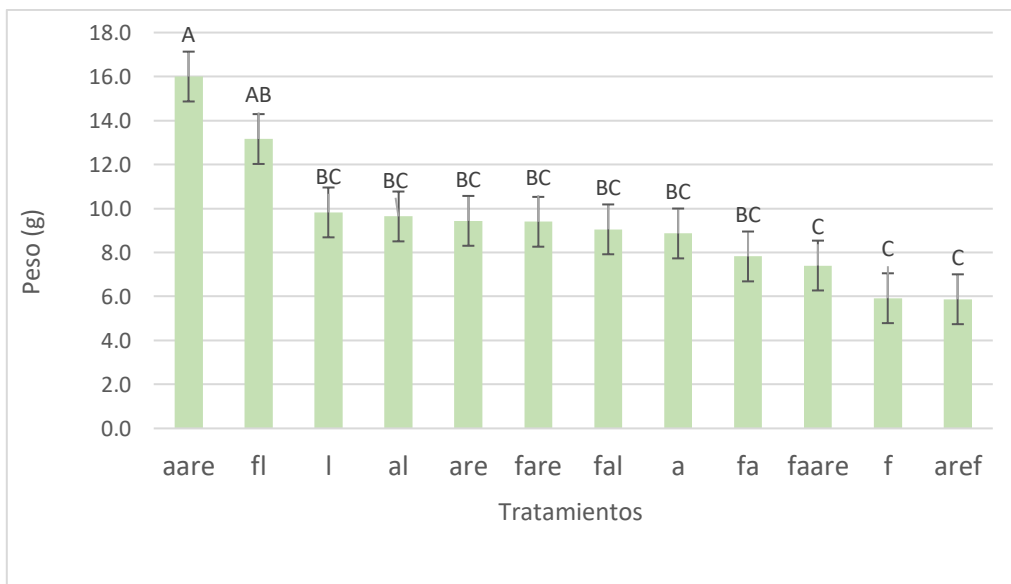


Figura 18. Relación del peso seco del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LS, $\alpha=0.05$). Abreviaturas: are=arenoso; aref=arenoso franco; fare=franco arenoso; faare=franco arcillo arenoso; f=franco; aare=arcillo arenoso; fa=franco arcilloso; a=arcilloso; fl=franco limoso; fal=franco arcillo limoso; al=arcillo limoso; l=limoso.

7.5.7. Relación diámetro polar y diámetro ecuatorial del bulbo de cebolla

En lo referente a la relación entre el diámetro polar y el diámetro ecuatorial se puede observar que el tratamiento f (47 % arena, 32 % limo y 21 % arcilla) tuvo las cebollas con mayor relación diámetro polar/ diámetro ecuatorial), mientras que el tratamiento fl (no existe diferencia significativa entre los tratamientos señalados con la letra A, quedando solamente el tratamiento fl (20 % arena, 62 % limo, 18 arcilla) con una relación DP/DE de 0.9 (Figura 19). En los tratamientos con frecuencia de riego de cada cinco días (B), la humedad tendió a disminuir en los suelos francos, limosos y arenosos, debido a que tienen menor capacidad de retención de humedad como lo señalan (Porta *et al.*, 2003, Henríquez y Cabalceta, 2012). Lo anterior ocasionó que el suelo se auto compactara con los riegos, haciendo que el bulbo de cebolla tomara una forma alargada, con una relación media entre DP/DE de 1.1 a 1.2 en los tratamientos señalados con la letra A en la gráfica 19.

