

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Instituto de Ciencias Agrícolas

Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias



**CRECIMIENTO Y CALIDAD POSCOSECHA DE CEBOLLA
PRODUCIDA BAJO DIFERENTES NIVELES DE
FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y RIEGO**

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTA

SUSANA MARLENE BARRALES HEREDIA

DIRECTOR

DR. ONÉCIMO GRIMALDO JUÁREZ

CODIRECTOR

DRA. CARMEN LIZETTE DEL TORO SANCHEZ

MEXICALI, B.C.

DICIEMBRE DE 2022

La presente tesis “**Crecimiento y calidad poscosecha de cebolla producida bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y riego**” realizada por la **C. Susana Marlene Barrales Heredia** dirigida por el **Dr. Onécimo Grimaldo Juárez**, ha sido evaluada y aprobada por el Comité Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

Doctor en Ciencias Agropecuarias

Comité Particular



Dr. Onécimo Grimaldo Juárez

Director de Tesis



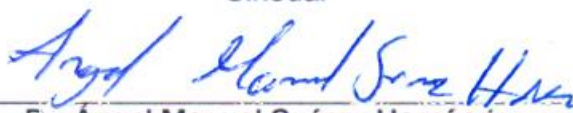
Dra. Carmen Lizette Del Toro Sánchez

Codirector de Tesis



Dr. Roberto Soto Ortiz

Sinodal



Dr. Ángel Manuel Suárez Hernández

Sinodal



Dr. Daniel González Mendoza

Sinodal

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad de Sonora por darme la oportunidad de continuar superándome.

A la Universidad Autónoma de Baja California por brindarme la formación doctoral.

A los Drs. Roberto Soto Ortiz y Jairo N. Díaz Ramírez por permitirme previo a la pandemia, formar parte de su proyecto de cebolla y realizar mi estancia académica en el Centro de Investigación y Extensión del Desierto en Holtville CA.

Al Dr. Alejandro Manelik García López por su dirección en el desarrollo de prácticas enzimáticas y por compartir sus conocimientos en el área de espectroscopia de infrarrojo cercano en el citado proyecto, como en el presente proyecto de investigación.

A mi Director de tesis, el Dr. Onécimo Grimaldo Juárez por su apoyo, dedicación y paciencia en la dirección y culminación con éxito de este proyecto de Investigación.

A mi Codirectora la Dra. Carmen Lizette Del Toro Sánchez por fortalecer la presente investigación con su amplia experiencia en la parte antioxidante, y adicionalmente, por su disposición para brindarme las facilidades para realizar una segunda estancia académica en el Laboratorio de Biotecnología adscrito al Departamento de investigación y Posgrado en Alimentos de la Universidad de Sonora.

Al Dr. Ángel Manuel Suárez Hernández por su valioso apoyo en la parte estadística de esta investigación.

Al Dr. Daniel González Mendoza, por permitirnos realizar algunas de las determinaciones químicas en el Laboratorio de Biotecnología de su digno cargo.

A los maestros que formaron parte de mi formación como estudiante de Doctorado: los Drs. Onécimo Grimaldo Juárez, Roberto Soto Ortiz, Alberto Barreras Serrano, Leonel Avendaño Reyes, Ana Laura Lara Rivera y Lourdes Cervantes Díaz.

Al Dr. Fidel Núñez Ramírez por apoyarnos con el préstamo de equipos personales para la realización de algunas de las determinaciones químicas.

Al M.C Luis Antonio González Anguiano por su disponibilidad incondicional, apoyo en la edición de esta tesis, empatía y sana amistad.

Al Dr. Ricardo Iván González Vega por su dirección en la realización de las técnicas de antioxidantes y colaboración en la revisión del segundo artículo.

A Sandra Luz Rojas Carranza, “Sandrita”, por su disposición y apoyo como auxiliar administrativo desde antes de mi ingreso al posgrado.

A mis compañeros del Posgrado, Verónica, Sindy, Esthela y Bayron, a quienes agradezco su amistad.

A todos los trabajadores y estudiantes que nos apoyaron en la cosecha de la cebolla.

A los guardias, Manuel, Alejandro, Alfonso y Aarón por estar siempre pendientes de informar sobre cualquier eventualidad que pudiera poner en riesgo el desarrollo del experimento.

Y no menos importante, a mi ahijado José Julián García Mendoza por su valiosa colaboración en campo y laboratorio.

A todos, gracias

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN	1
1. Revisión de literatura	3
1.1. Importancia económica de la cebolla	3
1.2. Requerimientos edafoclimáticos	3
1.3. Manejo del cultivo de la cebolla	4
1.3.1. Densidad de plantación	4
1.3.2. Riego	5
1.3.3. Fertilización	5
1.3.3.1. Macronutrientes	6
1.3.3.2. Micronutrientes	9
1.3.4. Plagas y enfermedades	10
1.3.5. Cosecha	11
1.4. Estrés hídrico en la producción y calidad de la cebolla	12
1.5. Estrés por nitrógeno en la producción y calidad de la cebolla	13
1.6. Actividad biológica de la cebolla	14
1.7. Actividad antioxidante	15
1.8. Estrés oxidativo	16
1.9. Métodos para evaluar la capacidad antioxidante	19
1.9.1. Parámetro de captación total de radicales (TRAP: Total Radical-Trapping Antioxidant Parameter).	21
1.9.2. Poder antioxidante reductor férrico (FRAP: Ferric Reducing Antioxidant Power).	21
1.9.3. Capacidad secuestradora de radicales de oxígeno totales (TOSC: Total Oxyradical Scavenging Capacity).	21
1.9.4. Capacidad de captación de radicales oxigenados (ORAC: Oxygen Radical Absorbance Capacity).	22
1.9.5. Secuestro del radical 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH•).	22

1.9.6. Secuestro del radical catión ácido 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS).	23
1.9.7. Capacidad antioxidante total (TAC).	23
2. Fenoles totales	23
3. Mecanismos de reacción de los antioxidantes	24
3.1. Compuestos fenólicos	25
3.2. Vitamina C	26
4. Manejo poscosecha de la cebolla	27
4.1. Curado	27
4.2. Tiempo de almacenamiento	27
4.3. Temperatura	28
4.4. Humedad relativa	28
4.5. Luz	28
4.6. Atmósferas controladas	28
5. Eliminación de catáfilas para mejorar calidad	28
6. Hipótesis	30
7. Objetivo general	31
7.1. Objetivos específicos	31
MATERIALES Y MÉTODOS	32
8. Fase de campo	32
8.1. Parámetros de crecimiento	33
8.1.1. Altura de planta.	33
8.1.2. Número de hojas por planta.	33
8.1.3. Área foliar.	33
8.1.4. Peso seco de bulbo y hojas.	33
8.1.5. Peso seco de planta completa.	34
8.1.6. Tasa absoluta de crecimiento.	34
8.1.7. Tasa relativa de crecimiento.	34
8.1.8. Tasa de asimilación neta.	34
8.2. Parámetros de rendimiento	35
8.2.1. Peso de bulbo.	35
8.2.2. Rendimiento.	35
9. Fase de laboratorio	35
9.1. Parámetros de calidad física	35
9.1.1. Calibres	35

9.1.2. Diámetro polar y ecuatorial del bulbo.	36
9.1.3. Número y grosor de catáfilas.	36
9.1.4. Color.	36
9.1.5. Firmeza.	36
9.2. Parámetros de calidad química	36
9.2.1. pH.	36
9.2.2. Acidez titulable	37
9.2.3. Sólidos solubles totales.	37
9.2.4. Porcentaje de materia seca.	37
9.3. Parámetros de calidad bioquímica	37
9.3.1. Ácido ascórbico.	37
9.3.2. Ácido pirúvico	37
9.3.3. Fenoles totales.	38
9.3.4. Capacidad antioxidante de cebolla	38
9.3.4.1. Método de extracción.	38
9.3.4.1.1. Poder antioxidante reductor férrico (FRAP)	39
9.3.4.1.2. DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo)	39
9.3.4.1.3. ABTS (ácido 2,2'-azino-bis-3 etilbenzotiazolin-6-sulfónico)	40
9.3.4.1.4. Actividad eritroprotectora	40
10. Eliminación de catáfilas de cebolla para mejorar calidad	41
10.1. Desarrollo de experimento	42
10.1.1. Variables evaluadas	42
10.1.1.1. pH	42
10.1.1.2. Acidez titulable	42
10.1.1.3. Sólidos solubles totales	42
10.1.1.4. Porcentaje de materia seca	43
10.1.1.5. Color	43
10.1.1.6. Firmeza	43
11. Análisis estadístico	43
RESULTADOS Y DISCUSIONES	45
12. Parámetros de crecimiento	45
12.1. Altura de planta	45
12.2. Número de hojas por planta	51
12.3. Área foliar	52
12.4. Peso seco de bulbo y hojas	55
12.5. Peso seco de planta completa	61
12.6. Tasa absoluta de crecimiento	65

12.7. Tasa relativa de crecimiento	69
12.8. Tasa de asimilación neta	71
12.9. Peso fresco de bulbo y hojas	74
12.10. Peso fresco de planta completa	79
13. Rendimiento	81
14. Parámetros de calidad física	84
14.1 Calibres	84
14.2. Diámetro de cuello del bulbo	88
14.3. Diámetro polar y ecuatorial del bulbo	91
14.4. Número y grosor de catáfilas	95
14.5. Color	97
14.6. Firmeza	97
15. Parámetros de calidad química	99
15.1. pH	99
15.2. Acidez titulable	101
15.3. Sólidos solubles totales	105
15.4. Porcentaje de materia seca	109
16. Parámetros de calidad bioquímica	112
16.1. Ácido ascórbico	112
16.2. Ácido pirúvico	116
16.3. Fenoles totales	119
16.4. Capacidad antioxidante de cebolla	122
16.5. Efecto eritroprotector	123
17. Parámetros de calidad comercial	126
17.1. Eliminación de una y dos catáfilas	126
17.1.1. pH	126
17.1.2. Acidez titulable	129
17.1.3. Sólidos solubles totales	130
17.1.4. Porcentaje de materia seca	131
17.1.5. Color	133
17.1.6. Firmeza	137
CONCLUSIONES	139
LITERATURA CITADA	141