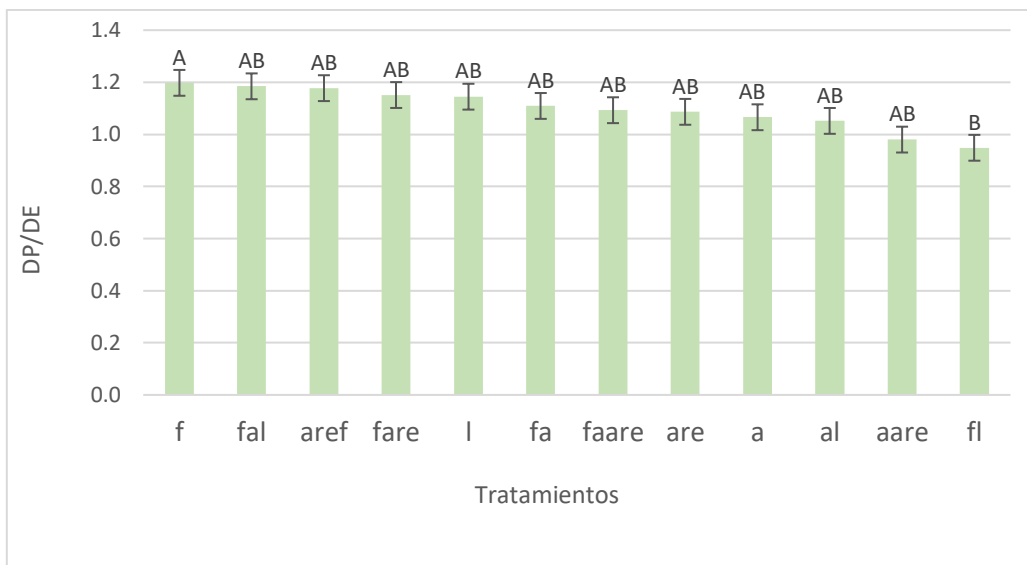


Figura 19. Correspondencia entre la relación del peso húmedo del bulbo y el peso seco del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LS, $\alpha=0.05$). Abreviaturas: are=arenoso; aref=arenoso franco; fare=franco arenoso; faare=franco arcillo arenoso; f=franco; aare=arcillo arenoso; fa=franco arcilloso; a=arcilloso; fl=franco limoso; fal=franco arcillo limoso; al=arcillo limoso; l=limoso.

7.5.8. Relación peso húmedo/peso seco del bulbo de cebolla

En este apartado se relacionan las variables peso del bulbo de cebolla cosechada con peso seco del bulbo de la cebolla, donde entre más alta sea la relación, mayor es el contenido de humedad del bulbo, y entre menor es esta relación menor es el contenido de humedad y mayor la cantidad de materia seca que conforma el bulbo. En lo referente a la relación entre el peso húmedo y el peso seco del bulbo de cebolla se observa que no existe diferencia significativa entre los tratamientos marcados con la letra A, quedando señalados con las letras B y C los dos tratamientos que son significativamente diferentes a los demás (Figura 20). De modo que, si observa que el peso del bulbo en la figura 13, y lo obtenido con su relación con el peso del bulbo seco en la figura 20, se puede determinar que el tratamiento fl y aare son los de mayor peso significativo con respecto al resto, pero tienen una relación menor entre peso húmedo y peso seco del bulbo de cebolla. Lo anterior se puede deber a que los suelos arcillosos mantienen la humedad en mayor medida en comparación con las otras texturas, de modo que la planta puede tomar

los nutrientes con mayor libertad y en el tiempo que lo requiere. Esto coincide con Kramer y Boyer (1995) quienes afirman que la limitación debido al agua se considera la más general e importante para la productividad de la vegetación de cualquier cultivo.

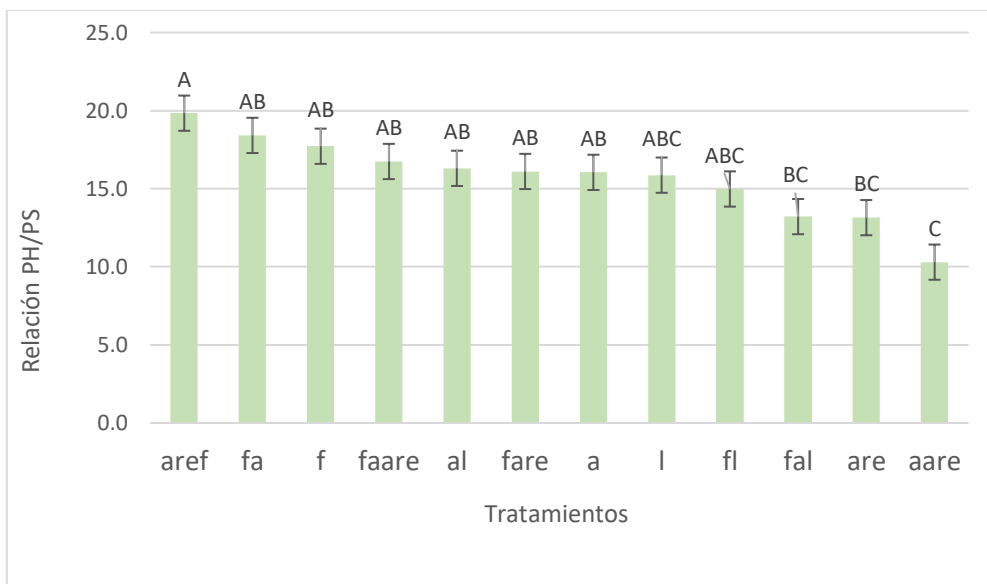


Figura 20. Correspondencia entre la relación del peso húmedo del bulbo y el peso seco del bulbo con respecto a los 12 tratamientos del intervalo de riego diario. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LS, $\alpha=0.05$). Abreviaturas: are=arenoso; aref=arenoso franco; fare=franco arenoso; faare=franco arcillo arenoso; f=franco; aare=arcillo arenoso; fa=franco arcilloso; a=arcilloso; fl=franco limoso; fal=franco arcillo limoso; al=arcillo limoso; l=limoso.

VIII. CONCLUSIONES

- a) El general el cultivo de cebolla tuvo mayor rendimiento y mejor calidad de bulbo cuando tuvo una frecuencia de riego diario (A), que cuando la frecuencia de riego fue discontinua con intervalo entre riegos de cinco días (B).
- b) En lo que respecta a las clases texturales del suelo, de las 12 texturas analizadas, en la textura franco-limosa (fl) y la textura arcillo-arenosa (aare) se tuvieron las cebollas con mayor rendimiento y mejor calidad.
- c) En los suelos de textura franca y con frecuencia de riego diario se desarrollaron los bulbos de la cebolla de mayor calidad y rendimiento.
- d) El cultivo de cebolla tendrá una buena producción en cualquier clase textural, con frecuencia de riego intervalos cortos.

Se sugiere que, para próximas investigaciones relacionadas con las clases texturales, estas se obtengan de un lugar de origen, y que sean de los suelos de la región de interés. También que el experimento se haga a campo abierto, ya que la producción de cebolla es más común de esta manera. Además, se recomienda realizar diversos análisis químicos y físicos a todas las clases texturales, e incluso al agua empleada. Este experimento se puede llevar a cabo con otros cultivos.

IX. LITERATURA CITADA

- Addinsoft. (2023). XLSTAT. Statistical Software. BroNY, USA: Addinsoft, Inc.
- Aguilera, C. M., y Martínez, E. R. (1996). Relaciones agua suelo planta atmósfera. 4ta. Edición. Universidad Autónoma de Chapingo. Patronato de la Universidad Autónoma Chapingo 256 p.
- Al-Jamal, M. S., Sammis, T. W., Ball, S. y Smeal, D. (2000). Cálculo de la función de producción de agua de cultivo para la cebolla. *Manejo Agrícola del Agua*, 46 (1), 29-41.
- Álvarez, J., Alvarado O., y Suesca F. (2017). Efecto de diferentes láminas de riego en el crecimiento y desarrollo de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.), 11, 2, julio-diciembre, pp.359-367.
- Angelone, S., Garibay, M. T., y Cauhapé, M. (2006). Geología y geotecnia: permeabilidad de suelos. Rosario: Universidad Nacional de Rosario. [http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiygeotecnia/Permeabilidad% 20en% 20Suelos. pdf](http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf).
- Araus, J. L., Slafer, G. A., Reynolds, M. P y Royo, C. (2002). Fitomejoramiento y sequía en cereales C3: ¿para qué debemos mejorar? *Anales de botánica*, 89 (7), 925-940.
- Assuero, S., Rattin, J., Saluzzo, J., Sasso, G., y Tognetti, J. (2007). Observaciones sobre la producción y conservación de cebolla en el sudeste de Buenos Aires en relación con la disponibilidad hídrica. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 106(2), 109-118.
- Bekele S., y Tilahun K. (2007). Regulated deficit irrigation scheduling of onion in a semiarid region of Ethiopia. *Agric. Water Manage.* 89 (1-2), 148-152. Doi 10.1016/j.agwat.2007.01.002.
- Brewster, J. L. (2008). Onions and other vegetable alliums 2nd Edition. In *Crop Production Science in Horticulture* 15: 1-432
- Calle, K., y Proaño, J. (2003). Determinación de la Curva de Retención de Humedad para los principales tipos de suelo de la Península de Santa Elena, Provincia del Guayas. In *X Congreso Ecuatoriano del Suelo* (p. 25).
- Castro, H. (1998). Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas. Manual técnico. Editorial Produmedios, Tunja. 360 p.
- Chapin, F. S., Matson, P. A., Mooney, H. A y Vitousek, P. M. (2002). Principios de la ecología de los ecosistemas terrestres.