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especies reactivas generadas en sistemas biológicos.....	18
Tabla 2. Métodos comunes usados para evaluar la capacidad/actividad antioxidante <i>in vitro</i>	20
Tabla 3. Parámetros de crecimiento en función de la humedad aprovechable (R) y fertilización nitrogenada (F) en el cultivo de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 69 ddt.	48
Tabla 4 Parámetros de crecimiento en función de la humedad aprovechable (R) y fertilización nitrogenada (F) en el cultivo de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 100 ddt.	49
Tabla 5. Parámetros de crecimiento en función de la humedad aprovechable (R) y fertilización nitrogenada (F) en el cultivo de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 130 ddt.	50
Tabla 6. Tasa absoluta de crecimiento, tasa relativa de crecimiento y tasa de asimilación neta de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) en respuesta a la humedad aprovechable (R) y fertilización nitrogenada (F).....	67
Tabla 7. Medias de calibres de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) en respuesta a la humedad aprovechable (R) y fertilización nitrogenada (F).....	87
Tabla 8. Parámetros de calidad física de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) en respuesta a la humedad aprovechable (R) y fertilización nitrogenada (F).	90
Tabla 9. Contenido de fenoles totales y actividad antioxidante (FRAP, DPPH y ABTS) en bulbos de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) cultivados a diferentes niveles de humedad aprovechable y fertilización nitrogenada.	120
Tabla 10. Análisis de varianza de los parámetros de calidad de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a diferentes niveles de remoción de capas y 30 días de exposición a condiciones ambientales (temperatura de 25±5 °C y humedad relativa de 70±10%).	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Reacción de reducción del ensayo FRAP	21
Figura 2. Efecto eliminador de radicales DPPH por un antioxidante (AH).....	22
Figura 3. Reacción de ABTS ^{•+} radical con antioxidante.....	23
Figura 4. Mecanismo de acción del reactivo Folin-Ciocalteu	24
Figura 5. Estructura química de flavonoide indicando el enlace y los grupos funcionales que le confieren alta capacidad antioxidante.	25
Figura 6. Mecanismos de reacción posibles (SET y HAT) de flavonoides con radicales DPPH.....	25
Figura 7. Mecanismo de quelación de metales en flavonoides.	26
Figura 8. Mecanismo de eliminación de radicales libres del ácido ascórbico.....	26
Figura 9. Interacción riego fertilizante en la altura de planta de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 130 ddt.....	46
Figura 10. Interacción riego fertilizante del área foliar de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 69 ddt.....	54
Figura 11. Interacción riego fertilizante del área foliar de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 100 ddt.....	54
Figura 12. Interacción riego fertilizante del área foliar de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 130 ddt.....	55
Figura 13. Interacción riego fertilizante del peso seco de bulbos de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 69 ddt.....	56
Figura 14. Interacción riego fertilizante del peso seco de bulbos de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 100 ddt.....	56
Figura 15. Interacción riego fertilizante del peso seco de bulbos de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 130 ddt.....	57

Figura 16. Interacción riego fertilizante del peso seco de hojas de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 69 ddt.....	59
Figura 17. Interacción riego fertilizante del peso seco de hojas de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 100 ddt.....	60
Figura 18. Interacción riego fertilizante del peso seco de hojas de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 130 ddt.....	60
Figura 19. Interacción riego fertilizante del peso seco de planta completa de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 69 ddt.....	62
Figura 20. Interacción riego fertilizante del peso seco de planta completa de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 100 ddt.....	63
Figura 21. Interacción riego fertilizante del peso seco de planta completa de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 130 ddt.....	63
Figura 22. Tasa absoluta de crecimiento de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) en respuesta a cinco niveles de humedad aprovechable.	68
Figura 23. Tasa absoluta de crecimiento de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) en respuesta a cinco niveles de fertilización nitrogenada.	69
Figura 24. Tasa relativa de crecimiento de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) en respuesta a cinco niveles de humedad aprovechable.	70
Figura 25. Tasa relativa de crecimiento de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) en respuesta a cinco niveles de fertilización nitrogenada.....	71
Figura 26. Tasa de asimilación neta de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) en respuesta a cinco niveles de humedad aprovechable.....	72
Figura 27. Tasa de asimilación neta de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) en respuesta a cinco niveles de fertilización nitrogenada.	73
Figura 28. Interacción riego fertilizante del peso fresco de bulbos de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 69 ddt.....	75

Figura 29. Interacción riego fertilizante del peso fresco de bulbos de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 100 ddt.....	75
Figura 30. Interacción riego fertilizante del peso fresco de bulbos de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 130 ddt.....	76
Figura 31. Interacción riego fertilizante del peso fresco de hojas de planta de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) A) los 69 y B) 100 ddt.....	78
Figura 32. Interacción riego fertilizante del peso fresco de hojas de planta de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 130 ddt.....	79
Figura 33. Interacción riego fertilizante del peso fresco de planta completa de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a los 130 ddt.....	80
Figura 34. Rendimiento de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) en respuesta a cinco niveles de humedad aprovechable.....	81
Figura 35. Rendimiento de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) en respuesta a cinco niveles de fertilizante nitrogenado.....	82
Figura 36. Interacción riego fertilizante en el rendimiento de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.).	83
Figura 37. Interacción riego fertilizantes de calibres de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) tamaño grande.....	84
Figura 38. Interacción riego fertilizantes de calibres de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) tamaño colosal.....	85
Figura 39. Interacción riego fertilizante en el diámetro ecuatorial de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.).....	92
Figura 40. Interacción riego fertilizante en el diámetro polar de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.).....	95
Figura 41. Respuesta del pH de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a cinco niveles de humedad aprovechable.....	100

Figura 42. Respuesta del pH de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a cinco niveles de fertilizante nitrogenado.....	101
Figura 43. Respuesta de la acidez titulable de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a cinco niveles de humedad aprovechable.....	102
Figura 44. Respuesta de la acidez titulable de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a cinco niveles de fertilizante nitrogenado.....	103
Figura 45. Interacción riego fertilizante del porcentaje de acidez titulable de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.).	103
Figura 46. Respuesta de los sólidos solubles totales de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a cinco niveles de humedad aprovechable.	105
Figura 47. Respuesta de los sólidos solubles totales de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a cinco niveles de fertilizante nitrogenado.....	106
Figura 48. Respuesta de la materia seca de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a cinco niveles de humedad aprovechable.....	109
Figura 49. Respuesta de la materia seca de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a cinco niveles de fertilizante nitrogenado.	110
Figura 50. Interacción riego fertilizante en el porcentaje de materia seca de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.).	110
Figura 51. Respuesta del ácido ascórbico de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a cinco niveles de humedad aprovechable.....	113
Figura 52. Respuesta del ácido ascórbico de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a cinco niveles de fertilizante nitrogenado.	114
Figura 53. Interacción riego fertilizante en el contenido de ácido ascórbico de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.)..	115
Figura 54. Respuesta del ácido pirúvico de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a cinco niveles de humedad aprovechable.....	117

Figura 55. Respuesta del ácido pirúvico de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) a cinco niveles de fertilizante nitrogenado..	118
Figura 56. Efecto eritroprotector reportado en porcentaje de inhibición de hemólisis de extractos de bulbos de cebolla de diferente A) humedad aprovechable y B) fertilización nitrogenada.	125
Figura 57. Acidez titulable de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) sin remoción de capas (C0), sin una capa (C1) y sin dos capas (C2) durante 0, 10, 20 y 30 días de exposición a condiciones ambientales (temperatura de 25 ± 5 °C y humedad relativa de $70\pm10\%$).	129
Figura 58. Contenido de sólidos solubles totales en cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) sin remoción de capas (C0), sin una capa (C1) y sin dos capas (C2) durante 0, 10, 20 y 30 días de exposición a condiciones ambientales (temperatura de 25 ± 5 °C y humedad relativa de $70\pm10\%$).....	130
Figura 59. Porcentaje de materia seca de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) sin remoción de capas (C0), sin una capa (C1) y sin dos capas (C2) durante 0, 10, 20 y 30 días de exposición a condiciones ambientales (temperatura de 25 ± 5 °C y humedad relativa de $70\pm10\%$).....	132
Figura 60. Cromaticidad de la coloración de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) sin remoción de capas (C0), sin una capa (C1) y sin dos capas (C2) durante 0, 10, 20 y 30 días de exposición a condiciones ambientales (temperatura de 25 ± 5 °C y humedad relativa de $70\pm10\%$).	133
Figura 61. Luminosidad de la coloración de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) sin remoción de capas (C0), sin una capa (C1) y sin dos capas (C2) durante 0, 10, 20 y 30 días de exposición a condiciones ambientales (temperatura de 25 ± 5 °C y humedad relativa de $70\pm10\%$).....	134
Figura 62. Tonalidad de la coloración de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) sin remoción de capas (C0), sin una capa (C1) y sin dos capas (C2) durante 0, 10, 20 y 30 días de exposición a condiciones ambientales (temperatura de 25 ± 5 °C y humedad relativa de $70\pm10\%$).....	136

Figura 63. Firmeza de cebolla (*Allium cepa* L.) sin remoción de capas (C0), sin una capa (C1) y sin dos capas (C2) durante 0, 10, 20 y 30 días de exposición a condiciones ambientales (temperatura de 25 ± 5 °C y humedad relativa de $70\pm10\%$).
..... 137

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar dosis de nitrógeno y régimen hídrico sobre el crecimiento, producción y calidad de la cebolla. Para ello se evaluaron cuatro niveles de humedad aprovechable del suelo (25, 50, 75 y 100%) y cuatro dosis de fertilizante nitrogenado (100, 150, 200 y 250 Kg N ha⁻¹). De la combinación de ambos factores se generaron 16 tratamientos y los resultados fueron los siguientes.

Las variables evaluadas fueron parámetros e índices de crecimiento (Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC), Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) y Tasa de Asimilación Neta (TAN). En calidad física del bulbo (calibres, diámetros, número y grosor de catáfilas, color y firmeza). Calidad química (pH, acidez, °Brix y materia seca) y en calidad bioquímica (ácido ascórbico, ácido pirúvico y fenoles totales) actividad antioxidante (FRAP, DDPH y ABTS; además de la actividad antihemolítica o AAPH) y rendimiento por ha⁻¹. En poscosecha, calidad física y química de la cebolla por efecto de la eliminación de capas o catáfilas de la cebolla durante el mercadeo.

Las tasas de crecimiento de la cebolla TAC y TRC, se incrementaron por efecto del aumento en el agua de riego y dosis de fertilizante nitrogenada. La interacción de ambos factores se presentó en el periodo de 100 a 130 ddt en TAC, mientras que en la TRC la interacción fue en los dos periodos evaluados (69 a 100 y de 100 a 130 ddt). La producción de materia seca por unidad de superficie (TAN), fue inversamente proporcional a las cantidades de agua y fertilizante.

En calidad física de los bulbos, los calibres de los bulbos fueron variables estadísticamente en relación a la disponibilidad de agua aprovechable y dosis de fertilizante. La proporción de calibres menores (chico, prenvase y mediano), se obtuvieron a bajos porcentajes de humedad aprovechable (0 a 25% H.A), mientras que a humedades de 50 a 100%, los calibres fueron de grande a colosal. En cuanto a las dosis de fertilizante las proporciones de los calibres se mantuvieron similares

y variaron de grande a colosal en proporción de 20% a 78% respectivamente. En contraste, la condición sin fertilizante la mayoría de los bulbos (más del 50%), se clasificaron en la categoría de pre envase y mediano. La variación de los calibres de los bulbos, se atribuye al número de capas de la cebolla, ya que se tuvieron incrementos en esta variable con los aumentos en la humedad aprovechable y dosis de fertilizante.

En calidad bioquímica de los bulbos el contenido de ácido ascórbico fue más alto a niveles de máximo riego (100% de humedad) y baja fertilización (100 kg N ha⁻¹). En contraparte, el ácido pirúvico registro mayor concentración en condición de baja humedad (25% de humedad) y fertilización intermedia (200 kg N ha⁻¹). Los fenoles totales también se incrementaron a niveles bajos de humedad (25 % de humedad) y de baja a intermedia fertilización (100, 150 kg N ha⁻¹) al igual que ocurrió con la actividad antioxidante.

La actividad antioxidante fue mayor en condiciones de déficit hídrico y dosis bajas a intermedias de fertilizante en FRAP (25% humedad y 100 kg N ha⁻¹), DPPH (25% humedad y 150 kg N ha⁻¹), y ABTS (25% humedad y 100 kg N ha⁻¹). Por el contrario, el %AAPH fue más favorable a niveles altos de humedad (100%) y fertilización (200 kg N ha⁻¹), similar al contenido de ácido ascórbico el cual fue más alto a niveles de máximo riego (100%) y mínima fertilización (100 kg N ha⁻¹).

El rendimiento de bulbo por hectárea se incrementó de manera significativa con el aumento en la en la humedad aprovechable del suelo y dosis de fertilizante nitrogenado. Los mayores rendimientos se obtuvieron al combinar el 100% de humedad aprovechable y la máxima dosis de nitrógeno (250 kg de N ha⁻¹), donde se registró 60 tn ha⁻¹, mientras que en condiciones de menor humedad y fertilización (25% de HA y 100 kg ha⁻¹), el rendimiento fue de 19 ton ha⁻¹.

En poscosecha de la cebolla, los resultados mostraron que las variables materia seca, firmeza y saturación de color (C*) no son afectadas por la interacción de la

remoción de capas y tiempo de exposición. En contraste, las variables ángulo hue, luminosidad (L^*), sólidos solubles, acidez titulable y pH, la interacción del tiempo de exposición y nivel de remoción de capas fue significativa. La tonalidad de la coloración de la cebolla (hue), se incrementó en los tratamientos con mayor nivel de remoción de capas, manifestándose tonalidades hacia el color verde.

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate nitrogen doses and hydric regimes over the growth, production, and quality of onions. For that reason, we evaluated four levels of land usable humidity (25, 50, 75 and 100%) and four doses of nitrogen fertilizer (100, 150, 200 and 250 Kg N ha⁻¹). 16 treatments resulted from the combination of both factors and here are the results: The evaluated variables were growth parameters and rates: Absolute Growth Rate or AGR, Relative Growth Rate or RGR, and Net Assimilation Rate or NAR. For the physical quality of the bulb (calibers, diameters, number and growth of cataphylls, color and firmness). Chemical quality (pH, acidity, °Brix and dry matter) and for biochemical quality (ascorbic acid, pyruvic acid, and total phenols) antioxidant activity (FRAP, DDPH y ABTS; in addition to antihemolytic activity or AAPH and endurance by ha⁻¹. In the post-harvest stage, we evaluated the physical and chemical characteristics of onions as a result of the effect of the elimination of onion layers or cataphylls during marketing.

Onion AGR and RGR rates increased as a result of the increase in the level of irrigation water and nitrogen fertilizer doses. The interaction of both factors was presented in the period of 100 to 130 ddt in AGR, whereas the RGR of the interaction was in both evaluated periods (69 to 100 and from 100 to 130 ddt). The production of dry matter per surface unit (NAR), was inversely proportional to the amounts of water and fertilizer.

Regarding the physical quality of the bulbs, the caliber of the bulbs was statistically variable with regards to the availability of usable water and fertilizer dose. The proportion of smaller calibers (small, prepackaged, and medium), were obtained at low percentages of usable humidity (0 to 25% H.A), whereas at humidities from 50 to 100%, calibers ranged from large to colossal. When it comes to fertilizer doses, the proportion of calibers behaved similarly and varied from large to colossal at a proportion of 20% to 78% respectively. In contrast, under a condition where there was an absence of fertilizer, most of the bulbs (more than 50%) were classified as

being pre-packaging or medium. The variation of bulb calibers, is attributed to the number of onion layers, since there were increases in this variable with an increase in the level of usable humidity and fertilizer dose.

Regarding the biochemical quality of the bulbs, ascorbic acid contents were higher at maximum irrigation levels (100% humidity) and a low fertilization (100 kg N ha⁻¹). On the other hand, there were higher concentrations of pyruvic acid under low humidity conditions (25% humidity) and intermediate fertilization (200 kg N ha⁻¹). Total phenols also showed an increase under low humidity levels (25 % humidity) and in low to intermediate fertilization (100, 150 kg N ha⁻¹) just as it occurred to antioxidant activity.

Antioxidant activity was higher under hydric deficit and low to intermediate fertilizer doses in FRAP (25% humidity and 100 kg N ha⁻¹), DPPH (25% humidity and 150 kg N ha⁻¹), and ABTS (25% humidity and 100 kg N ha⁻¹). On the contrary, the AAPH% was more favorable at higher humidity levels (100%) and of fertilization (200 kg N ha⁻¹), similar to ascorbic acid contents, which was higher at maximum irrigation levels (100%) and minimal fertilization (100 kg N ha⁻¹).

Bulb production per hectare increased significantly with the increase of land usable humidity and nitrogen fertilizer doses. The highest yield was obtained when combining 100% of usable humidity and the maximum nitrogen dose (250 kg of N ha⁻¹), where we recorded 60 Ton ha⁻¹, whereas under lower humidity and fertilization conditions (25% of HA and 100 kg ha⁻¹), the production was 19-Ton ha⁻¹.

At the onion post-harvest stage, results showed that the variables: dry matter, firmness, and color saturation (C*) are not affected by the interaction of layer removal and exposure time. In contrast, the variables: angle, hue, luminosity (L*), soluble solids, titratable acidity, and pH, the interaction of exposure time and layer removal was significant. The coloration tone (hue) of the onion increased in treatments with higher layer removal levels, thus showing greener hues.

INTRODUCCIÓN

La cebolla (*Allium cepa* L.) es una de las hortalizas más importantes y ampliamente cultivada en todo el mundo (Mishra *et al.*, 2013), con una producción anual de 99,968,016 de toneladas. En 2021, la producción de cebolla en México fue de 1,451,250 toneladas, con un área cosechada de 48,042 hectáreas y un rendimiento de 30,210 kg/ha (SIAP, 2021).

La cebolla, es una fuente de vitaminas A, B y C, y varios compuestos bioactivos organosulfurados y fenólicos (Pérez-Gregorio *et al.*, 2014). Estos compuestos tienen efectos antimicrobianos, antidiabéticos, analgésicos, antiinflamatorios, hipolipidémicos, antihipertensivos e inmunoprotectores y antioxidantes (Marrelli *et al.* 2019; Razavi-Azarkhiavi *et al.*, 2014).

La composición de la cebolla depende del genotipo y del manejo ambiental del cultivo. Entre el manejo del cultivo, el régimen hídrico (Ghodke *et al.*, 2018) y la fertilización nitrogenada (Abdissa *et al.*, 2011), son factores directamente relacionados con el crecimiento y desarrollo de las plantas, y consecuentemente con la producción y componentes de rendimiento de la cebolla (Piri and Naserin, 2020). Así mismo, las características de calidad de los bulbos son modificadas por la disponibilidad agua (Ghodke *et al.*, 2018) y nutrientes (Tekalign *et al.*, 2012; Bekele, 2018).

El estrés hídrico disminuye el rendimiento durante la etapa de crecimiento del bulbo, independientemente de la variedad de cebolla (Gedam *et al.*, 2021), que a su vez este carácter (rendimiento) se correlaciona positiva y significativamente con el contenido relativo de agua, clorofila, índice de estabilidad de la membrana y la actividad enzimática antioxidante en condiciones de sequía. El estrés hídrico también acelera la madurez de los bulbos (Kumar *et al.*, 2007b), mientras que, el riego excesivo la retrasa, además reduce el porcentaje materia seca al igual que la capacidad de almacenamiento del bulbo (Biswas *et al.*, 2010).

La fertilización nitrogenada favorece el contenido de nitrógeno, clorofila a, b y total de hojas, así como la pungencia y el porcentaje de bulbos de clase 3 y 4 (Gonçalves *et al.*, 2019). El tamaño del bulbo aumenta a medida que se incrementa el nivel de nitrógeno (Maier *et al.*, 1990). Caracteres como diámetro máximo del bulbo, altura de bulbo, peso promedio del bulbo y rendimiento total son favorecidos con altos niveles de nitrógeno (200 y 300 kg N/ha) (Soleymani and Shahrajabian, 2012). No obstante, se ha reportado que dosis superiores a 197 kg ha⁻¹ tienen poco efecto sobre el aumento de los rendimientos y puede incrementar la descomposición de los bulbos (Díaz-Pérez *et al.*, 2003). El manejo adecuado de los fertilizantes nitrogenados puede reducir el riesgo de lixiviación de nitratos y los costos de producción, así como mejorar la calidad de la cebolla (Geisseler *et al.*, 2022). Numerosos estudios señalan que la biosíntesis y las concentraciones de flavonoides en las cebollas dependen tanto de factores genéticos como de factores agronómicos, incluida la fertilización (Carbone *et al.* 2009).

El clima es otro de los factores determinantes en el cultivo de la cebolla, siendo un clima ideal el templado para alcanzar el óptimo desarrollo del cultivo (Sekara *et al.*, 2017), mientras que, en climas áridos, la disponibilidad de agua y altas temperaturas son factores que afectan el desarrollo del cultivo en los climas áridos y semiáridos. Adicionalmente, la fertilidad del suelo en ambientes áridos es baja, producto de las actividades antropocéntricas y condiciones naturales.

Por lo anterior, los cultivos de la cebolla en climas áridos requieren del suministro de agua y nutrientes para asegurar la producción y calidad de los bulbos. En la presente investigación se evaluó el suministro de un régimen hídrico y diferentes dosis de fertilización nitrogenada en el cultivo de la cebolla establecida en condiciones de clima árido, a fin de determinar sus efectos en el crecimiento del cultivo, producción y calidad del bulbo.

1. Revisión de literatura

1.1. Importancia económica de la cebolla

A nivel mundial la producción de cebolla es de aproximadamente 99 millones de toneladas y se posiciona entre las hortalizas con mayor superficie cosechada, sólo superada por la papa y el tomate. Según el último dato registrado por la FAO (2019), el rendimiento promedio de cebolla fue de 19 t/ha, y 5 millones de hectáreas de área cosechada.