- Chope, G. A., Cools, K., Hammond, J. P., Thompson, A. J y Terry, L. A. (2012). Análisis fisiológico, bioquímico y transcripcional de bulbos de cebolla durante el almacenamiento. *Anales de botánica*, 109 (4), 819-831.
- Dregne, H. E. (1976). *Suelos de regiones áridas*. Elsevier Scientific Publishing Co..
- Duarte-Díaz, C. E., Zamora-Herrera, E. I., y León-Fundora, M. (2012). Efecto del coeficiente de estrés hídrico sobre los rendimientos del cultivo de cebolla. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(4), 42-47.
- De Santa Olalla, F. M., Domínguez-Padilla, A., y López, R. (2004). Producción y calidad del cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) cultivada en condiciones de riego deficitario controlado en clima semiárido. *Manejo Agrícola del Agua*, 68 (1), 77-89.
- De Santa Olalla, M. F., P. L. Fuster, y A. C. Belmonte. (2005). *Agua y agronomía*. Universidad de Castilla- La Mancha. Eds. Mundi Prensa. España.
- Estrada W., Lescay E., Álvarez A. y Maceo Y. (2015). Niveles de humedad en el suelo en la producción de bulbos de cebolla. *Agron. Mesoam*. 26(1), 111-117. Doi: 10.15517/am.v26i1.16934.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Roma, Italia.
- Villasanti, C., Román, P., y Pantoja, A. (2013). El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 31.
- FAO. (2002). *Los fertilizantes y su uso*. Cuarta edición. Roma, Italia. 77 p.
- FAOSTAT (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Dirección de Estadística). (2019). *Producción/Cultivos/Cebolla Seca*. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>, consultado en enero de 2021.
- Graham, S. L., Kochendorfer, J., McMillan, A. M., Duncan, M J., Srinivasan, M. S y Hertzog, G. (2016). Efectos de la gestión agrícola en las mediciones, la predicción y la partición de la evapotranspiración en los pastizales de regadío. *Gestión del agua agrícola*, 177, 340-347.
- Guzmán, R. S. C., Valenzuela, S. C., Felix, V. P., Jiménez, T. A., y Ruiz, C. S. (2008). *Necesidades hídricas de los principales cultivos en el estado de Baja California*. Centro de Investigación Regional del Noroeste. Campo Experimental Valle de Mexicali. Folleto Técnico, (13).