En México, la cebolla es la tercera hortaliza más importante, superada solo por el tomate y el chile. En 2020 la producción de cebolla fue de 1,499,741 t, las cuales fueron obtenidas de 46,628 ha cosechadas, con un rendimiento promedio nacional de 30.8 t ha⁻¹. De la producción de cebolla cultivada en el país, 90% corresponde a la cebolla blanca, 7% a cebolla morada y el resto a cebolla amarilla. A nivel nacional los principales Estados productores de este cultivo son Baja California, Zacatecas, Tamaulipas, Morelos, Puebla, Sinaloa y Sonora (SIAP-SAGARPA, 2015).

1.2. Requerimientos edafoclimáticos

El cultivo de cebolla es de estación fría con tolerancia a heladas, pero se adapta mejor a un rango de temperatura entre 13 y 24°C. Las temperaturas óptimas para el crecimiento temprano de las plántulas son entre 23 y 27 °C; el crecimiento se ralentiza a temperaturas superiores 30°C (Messele, 2016).

La formación y desarrollo de bulbos es influenciada por periodos de luz prolongadas (día largo). Cuanto más largo es el día más pronto se iniciará la formación del bulbo y el crecimiento de las hojas decrecerá. Por lo tanto, las variedades se clasifican, de acuerdo a su fotoperiodo. Las variedades de día largo requieren de días con más de 14 a 16 horas de luz para iniciar la formación de bulbos. Las cebollas de día

intermedio requieren alrededor de 14 horas luz para iniciar la formación de bulbos y las variedades de día corto requieren de 11 a 13 horas (Mendoza, 2015).

En cebolla blanca de fotoperiodo corto la época de siembra más adecuada en almacigo es de septiembre a noviembre, el trasplante de diciembre a marzo y la cosecha se realiza a los 100 o 105 días después de la siembra (dds). Para cebollas de fotoperiodo intermedio la época de siembra en almacigo es de diciembre a febrero y el trasplante de marzo a mayo, cosechando a los 100 o 105 dds (Reveles *et al.*, 2014).

Los suelos para el cultivo de cebolla pueden ser de texturas arenosas a arcillosas. Los suelos con alta capacidad de retención de agua y buen drenaje, permite mantener húmedas las raíces profundas de la cebolla. El pH favorable del suelo debe ser de 6.5 a 8.0 en suelos minerales y de 5.8 en suelos de turba. La disponibilidad uniforme de humedad durante la temporada de crecimiento del cultivo debe ser de aproximadamente 400-800 mm de agua (Messele, 2016).

1.3. Manejo del cultivo de la cebolla

1.3.1. Densidad de plantación

El cultivo de la cebolla se puede establecer mediante siembra directa o indirecta (trasplante). Se recomienda una dosis de cuatro a seis kg ha⁻¹ en siembra directa a una profundidad de 1.5 cm. En el método indirecto previo al trasplante en campo, se requiere producir plántulas en charolas de germinación en semillero (invernadero o malla sombra). La densidad de plantación puede variar de acuerdo a las combinaciones entre distancia de los surcos, plantas e hileras y el número de hileras por camas. En plantaciones a cuatro hileras la densidad varía de 222, 223 hasta 333, 333 plantas por hectárea (Mata *et al.*, 2011). La menor densidad resulta de una mayor distancia entre planta, siendo la distancia recomendada de 8, 10 y 12 cm. En camas separadas a un metro, con cuatro o cinco hileras y separación entre plantas de 12 cm se requiere entre 444, 000 y 555, 000 plantas por hectárea, mientras que,

en surcos a 70 cm con dos hileras y separación de 15 cm se requiere 357, 000 plantas (Reveles *et al.*, 2014). El trasplante se realiza una vez que las plántulas alcanzan una altura entre 15 y 20 cm (Mata *et al.*, 2011).

1.3.2. Riego

El agua es uno de los principales factores limitantes para obtener buenos rendimientos de bulbos en cebolla. Esta especie se considera de raíces poco profundas, ya que extraen la mayor parte del agua de los primeros 30 cm del suelo. El cultivo es más sensible al estrés hídrico durante la formación y agrandamiento del bulbo que durante la etapa vegetativa (Khokhar, 2018; Srinivasa, 2016). La producción de altos rendimientos de cebolla requiere riegos frecuentes que mantengan alta humedad del suelo. La literatura reporta que la humedad propicia para obtener bulbos de tamaño grande y altos rendimientos debe ser de aproximadamente 400-800 mm (Messele, 2016) o de 350–500 mm de agua (FAO, 2013). La falta de riego da como resultado una duración más corta del crecimiento del bulbo, un menor porcentaje de intercepción de radiación, y una menor eficiencia de conversión de radiación a materia seca, y todo esto contribuye a reducir el rendimiento del bulbo (Khokhar, 2018).

Paralelamente a la falta riego, el exceso de precipitaciones en regiones lluviosas es la principal restricción para la producción de cebolla. El rendimiento resultante del anegamiento puede variar entre 15 % y 80 % dependiendo de la especie, tipo de suelo y duración del estrés. La literatura reporta que cebolla bajo anegamiento de 7 días reduce de 75.0–86.0% la fotosíntesis de la hoja, 28.0–46.0 % el peso de planta total fresca y 26.0–47.0 % de masa seca (Srinivasa *et al.*, 2010).

1.3.3. Fertilización

Las cebollas por sus características de raíces poco profundas y sin ramificación, son consideradas muy sensibles a la escasez de nutrientes (Khokhar, 2019). El tipo de raíz es menos efectivo a la absorción de nutrientes inmóviles como P, K y algunos micronutrientes, mientras que un riego en exceso provoca la lixiviación de los

nutrientes móviles (N, Mg, S, etc.) que pueden salir de la zona radicular (Sullivan *et al.*, 2001), por lo que se requiere de un buen programa de fertilización.

1.3.3.1. Macronutrientes

El nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y azufre (S) son considerados macronutrientes debido a su mayor tasa de absorción en comparación con los demás nutrientes. El nitrógeno (N) es un elemento esencial para el crecimiento y producción de las cebollas (Al-Fraihat, A. H., & Ahmad, H. (2009). El N participa principalmente en la formación de la clorofila, proteínas y aminoácidos que favorece el crecimiento vegetativo de las plantas (Khan *et al.*, 2007), tamaño del bulbo y mayor rendimiento (Jilani *et al.*, 2004). Estimula el crecimiento y desarrollo de las raíces (Amare, 2020), así como la absorción de otros elementos (Gebeyehu *et al.* 2021). Variables como diámetro y peso de bulbo expresa su máximo valor hasta una aplicación de 120 Kg Ha⁻¹ (Kumar *et al.*, 2001). No obstante, los requerimientos de nitrógeno pueden variar dependiendo de la variedad. En variedades como Rio das Antas y IPA 11 el mayor rendimiento total y comercial se obtiene al aplicar una dosis de 92 Kg Ha⁻¹ (Gonçalves *et al.*, 2019).

El fósforo (P) es un componente estructural de fosfolípidos, ácidos nucleicos, nucleótidos, coenzimas y fosfoproteínas que son de vital importancia para la estructura de la membrana celular, catálisis de enzimas, transporte de material genético, y almacenamiento y transferencia de energía en los procesos bioquímicos de las plantas (Sánchez, 2007). El P es esencial para el desarrollo del sistema radicular de las cebollas, lo que favorece en el aumento del rendimiento y parámetros de producción (Singh *et al.*, 2000). Características como longitud, diámetro, peso promedio y materia seca del bulbo, así como el rendimiento comercial y total son favorecidos al suministrar dosis de P (Tehulie *et al.*, 2021). No obstante, este cultivo presenta una baja eficiencia de absorción de P que consecuentemente se observa en un menor contenido de P en partes foliares (Fohse *et al.*, 1988). Por otra parte, una baja disponibilidad de P en las plantas ocasiona una reducción en el crecimiento de la planta (Abdissa *et al.*, 2011), tamaño

del bulbo y rendimiento (Brewster, 2008). Se recomienda la adición de fósforo a una dosis de 50 o 75 Kg ha⁻¹ en cebollas (Jha *et al.*, 2000; Singh *et al.*, 2000). Las variaciones en los requerimientos de P dependen de las variaciones genéticas de las variedades (Jha *et al.*, 2000). Así mismo, el fósforo interactúa con el nitrógeno, la combinación de estos elementos influye en la producción comercial y total de los bulbos, por lo que se recomienda la combinación 103.5 Kg N y 92 Kg P₂O₅ ha⁻¹ (Tekeste *et al.*, 2018).

El potasio es un nutriente esencial para las plantas debido a que es un activador enzimático del metabolismo de carbohidratos y proteínas, actúa en los procesos de fotosíntesis y respiración principalmente en la foto reducción, foto fosforilización y asimilación de CO₂ (Mengel, 2007). El crecimiento vegetativo y productivo de las cebollas se favorece con el suministro de potasio. El aporte de K a una dosis de 150 K₂O ha⁻¹ incrementa la longitud de la planta, número de hojas, peso fresco y seco de la planta (Shaheen *et al.*, 2011). Mientras que a una dosis de 120 Kg K₂O ha⁻¹ se ha observado un aumento del contenido de carbohidratos y rendimiento de los bulbos (Singh & Verma, 2001). Algunas variedades expresan mayor rendimiento comercial y total a dosis de 180 Kg de K₂O (Marrocos *et al.*, 2018). La aplicación fraccionada y tipo de fuente de K repercute en el tamaño, diámetro y peso del bulbo (Islam, 1999), y en consecuencia afecta el rendimiento.

Al aplicar K se debe considerar el balance en la relación de N y K, a fin de que no afecte el rendimiento (Deshpande *et al.*, 2013). La cantidad de N absorbido es tres fracciones de potasio en cebollas (Singh & Verma, 2001). Otros autores recomiendan una dosificación de 150 Kg de N y 100 kg de K₂O para obtener el máximo rendimiento (Kumar *et al.*, 2006). Sin embargo, la aplicación de N y K a una dosis de 120 y 60 Kg ha⁻¹, respectivamente, expresa el mayor rendimiento de los bulbos (Kumar *et al.*, 2001; Jahan *et al.*, 2010), en donde, a un nivel máximo de 120 Kg ha⁻¹ se incrementan los atributos de rendimiento (Kumar *et al.*, 2001). Por otra parte, la dosificación K depende del análisis del suelo, en donde el suministro de

este elemento puede ser de acuerdo al nivel que se encuentre en el suelo, según las recomendaciones por Boyhan *et al.* (2007):

Definir los requerimientos nutricionales del cultivo de cebolla resulta complicado debido a que depende de diversos factores como la variedad, densidad de plantación, fertilidad del suelo, condiciones ambientales y el método de fertilización (Khokhar *et al.*, 2019b). Otra dosis recomendada es de 120 a 140 Kg de N, 22-26 kg de P y 150 Kg de K (Khokhar *et al.*, 2019).

El calcio (Ca) es un elemento primordial de la pared celular, ayuda a mantener la estructura de la membrana, participa en la división y elongación celular, y es esencial para el crecimiento de los tubos polínicos (Pilbeam & Morley, 2007). Deficiencias de Ca en cebolla provoca daños en las membranas del cloroplasto, plasmáticas y nucleares, así como una disociación de las paredes celulares (Liu 2012). Se recomienda la aplicación de Ca y Mg en forma de nitrato a una relación de 3:1 (Ca:Mg) para obtener el mayor rendimiento total y comercial en cebollas (Bundiniené *et al.*, 2009). El aporte de Ca con urea induce una mayor eficiencia del N en la planta que resulta en mayor rendimiento (Fenn *et al.*, 1991).

El magnesio participa en funciones fisiológicas y moleculares como ser un constituyente de clorofila, cofactor de procesos enzimáticos asociados con la fosforilación, desfosforilación y la hidrólisis de varios compuestos, y estabilizador estructural de nucleótidos (Merhaut, 2007). La nutrición con Mg mejora el contenido de N y K en hoja, así como el contenido de K en bulbos (Kleiber *et al.*, 2012). El aporte de Mg favorece ligeramente la masa y diámetro del bulbo (Bundiniené *et al.*, 2009). El mayor rendimiento comercial y total se obtiene al suministrar 100 mg de Mg dm⁻³ de suelo (Kleiber *et al.*, 2012). Se recomienda tener concentraciones en hoja (% en materia seca) de 2.99 N, 0.25 P, 4.74 K, 3.16 Ca y 0.69 Mg, mientras que en el bulbo 143 N, 0.27 P, 1.68 K, 0.72 Ca y 0.27 Mg (Kleiber *et al.*, 2012).

El azufre (S) es un nutriente esencial para el crecimiento y procesos fisiológicos de las plantas. La deficiencia de S en cebolla ocasiona una disminución en la biomasa, formación de bulbos sueltos, menor concentración de proteína, menor actividad de la fosforilasa y ribonucleasa del almidón, así como una mayor actividad de catalasa, peroxidasa y fosfatasa ácida (Chatterjee *et al* 1999). En cebollas se recomienda la aplicación de S a 40 Kg ha⁻¹ en suelos rojos y lateríticos con deficiencia de S (Mondal *et al.*, 2020), a fin de obtener el máximo contenido de ácido pirúvico, azúcar reductor y azúcar total. La aplicación de 40 Kg Ha⁻¹ de MgSO₄ favorece el contenido de S y Mg en las cebollas (Kiran y Chetti, 2009).

1.3.3.2. Micronutrientes

Los micronutrientes u oligoelementos son llamados nutrientes menores, por ser requeridos en menores cantidades que los macronutrientes por las plantas. El hierro, manganeso, zinc, cobre, boro y molibdeno son micronutrientes que participan en la síntesis de proteínas y son excelentes biocatalizadores de enzimas y coenzimas (León, 2017). La aplicación de micronutrientes puede favorecer el crecimiento de la planta de cebolla, así como controlar algunos de ellos ciertas enfermedades (Bose *et al.*, 2009). Así mismo, el suministro de estos micronutrientes tiene un impacto positivo en la producción de bulbos con mayor calidad. El contenido de sólidos solubles, azúcar total, proteína y ácido ascórbico se incrementa al complementar la fertilización con micronutrientes (Pramanik *et al.*, 2018). El aporte de los micronutrientes puede ser al suelo o de manera foliar, no obstante, la eficiencia de absorción de los elementos puede variar con el método de aplicación. La aplicación de Zinc al suelo es más efectiva que la aplicación foliar en cebollas, mientras que en el caso de boro es inverso (Miah *et al.*, 2020).

La aplicación foliar de 4 mg Zn/l mejora significativamente los parámetros de crecimiento vegetativo, rendimiento total y la calidad de bulbo (Ballabh *et al.*, 2013). La aplicación foliar al 0.25% de boro expresa el máximo rendimiento de bulbos y con una relación de costo beneficio de 7.98 (Goyal *et al.*, 2017). Otra dosis foliar que maximiza el rendimiento, pero en menor medida que la anterior, es la aplicación

de Zn, Mn, B y Cu al 0.5, 1.0, 0.25, y 1.00 % respectivamente (Goyal *et al.*, 2017). Dosis de 1 kg B, 2 kg Zn y 1 kg Cu por hectárea favorece mayor contenido de estos elementos en bulbo (Bertino *et al.*, 2022).

La aplicación al suelo de 10 kg por hectárea de ZnSO₄+Borax+CuSO₄ aumenta la altura de la planta, número de hojas, diámetro del bulbo, longitud de pseudotallo, peso del bulbo y rendimiento total (Aske *et al.*, 2017). Kumar *et al.* (2021) sugieren aplicar 100:50:50:30 kg de NPKS + 20 toneladas de estiércol de vaca + 20 kg de sulfato de zinc+ 10 kg de Borax por hectárea a fin de obtener los valores máximos de rendimiento y sus parámetros (diámetro, peso fresco y grosor de cascara del bulbo), así como mayor contenido de sólidos solubles y acidez. Biswas *et al.*, (2020) recomienda aplicar 100:60:80:40 kg de NPKS +20 toneladas de estiércol vacuno + aplicaciones foliares de Micronutrient Mixture (3% Zn, 2.5% Fe, 1% Mn y 1% Cu) al 0.05% a los 30 y 40 días después de transplante. Pramanik *et al* (2018) recomienda una dosis de 150:50:80:30 NPKS kg ha⁻¹ + 20 toneladas de estiércol vacuno y complementar con Micronutrient Mixture (3% Zn, 2.5% Fe, 1% Mn y 1% Cu) al 0.05% a los 30 y 45 días después de transplante.

1.3.4. Plagas y enfermedades

Las enfermedades y plagas de insectos son los factores principales de reducción de rendimiento en la producción de diferentes cultivos de hortalizas (Manna, 2014). En cebolla, algunas plagas comunes son las siguientes:

Los trips (*Thrips tabaci*) son de los principales insectos plaga que dañan la cebolla. Estos insectos perforan y extraen la savia de la superficie de la hoja y posteriormente consumen células mesófilas, provocando eventualmente la pérdida de clorofila y la reducción de la eficiencia fotosintética (Boateng *et al.*, 2014). Es posible controlar o reducir la población de trips mediante la aplicación de deltamethrin 10 SC (Crackdown®, marca registrada del grupo of Bayer) (1 ml/l) o fipronil (1 ml/l de agua) y el spionsad (1 ml/l de agua) (Mishra *et al.*, 2014).

El gusano *Delia antiqua* (Meigen) es una plaga que se alimenta de epicótilos en desarrollo y raíces de las plantas jóvenes de la cebolla provocando con frecuencia la mortalidad de las plántulas. Las recomendaciones de manejo para gusanos en la mayoría de las áreas de producción de cebollas se enfocan en una combinación de controles culturales y aplicación de formulaciones granulares o líquidas de clorpirifos aplicados en surco al momento de la siembra (Wilson *et al.*, 2015).

La raíz rosada se presenta en asociación con la pudrición basal por *Fusarium*. La pudrición rosada de la raíz ocurre comúnmente en las raíces de cebolla de plantas poco maduras en áreas con drenaje deficiente. Los síntomas típicos son una decoloración de rosa claro a marrón amarillento en las raíces que se vuelve color rosa oscuro y luego eventualmente púrpura en etapas avanzadas de la enfermedad. La enfermedad de la raíz rosada (*Phoma terrestris*) puede reducirse con rotaciones de tres a seis años con cultivos no susceptibles al patógeno. para su control se sugiere la solarización del suelo o la fumigación con cloropicrina que es efectiva pero costosa (Mishra *et al.*, 2014).

La pudrición basal de la cebolla causada por *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae* es una de las enfermedades más destructivas (Behrani *et al.*, 2015). en la etapa temprana de la infección, las raíces de las plantas adquieren un color rosado y se pudren más tarde. En etapa avanzada, el bulbo comienza a decaer desde los extremos inferiores y, finalmente, toda la planta muere. La pudrición basal de la cebolla se puede controlar eficazmente con fungicidas como carbendazim y antrocol (Behrani *et al.*, 2015).

1.3.5. Cosecha

La variedad de la cebolla determina la época de cosecha (Kumawat *et al.*, 2022). El punto de cosecha puede considerarse cuando el bulbo alcanza la maduración fisiológica, caracterizada por la caída o doblado del 75% de los cuellos de la planta.

Es recomendable que previo a la cosecha se suspenda el riego en el cultivo por quince días.

Los bulbos son removidos del suelo y puestos a secar en el campo. Después se cosechan procurando cortar los cuellos a dos cm de distancia del bulbo y se ponen a secar a la sombra durante tres o cuatro días previo a su clasificación y almacenamiento (Nikus & Mulugeta, 2010).

Las cosechas precipitadas afectan negativamente la calidad y rendimiento de la cebolla, ya que resultan en bulbos con menor peso, con cuellos gruesos, que tardan más en secarse y son más susceptibles a enfermedades. Cuando la cosecha se realiza con retraso o la mayor parte de las plantas se encuentran dobladas, el peso de los bulbos puede ser mayor, y pudieran presentarse quemaduras en su exterior por efecto de la radiación solar y pérdida de las catáfilas exteriores (Enciso *et al.*, 2019).

1.4. Estrés hídrico en la producción y calidad de la cebolla

El agua es el principal factor limitante para el bajo rendimiento de bulbos de cebolla. El cultivo requiere de 350 a 500 mm de agua durante la etapa de crecimiento. Al ser un cultivo de raíces poco profundas, la cebolla es más sensible al estrés hídrico (FAO, 2013).

El estrés por agua impacta en la fotosíntesis y a nivel fisiológico, reduce el crecimiento, desarrollo y rendimiento el cultivo (Ghodke *et al.*, 2018; Abdelkhalik *et al.*, 2019).

El estrés hídrico reduce parámetros morfofisiológicos de los bulbos cosechados, como son, el tamaño y peso promedio, el diámetro medio, el índice de forma, el índice de cosecha y la firmeza (Ortola & Knox, 2014; Bhagyawant *et al.*, 2015; Wakchaure, *et al.*, 2021). Los efectos causados por el déficit de agua se vuelven

más graves si el estrés ocurre durante las etapas más sensibles como son emergencia, trasplante y formación de bulbo (Ortola & Knox, 2014; Bhagyawant *et al.*, 2015). Sin embargo, riegos excesivos durante el periodo vegetativo pueden dar lugar a un retraso y desarrollo atenuado de los bulbos (Doorenbos & Kassam, 1979).