- Hatfield, J. L., y Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: effect on plant growth and development. *Weather Clim Extrem* 10: 4–10.
- Henríquez C., y Cabalceta G. (2012). Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque Agrícola. ACCS. 2a ed. San José, Costa Rica. 112p.
- Huang, Y., Ma, E. P., Yang, Q. H., Liu, Y. Y., y Li, C. H. (2006). Effects of post-anthesis irrigation on carbon and nitrogen assimilate translocation in high-oil corn. *Journal of Soil and Water Conservation*, 20(6), 124-127.
- Ikeda, H., Kinoshita, T., Yamamoto, T. y Yamasaki, A. (2019). El tiempo y la temperatura de siembra influyen en el desarrollo del bulbo en la cebolleta (*Allium cepa* L.). *Scientia Horticulturae*, 244, 242-248.
- Irfan, M., Hayat, S., Hayat, Q., Afroz, S. y Ahmad, A. (2010). Cambios fisiológicos y bioquímicos en plantas bajo anegamiento. *Protoplasma*, 241, 3-17.
- Integrated Taxonomic Information Sistem (ITIS). *Allium cepa* L. Taxonomic Serial No. 42720.2021. Disponible en: https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=42720#null Consulta: 20/01/2021
- Juma, N. G. (1993). Interrelaciones entre estructura/textura del suelo, biota del suelo/materia orgánica del suelo y producción de cultivos. En *Interrelaciones entre la estructura del suelo y la biota del suelo* (págs. 3-30). Elsevier.
- Khazada, A. N. A. B., Ansari, M. A. , Chang, B.H., Rajput, A. M. M. A. R. A., Magsi, F. H. y Ali, U. M. E. D. (2016). Evaluar el momento adecuado y dividir las tasas de aplicación de nitrógeno para mejorar el crecimiento y el rendimiento del girasol. *Euroacademia. Res*, 4 (7), 5986-6007.
- Kramer, P. J y Boyer, J. S. (1995). *Relaciones hídricas de plantas y suelos*. Prensa académica.
- Krebs, C. J. (1999) *Ecological Methodology*. 2nd Edition, Benjamin Cummings, Menlo Park, 620 p.
- Kumar, S., Imtiyaz, M. y Kumar, A. (2007a). Efecto de los regímenes diferenciales de humedad y nutrientes del suelo sobre los atributos poscosecha de la cebolla (*Allium cepa* L.). *Scientia Horticulturae*, 112 (2), 121-129.
- Kumar, S., Imtiyaz, M., Kumar, A. y Singh, R. (2007b). Respuesta de cebolla (*Allium cepa* L.) a diferentes niveles de agua de riego. *Gestión del agua agrícola*, 89 (1-2), 161-166.

- Lacasta, C., Meco, R., y Marie, N. (2005). Evolución de las producciones y de los parámetros químicos y bioquímicos del suelo, en un agrosistema de cereales sometido a diferentes manejos de suelo durante 21 años. El reto de la Agricultura y Medio Ambiente, la Energía y la Nueva Política Agraria Común. Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación, 429-436.
- Lal, R. y Shukla, M. K. (2004). Principios de la física del suelo. Prensa CRC.
- Lancaster, J. E., Triggs, C. M., De Ruiter, J. M y Gandar, P. W. (1996). Bulbo en cebolla: requisitos de fotoperiodo y temperatura y predicción del tamaño y madurez del bulbo. *Anales de Botánica*, 78 (4), 423-430.
- Li, C. H., Q. Wang, y S. P. Hao. (2002). Advances of studies on the effect of soil physical properties on soil biological activity and crop growth. *Journal of Henan Agricultural University* 36:32–37.
- Locascio, S. J. (2005). Fertirrigación en Cultivos Hortícolas Microrriego: Hortalizas. Procedimientos de fertirrigación: documentos seleccionados presentados en la reunión conjunta, 20, 146.
- López-Urquídez, G. A., Gastélum-González, S. A., Díaz-Valdés, T., Ayala-Tafoya, F., Madueño-Martínez, J. I., y López-Orona, C. A. (2017). Incremento del tamaño y peso del bulbo de cebolla (*Allium cepa* L.) por translocación de nutrientes. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(7), 1647-1652.
- López-Urrea, R., de Santa-Olalla, F. M., Fabeiro, C., y Moratalla, A. (2006). Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. *Agricultural water management*, 85(1-2), 15-26.
- López-López, R., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña M. A., López-Cruz, I., y Sánchez-Cohen I. (2009). Índice de estrés hídrico como un indicador del momento del riego en cultivos agrícolas. *Revista Agricultura Técnica en México*, 35(1): 92-106.
- Lu, H. D., Xue, J. Q., Ma, G. S., Hao, Y. C., Zhang, R. H y Ma X. F. (2010). Propiedades físicas y químicas del suelo y distribución de raíces en campos de maíz de primavera de alto rendimiento en Yulin, provincia de Shaanxi. *Revista china de ecología aplicada* 21: 895 - 900.
- Luo, X., Chen, N. B., Zhang, J. S., Jiang, P. A., Lou, S. W., Peng, X. F y He, J. L. (2009). Efecto de los niveles de nitrógeno aplicados en la dinámica de la biomasa, acumulación de nitrógeno de la planta de algodón en diferentes texturas del suelo. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica* 18: 160 – 66.
- Maselli, F., Chiesi, M., Angeli, L., Fibbi, L., Rapi, B., Romani, M. y Battista, P. (2020). An improved NDVI-based method to predict actual evapotranspiration of irrigated grasses and crops. *Agricultural Water Management*, 233, 106077.