En general las hortalizas sólo permiten un pequeño estrés hídrico, el cual no se debe aplicar durante las etapas de rápido desarrollo y de mitad de temporada, cuando la bulbificación podría verse afectada (Zheng *et al.*, 2013).

Adicionalmente se ha reportado que el déficit hídrico puede mejorar la calidad de almacenamiento de la cebolla, incrementar el contenido de materia seca y elevar el pH. Esta condición conduce también al aumento de proteínas, azúcares, sólidos solubles, fenoles, flavonoides, taninos, además de afectar potencialmente la actividad enzimática (superóxido dismutasa y peroxidasa) (Wakchaure, *et al.*, 2021; Zayton, 2007; Vidya *et al.*, 2019).

La tolerancia al déficit hídrico en el cultivo dependerá de distintos factores, entre ellos, del genotipo, medio ambiente, absorción de nutrientes y agua de las raíces, translocación de fotoasimilados y homeostasis fuente sumidero (Ohashil *et al.*, 2000; Toscano *et al.*, 2019).

1.5. Estrés por nitrógeno en la producción y calidad de la cebolla

Entre los fertilizantes se considera que el nitrógeno es el factor más limitante para aumentar el tamaño de los bulbos y obtener altos rendimientos (Meena *et al.*, 2014; Abdissa *et al.*, 2011). La cantidad de nitrógeno recomendada para producir el mayor rendimiento de bulbos comercializables varía de 69 a 192 kg ha⁻¹ (Gateri *et al.*, 2018).

El cultivo de cebolla al presentar un sistema radicular superficial se fertiliza con frecuencia con tasas de nitrógeno que van de medias a altas para maximizar el rendimiento (Halvorson *et al.*, 2002; Olson *et al.*, 2011).

El estrés por déficit de nitrógeno restringe la concentración de clorofila, el desarrollo de cloroplastos, la actividad enzimática, la división y expansión celular. Esta deficiencia provoca amarillamiento en las partes más viejas de la planta y retraso en el crecimiento (Messele, 2016). Adicionalmente, se ha reportado que las plantas presentan mayor cantidad de metabolitos secundarios, entre ellos antioxidantes, bajo condiciones restringidas de nitrógeno, que aquellas que crecen en suelos ricos en este elemento (Ibrahim *et al.*, 2013; Ibrahim *et al.*, 2011).

Por el contrario, el estrés por exceso de nitrógeno puede resultar en un crecimiento vegetativo excesivo. El uso indiscriminado de este elemento puede ocasionar también bulbos inmaduros, disminución de la materia seca y de la capacidad de almacenamiento, mayor susceptibilidad a las enfermedades, menor rendimiento y calidad de los bulbos (Messele, 2016).

1.6. Actividad biológica de la cebolla

La cebolla es rica en compuestos potencialmente beneficiosos para la salud, entre los que se encuentran los compuestos fenólicos y organosulfurados (Liu & col., 2015; Liu, 2013).

Los compuestos organosulfurados o alk(en)yl sulfóxidos de cisteína (ACSO), se integran por tiosulfinatos, tiosulfonatos, mono-, di- y trisulfuros. Además de ser precursores del olor y sabor, estos compuestos poseen propiedades medicinales que confieren beneficios a la salud, entre ellos destaca su acción antioxidante (Kim *et al.*, 2018), antiinflamatoria, antimicrobiana (Putnik *et al.*, 2019) o anticáncer (Walag *et al.*, 2020).

La cebolla sobresale también por la gran cantidad de compuestos antioxidantes que confiere la síntesis de compuestos fenólicos (Pérez *et al.*, 2011). Los compuestos fenólicos conforman un reducido grupo en las plantas, que en general se encuentran

en bajas concentraciones y son conocidos como metabolitos secundarios. La función de estos compuestos es brindar un buen desarrollo y crecimiento vegetativo, y a su vez, participar en el mecanismo de defensa de la planta (Tuladhar *et al.*, 2021).

Entre los fenoles de la cebolla se distinguen quercetina y sus derivados, los cuales se han considerado poderosos antioxidantes por su capacidad de eliminar radicales libres y quelar metales, permitiendo con esto, inhibir la per oxidación de lípidos (Boots *et al.*, 2011, Gawlik-Dziki *et al.*, 2011).

Se ha demostrado que ciertos polifenoles presentes en la cebolla mejoran diferentes patologías de naturaleza inflamatoria (Rodrigo *et al.*, 2011; Andújar *et al.*, 2011) o neurodegenerativas como el Alzheimer y Parkinson (Vauzour *et al.*, 2010).

En diferentes niveles los compuestos bioactivos evitan el desarrollo de tumores, induciendo la apoptosis de células cancerosas en útero, colon y osteosarcoma (Fredotović *et al.*, 2017, 2020; Fujiwara *et al.*, 2016; Murayyan *et al.*, 2017).

En algunas investigaciones se ha reportado disminución de los niveles de glucosa en sangre debido a la inhibición de su absorción por parte de los compuestos polifenólicos (Ebrahimi *et al.*, 2018); así como también, se ha asociado que el consumo de extractos o polvo de cebolla reduce los índices aterogénicos y el riesgo cardiaco (Colina *et al.*, 2017; Kang *et al.*, 2016).

1.7. Actividad antioxidante

La oxidación es una reacción química que consiste en la transferencia de electrones de una molécula a un agente oxidante, en la cual se producen radicales libres. Los radicales libres generados son especies sumamente reactivas que generan reacciones en cadena al quedar desapareadas en su última capa. El antioxidante

reacciona con los radicales libres y termina la reacción en cadena (Misra *et al.*, 2014).

Los antioxidantes se definen como “las sustancias que previenen la oxidación y ayudan a mantener la integridad celular inactivando a los radicales libres que pueden causar daño celular” (NOM-043-SSA2-2012). Otros autores describen a los antioxidantes como sustancias que en bajas concentraciones previenen o retardan la oxidación de un sustrato (Santos *et al.*, 2019).

La capacidad de una sustancia para inhibir o retardar la degradación oxidativa se mide como actividad antioxidante (Londoño, 2012).

1.8. Estrés oxidativo

El estrés oxidativo se define como “aquel tipo especial de estado bioquímico de una célula o tejido, que puede ocurrir en plazos cortos o largos, en donde la generación de especies químicas oxidantes rebasa la capacidad de producción o la actividad de especies antioxidantes” (Mendoza, 2002).

Las especies oxidantes o especies reactivas de oxígeno (ERO) (Tabla 1), deben su nombre a que presentan mayor reactividad que el oxígeno molecular y pueden o no ser radicales libres. Las ERO radicales más frecuentes son: el anión superóxido ($O_2^{\bullet-}$), radical hidroxilo ($OH^{\bullet}$) y los radicales formados en la oxidación de ácidos grasos poliinsaturados alcoxilo ($alkO^{\bullet}$) y alquilperoxilo ($alkOO^{\bullet}$) (Londoño, 2012).

Las ERO no radicales son el ácido hipocloroso ($HOCl$) y el peróxido de hidrogeno (H_2O_2). Al igual que las ERO las especies reactivas de nitrógeno (ERN) (Tabla 1) se generan mínimamente y participan en procesos celulares normales. Entre ellas se encuentran el óxido nítrico ($NO^{\bullet}$), el dióxido de nitrógeno radical ($NO_2^{\bullet}$), y especies no radicales, como el catión nitronium (NO_2^+), trióxido de di nitrógeno (N_2O_3), anión

del nitrosoperoxicarbonato (ONOOCO_2^-), anión del peroxinitrito (ONOO^-) y el ácido peroxinitroso (ONOOH) (Londoño, 2012).

Tabla 1. Especies reactivas generadas en sistemas biológicos.

Especie	Fuente	Función	Referencia
Anión singlete ($^1\text{O}_2$)	La absorción de luz por compuestos biológicos dentro de las membranas de los tilacoides, produce oxígeno singlete por fotosensibilización.	Oxida con facilidad a biomoléculas.	Triantaphylidès, & Havaux, 2009.
Anión superóxido ($\text{O}_2^{\bullet-}$)	Se produce principalmente en la cadena de transporte de electrones mitocondrial durante generación de ATP.	Actúa como agente oxidante de ácido ascórbico y α -tocoferol o bien, puede actuar como agente reductor de complejos de hierro como citocromo-c.	Santos <i>et al.</i> 2019.
Peróxido de hidrógeno (H_2O_2)	Producto de la reacción de dismutación de radicales superóxido.	Oxida a biomoléculas e inactiva a enzimas. Es fuente de especies más tóxicas como OH y HClO.	Gill & Tuteja 2010; Del Río 2004.
Radical hidroxilo ($\text{OH}^\bullet$)	Es producido por el H_2O_2 en las reacciones de Haber-Weiss y de Fenton. El $\text{OH}^\bullet$ puede producirse también mediante ácido hipocloroso y hierro.	Es el principal iniciador de ataque a todo tipo de macromoléculas orgánicas e inorgánicas.	Camps, 2010.
Óxido nítrico ($\text{NO}^\bullet$)	Gas radical producido en las células por vías oxidativas como reductoras.	Dependiendo de la concentración en la célula, el NO puede actuar como señalizador o causar toxicidad. Las funciones principales están asociadas con germinación, la floración o la senescencia de las hojas, y en respuesta al estrés ambiental. El exceso de NO puede dañar las membranas y el ADN.	Yu <i>et al.</i> , 2014 Neill <i>et al.</i> , 2003; Del Río <i>et al.</i> , 2004. Mur <i>et al.</i> , 2013. Pedroso & Durzan, 2000; Romero <i>et al.</i> , 2004.
Dióxido de nitrógeno N ($\text{NO}_2^\bullet$)	Se sintetiza a partir de la protonación de ONOO ⁻ o bien de la fragmentación homolítica de ONOOCO ₂	Al interactuar en el mecanismo antioxidante disminuye el contenido de ascorbato y α -tocoferol.	Santos <i>et al.</i> , 2019.
Peroxinitrito (ONOO $^\bullet$)	Se produce de la interacción entre el óxido nítrico NO y el radical superóxido $\text{O}_2^{\bullet-}$.	Genera la síntesis de residuos de metionina y tirosina en proteínas y oxida el ADN para formar nitroguanidina	Corpas & Barroso, 2013.

1.9. Métodos para evaluar la capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante representa la duración o eficiencia termodinámica de los antioxidantes para estabilizar a las especies reactivas y las unidades son expresadas como moles de especies reactivas eliminadas por cada mol de antioxidante durante un periodo de tiempo determinado. Este concepto difiere de la actividad antioxidante, en que ésta mide la dinámica inicial o cinética de la acción antioxidante para inhibir especies reactivas, y sus unidades son expresadas como velocidad de reacción o porcentaje de barrido por unidad de tiempo (Özyürek *et al.*, 2011; Roginsky & Lissi, 2005).

Los métodos empleados para evaluar la capacidad/actividad antioxidante son los siguientes (Tabla 2).

Tabla 2. Métodos comunes usados para evaluar la capacidad/actividad antioxidante *in vitro*.

Método	Mecanismo de reacción	Fundamento	Determinación del producto final	Referencia
Parámetro de captación total de radicales (TRAP)	HAT	Determina la capacidad de los compuestos antioxidantes de interferir con los radicales peroxilos generados por AAPH.	Pérdida de quimioluminiscencia	Wayner <i>et al.</i> , 1985; Munteanu, & Apetrei, 2021.
Poder antioxidante reductor férrico (FRAP)	SET	Evalúa la capacidad de reducción por transferencia de electrones del complejo incoloro TPTZ-Fe ₃ ⁺ al complejo azulado TPTZ-Fe ₂ ⁺ . El color producido será proporcional a la capacidad del radical.	Colorimétrico	Benzie & Strain, 1996; Munteanu, & Apetrei, 2021.
Capacidad secuestradora de radicales de oxígeno totales (TOSC)	HAT	La capacidad antioxidante de una molécula se mide a partir de su capacidad para inhibir la formación de etileno.	Colorimétrico	Winston <i>et al.</i> , 1998; Munteanu, & Apetrei, 2021.
Capacidad de captación de radicales oxigenados (ORAC)	HAT	El principio se basa en la pérdida de fluorescencia de fluoresceína, a través del tiempo, y grado de inhibición de radicales peroxilo, producidos por la descomposición térmica del radical AAPH.	Pérdida de fluorescencia de fluoresceína	Ou <i>et al.</i> , 2001; Seeram <i>et al.</i> , 2008; Munteanu, & Apetrei, 2021.
Secuestro del radical 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH•)	SET o HAT	El ensayo se basa en la donación de un electrón de los antioxidantes para neutralizar el radical DPPH•, acompañado de un cambio de color que va de púrpura intenso a incoloro.	Colorimétrico	Molyneux, 2004; Munteanu, & Apetrei, 2021.
Secuestro del radical catión ácido 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS• ⁺)	SET o HAT	El método colorimétrico evalúa el decaimiento o reducción del radical ABTS• ⁺ debido a la transferencia de electrones por parte del antioxidante. La intensidad de color disminuye de azul a verde en presencia de antioxidantes.	Colorimétrico	Re <i>et al.</i> , 1999. Roginsky & Lissi, 2005; Munteanu & Apetrei, 2021.
Capacidad antioxidante total (TAC)	SET	La capacidad antioxidante mide el peróxido formado al iniciar la oxidación del ácido linoleico, con Fe ²⁺	Colorimétrico	Roginsky & Lissi, 2005; Gülçin, 2012; Munteanu, & Apetrei, 2021.
Ensayo de fenoles totales mediante el reactivo de Folin Ciocalteu	SET	El método mide la capacidad de los compuestos fenólicos para reaccionar con agentes oxidantes. Al reaccionar los compuestos fenólicos con el reactivo Folin Ciocalteu a pH alcalino, los protones se disocian en compuestos fenólicos iónicos. La reacción genera un color azul, que aumentará en intensidad a mayor cantidad de iones fenólicos.	Colorimétrico	Eldeen <i>et al.</i> , 2011; Sejati, 2012; Martono <i>et al.</i> , 2019; Khadijah <i>et al.</i> , 2017; Munteanu, & Apetrei, 2021.

Santos *et al.*, (2019) con ligeras modificaciones.

1.9.1. Parámetro de captación total de radicales (TRAP: Total Radical-Trapping Antioxidant Parameter). La prueba se basa en la capacidad del antioxidante para intervenir en la reacción entre radicales peroxilo generados por AAPH (2,2'-azobis(2-metilpropionamidina) clorhidrato) o ABAP (2,2'-azobis(2-amidinopropano) clorhidrato). Durante la reacción de per-oxidación se descompone térmicamente el ABAP y se mide el consumo de O₂ resultante mediante electrodos o por fluorescencia. Los resultados o valor TRAP se expresan como μmol de ROO $\cdot$ atrapado por litro de plasma (Wayner *et al.*, 1985).

1.9.2. Poder antioxidante reductor férrico (FRAP: Ferric Reducing Antioxidant Power). El método FRAP se fundamenta en la capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos para reducir el complejo tripiridiltriazina férrico amarillo (TPTZ-Fe₃⁺) a complejo azulado tripiridiltriazina ferrosa (TPTZ-Fe₂⁺) a pH ácido (Figura 1). La intensidad del color absorbido a 593 nm es proporcional a la reducción completa de los compuestos fenólicos (Benzie & Strain, 1996).

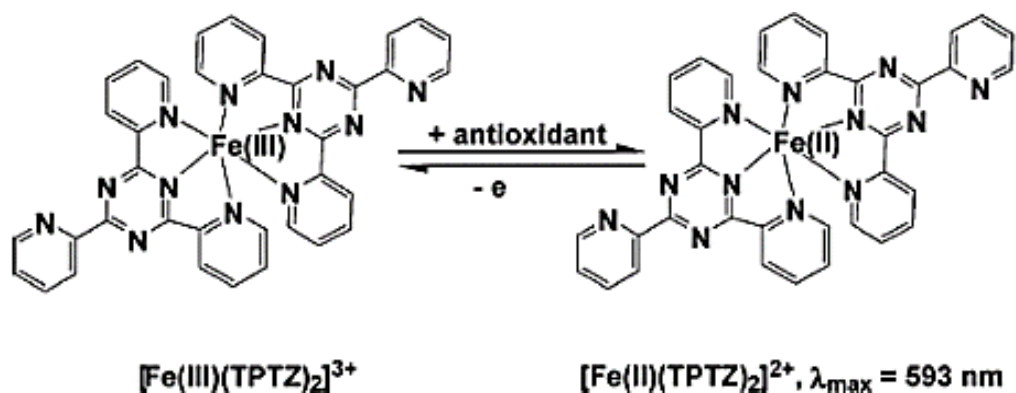


Figura 1. Reacción de reducción del ensayo FRAP

1.9.3. Capacidad secuestradora de radicales de oxígeno totales (TOSC: Total Oxyradical Scavenging Capacity). Este método permite determinar la capacidad secuestradora de radicales por los antioxidantes. El fundamento se basa en la oxidación del ácido α -ceto- γ -metiolbutírico a estilbeno por los radicales generados

por AAPH. La producción de etileno es inhibida por los antioxidantes y puede determinarse mediante cromatografía de gases (Winston *et al.*, 1998).

1.9.4. Capacidad de captación de radicales oxigenados (ORAC: Oxygen Radical Absorbance Capacity). El método ORAC se basa en la transferencia de átomos de hidrogeno (HAT) a radicales peroxilo (Ou *et. al.*, 2001), producidos por la descomposición térmica del radical AAPH. El ataque de los radicales libres y defensa de los compuestos fenólicos ocasiona el agotamiento de la fluorescencia que puede ser representada en una curva sigmoidea. El cálculo de la capacidad antioxidante se realiza a partir del área bajo la curva de disminución de fluorescencia. En este ensayo se utiliza trolox como control; por lo tanto, las unidades de actividad antioxidante son expresadas en equivalentes de trolox (Seeram *et al.*, 2008).

1.9.5. Secuestro del radical 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH•). El método consiste en la donación de un electrón al radical DPPH• por un antioxidante, provocando un cambio de color de púrpura a incoloro a 517 nm (Figura 2). La decoloración garantiza la efectividad del antioxidante y puede ser reportada como EC50, que representa la concentración necesaria de antioxidante para reducir al 50 % la concentración inicial de DPPH• (Molyneux, 2004.).

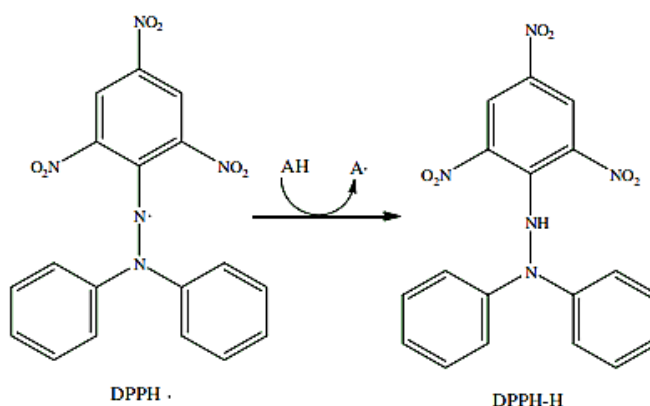


Figura 2. Efecto eliminador de radicales DPPH por un antioxidante (AH)

1.9.6. Secuestro del radical catión ácido 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS). Este método se basa en la capacidad de los antioxidantes (hidrófilos y lipófilos), de reducir directamente el radical catiónico ABTS^{•+} por transferencia de electrones, mostrando un cambio de color de azul a verde con absorción máxima a 734 nm (Figura 3). La disminución de color se relaciona con la capacidad antioxidante y puede ser expresado en trolox (Re *et al.*, 1999; Roginsky & Lissi, 2005).

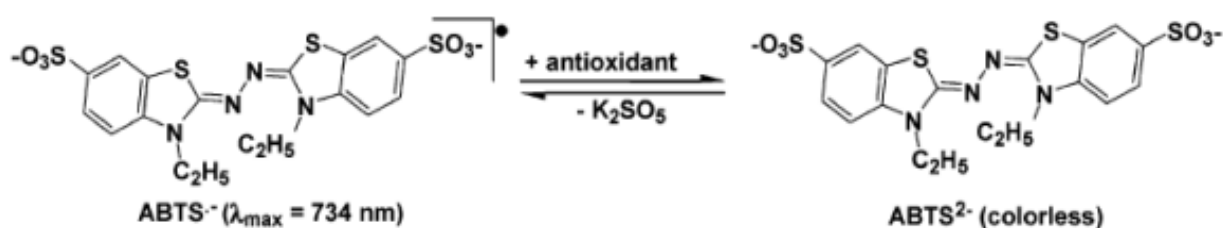


Figura 3. Reacción de ABTS^{•+} radical con antioxidante

1.9.7. Capacidad antioxidante total (TAC). Este método se utiliza para medir el nivel de peróxido durante la etapa de iniciación de oxidación lipídica. Los peróxidos se forman durante la oxidación del ácido linoleico, reaccionan con el Fe²⁺ para formar Fe³⁺. Los iones de Fe³⁺ forman un complejo con tiocianato que se utiliza para medir el índice de peróxido y que absorbe a 500 nm (Roginsky & Lissi, 2005; Gülcin, 2012).