- Mata, V. H. (2011). Instituto nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias. Centro de investigación del noroeste. Libro técnico No. 5.
- Medrano, H., J. Galmés y J. Flexas. (2008). Fijación del dióxido de carbono y biosíntesis de fotoasimilados. pp. 211-126. En: Azcón-Bieto, J. y M. Talón (eds.). Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill, Barcelona, España.
- Metwally, A. K. (2011). Effect of water supply on vegetative growth and yield characteristics in onion (*Allium cepa* L.). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(12), 3016-3023.
- Morla, F. D., Giayetto, O., Cerioni, G. A., y Fernandez, E. M. (2016). Crecimiento y partición de biomasa de dos cultivares de maní (*Arachis hypogaea* L.) en distintas fechas de siembra en Río Cuarto, Córdoba (Argentina). *European Scientific Journal*, 12(30), 334-352.
- Petit, G. (2004). Efecto de tres frecuencias de riego en el rendimiento y calidad de la cebolla cv 'Mercedez'. El papel principal del Programa de Hortalizas es generar y transferir información sobre estas técnicas, que permiten al productor tomar decisiones que resulten en mayores ventajas productivas y económicas. La investigación realizada hasta este año había sido orientada en su mayor parte hacia la evaluación de variedades de varias hortalizas y la determinación de la eficacia de plaguicidas en, 11.
- Porta, J., Lopez-Acevedo, M., y Poch, R. (2008). Introducción a la edafología: uso y protección del suelo. Ediciones Mundi Prensa.
- Narro-Farías, E. (1994). Física de Suelos: con enfoque agrícola (No. 631.43 N168f Ej. 1 022964). Trillas.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., y Williams, J. R. (2011). Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009. Texas Water Resources Institute.
- NMX-FF-021-SCFI-2003, Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-bulbos – cebolla (*Allium Cepa* L.)- Especificaciones (Cancela a la NMX-FF-021-1986).
- Pier, J. W., y Doerge, T. A. (1995). Nitrogen and water interactions in trickle-irrigated watermelon. *Soil Science Society of America Journal*, 59(1), 145-150.
- Porta, J., López M., Roquero C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. España. 929 p.

- Ramos, C. (1999). Determinación de funciones de producción y comportamiento del cultivo de la cebolla bajo diferentes láminas de riego y dosis de fertilización fosforada en San Juan de Lagunillas, Mérida, Venezuela. *Rev. Fac. Agron.(LUZ)*, 16, 38-51.
- Rattin, J. E., Assuero, S. G., Sasso, G. O., y Tognetti, J. A. (2011). Accelerated storage losses in onion subjected to water deficit during bulb filling. *Scientia Horticulturae*, 130(1), 25-31.
- Reynolds-Henne, C. E., Langenegger, A., Mani, J., Schenk, N., Zumsteg, A., y Feller, U. (2010). Interactions between temperature, drought and stomatal opening in legumes. *Environmental and Experimental Botany*, 68(1), 37-43.
- Scheuer, D. (2007). Programación y manejo del riego. Curso internacional (Diseño de sistemas de riego a presión". Shefayim, Isarel.
- Rodríguez-González, M., Santana Sotolongo, M., Brown Manrique, O. y Alonso de la Paz, F. (2013). Riego por surco con caudal intermitente asociado al cultivo de la cebolla y su eficiencia en las pérdidas de suelo y agua por escorrentía. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(4), 50-54.
- Rosas, V. M. A. (2009). Tratamientos químicos y biológicos en el control de enfermedades de la raíz de la Cebolla (*Allium cepa* L.) y su efecto en la producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Fecha de consulta abril 26 de 2016.
- Roth, A., Sechi, T., Vivan, G., Barboza, F., Collares, G., Nebel, A., y Tavares, V. (2006). Desenvolvimento de un permeâmetro de carga constante e condutividade hidráulica em diferentes camadas de um planossolo háplico eutrófico gleissólico. 5.
- Sánchez-Díaz, M. y J. Aguirreolea. (2008). Transpiración y control estomático. pp. 41-56. En: Azcón-Bieto, J. y M. Talón (eds.). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw-Hill, Barcelona, España
- Sauter, M. (2013). Root responses to flooding. *Curr. Opin. Plant Biol.* 16(3), 282-286. Doi: 10.1016/j. pbi.2013.03.013
- Sasikala, P., K. y Pal, N. (2013). Growth analysis studies in onion (*Allium cepa* L.). *International Journal of Farm Sciences* 3 (1): 30-46.
- SEMARNAT. (2000). Norma Oficial Mexicana NOM-021- RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. Cd. Mx., México.

- Servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP), (2019). Cierre de la producción agrícola por cultivo. En Sistema de información agroalimentaria de consulta (SIACON-NG).
- Silva, P., Acevedo, E., y Silva, H. (2000). Manual de Estudio y Ejercicios. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, 2da Edición, 58.
- Sch, A. E., Grez, R., y Ramírez, C. (1997). La conductividad hidráulica en fase saturada como herramienta para el diagnóstico de la estructura del suelo. *Agro sur*, 25(1), 51-56.
- Sperry, J. S., Hacke, U. G., Oren, R. y Comstock, J. P. (2002). Déficit hídricos y límites hidráulicos al aporte hídrico foliar. *Planta, célula y medio ambiente*, 25 (2), 251-263.
- Steffens, B. (2014). The role of ethylene and ROS in salinity, heavy metal, and flooding responses in rice. *Front. Plant Sci.* 5, 685. Doi: 10.3389/fpls.2014.00685
- Taiz, L., E. Zeiger., I.M. Møller y A. Murphy. (2015). *Plant physiology and development*. 6th ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA, USA.
- Tambo, D. (2016). Efecto de niveles de Biol bovino en dos variedades de cebolla (*Allium cepa* L.) con riego complementario, en la estación experimental Choquenaira. Viacha-La Paz.
- Tapia F. (1999). El cultivo de la cebolla. Universidad de Chile. Santiago, Chile. Publicaciones misceláneas agrícolas No. 47.
- Thompson L. M., Troeh F. R., (2014). *Los suelos y su fertilidad*, España, Ed. Reverté, ed. 4, pp 649.
- Tian, H., Zhang, H. Y., Xu, X. M., Wang, H., Yang, W. G y Gao, J. M. (2012). Efecto de la textura del suelo sobre la humedad de marchitez y el crecimiento de plántulas de cultivos. *Ciencias Agrícolas de Hubei* 51: 4473 – 75.
- Torres-Godoy, F. A. (2012). Evaluación de cinco frecuencias de riego por goteo, en el rendimiento de bulbo blanco en el cultivo de cebolla (*Allium cepa*; liliaceae); asunción mita, Jutiapa.
- Tuberosa, R., y Salvi, S. (2006). Genomics-based approaches to improve drought tolerance of crops. *TRENDS in Plant Sci.* 11(8):25-29.
- White, R. E. (2005). *Principles and practice of soil science: the soil as a natural resource*. Cuarta edición. Oxford: Blackwell. 384 p.

- Wien, C. h. (2006). How onion grow big a review of onion physiologyc. Proc. Empire State Fruit Vegetable Expo., Dep. of Horticulture, Cornell University, Ithaca, NY. 153154.
- Wu, Y. Z., Huang, M. B. y Gallichand, J. (2011). Transpirational response to water availability for winter wheat as affected by soil textures. *Agricultural Water Management* 98:569–76. doi:10.1016/j.agwat.2010.10.015.
- Zhao, C. X., Jia, L. H., Wang, Y. F., Wang, M. L y McGiffen Jr, M. E. (2015). Efectos de diferentes texturas del suelo en el crecimiento y desarrollo del maní. *Comunicaciones en ciencia del suelo y análisis de plantas*, 46 (18), 2249-2257.
- Zhao, G. S., Li, W. J. y Sun, Q. (2007). Efectos de diferentes texturas del suelo en la acumulación de materia seca de Alfalfa. *Ciencias Agrícolas de Xinjiang* 44: 642 – 46.