2. Fenoles totales

La determinación de fenoles totales está basada en la capacidad de los compuestos fenólicos para reaccionar con agentes oxidantes (Sejati, 2012; Martono *et al.*, 2019). Al reaccionar un compuesto fenólico con el reactivo Folin Ciocalte a pH alcalino, los

protones se disocian en compuestos fenólicos iónicos (Figura 4), el color azul generado aumentará en intensidad a mayor cantidad de iones fenólicos a 750 nm (Khadijah, *et al.*, 2017).

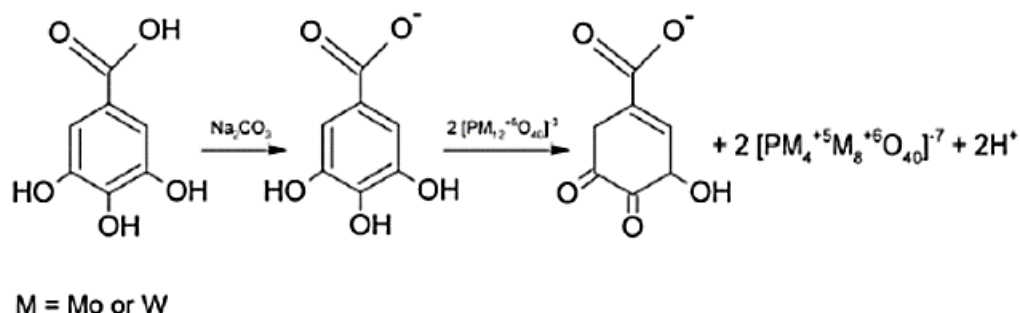


Figura 4. Mecanismo de acción del reactivo Folin-Ciocalteu

3. Mecanismos de reacción de los antioxidantes

Los compuestos antioxidantes pueden inhibir o retrasar el daño celular oxidativo (Magalhaes *et al.*, 2008) a través de una serie de mecanismos de reacción, como transferencia de átomos de hidrogeno (HAT por sus siglas en inglés, Hydrogen Atom Transfer), transferencia de electrones (SET o ET por sus siglas en inglés, Single Electron Transfer) y quelación de metales de transición (Santos *et al.*, 2019; Munteanu & Apetrei, 2021).

El mecanismo HAT consiste de una ruptura homolítica de la cual, de manera concertada, se va un electrón al protón (donante) y otro al oxígeno (sustrato) en un solo paso cinético (Banerjee, 2007; Lai *et al.*, 2012; Mayer, 2011). El mecanismo SET transfiere un electrón al radical y después, el protón formado se transfiere al anión radical generado (Wright *et al.*, 2001).

3.1. Compuestos fenólicos

Entre los fenoles de la cebolla se distingue el flavonoide quercetina (y sus derivados), el cual ha sido considerado un poderoso antioxidante debido principalmente a la posición del OH en el C3 de su estructura (Figura 5) (Apak *et al.*, 2016), que aumenta su capacidad de eliminar radicales libres (Figura 6) y quelar metales (Figura 7), permitiendo con esto, inhibir la per oxidación de lípidos (Boots *et al.*, 2011, Gawlik-Dziki *et al.*, 2011).

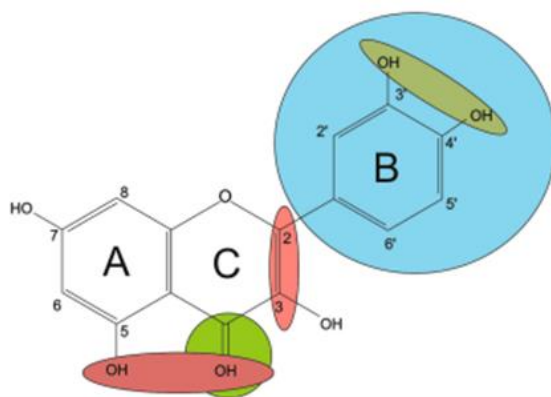


Figura 5. Estructura química de flavonoide indicando el enlace y los grupos funcionales que le confieren alta capacidad antioxidante.

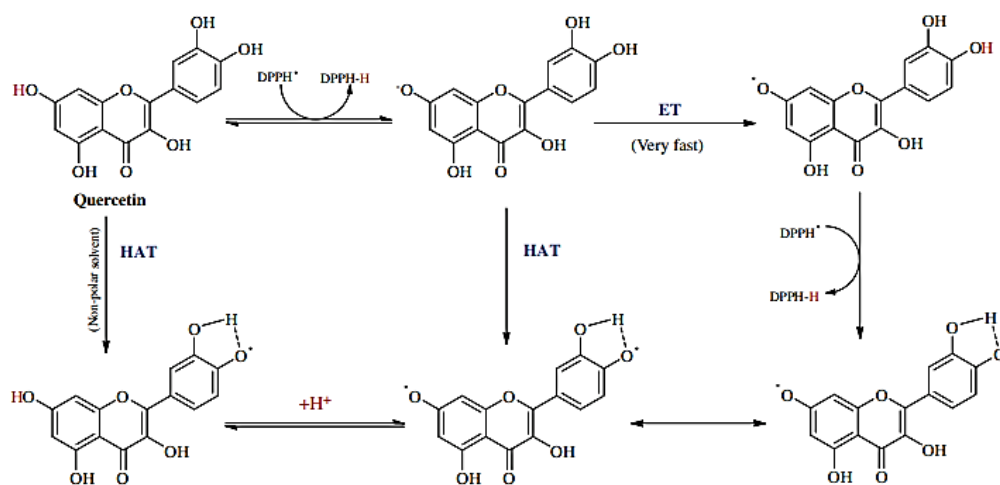


Figura 6. Mecanismos de reacción posibles (SET y HAT) de flavonoides con radicales DPPH.

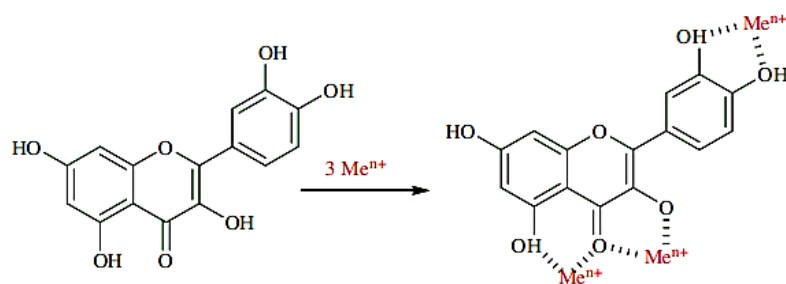


Figura 7. Mecanismo de quelación de metales en flavonoides.

3.2. Vitamina C

La vitamina C o ácido L-ascórbico, es un donador de electrones que contribuye a la prevención del daño oxidativo (Timpson *et al.*, 2010); elimina radicales libres hidrosolubles y regenera a la vitamina E en las membranas celulares en combinación con glutatión reducido (GSH) (Niki, 1991; Retsky *et al.*, 1993).

En su estructura el ácido ascórbico presenta un grupo enediol entre el C2 y C3 del anillo de lactona. A pH fisiológico el hidroxil del C3 es desprotonado (Figura 8), generando al ascorbato que es un anión monovalente (Tripathi *et al.*, 2019). El grupo enediol permite la donación de uno o dos electrones formando monohidroascorbato y dehidroascorbato (Paciolla *et al.*, 2016).

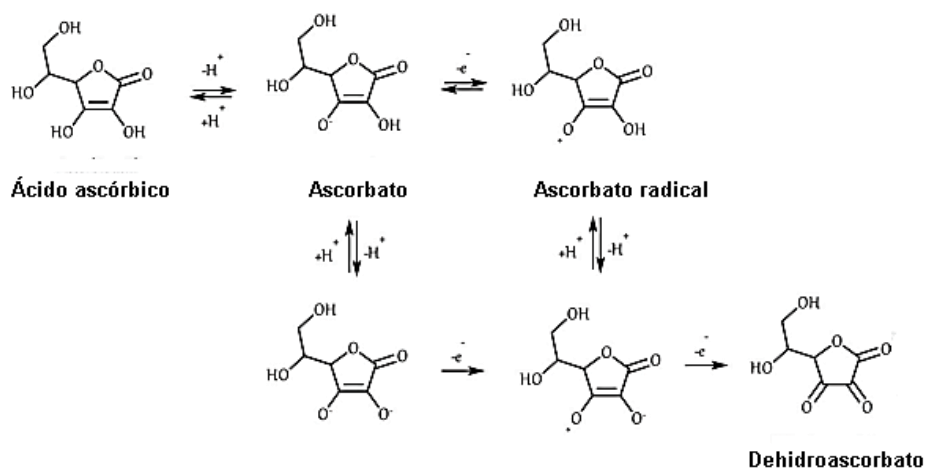


Figura 8. Mecanismo de eliminación de radicales libres del ácido ascórbico.

4. Manejo poscosecha de la cebolla

En el manejo poscosecha, una de las prácticas más importantes son el curado, así como el control de la temperatura, humedad relativa, luz y el manejo de atmosferas controladas (Petropoulos *et al.*, 2017).

4.1. Curado

El curado es un proceso de secado necesario en el cultivo de cebolla, destinado a secar el cuello y las hojas exteriores de los bulbos, para evitar la pérdida de humedad e inhibir posibles infecciones causadas por patógenos durante el almacenamiento (Naqash *et al.*, 2021). Esta práctica prolonga el tiempo de almacenamiento de la cebolla, al aminorar las pérdidas poscosecha debidas a la pérdida de peso fisiológica, podredumbre y brotado (Gorreapti *et al.*, 2017).

Los bulbos de cebolla se pueden curar naturalmente en el campo, dejándolos secar al sol, o artificialmente, controlando la temperatura y humedad (Nega *et al.*, 2015). Un método de curado artificial consiste en la aplicación de un tratamiento térmico rápido a 30°C y 98% de humedad relativa, durante 9 días (Eshel *et al.*, 2014).

4.2. Tiempo de almacenamiento

Las cebollas varían en su capacidad de almacenamiento de acuerdo con el nivel de pungencia. Los bulbos más pungentes se almacenan durante períodos prolongados, mientras que los bulbos de sabor más suave, con contenidos bajos de sólidos solubles, normalmente no se almacenan por periodos mayores a 3 meses. El almacenamiento prolongado puede desarrollar el desorden fisiológico de escamas acuosas o translucidas (Kader, 2011).

4.3. Temperatura

La cebolla se almacena generalmente en dos regímenes de temperatura de 0 a 2 °C y 25 a 30 °C (Tripathi & Lawande, 2019).

4.4. Humedad relativa

En poscosecha la humedad relativa de la cebolla se debe mantener en un rango de 65 a 70 %HR (Tripathi & Lawande, 2019).

4.5. Luz

La luz promueve el enverdecimiento de la cebolla por lo que debe evitarse la exposición prolongada durante el almacenamiento (Kader, 2011).

4.6. Atmósferas controladas

Las atmósferas modificadas (1 % de O₂ y 99% de N₂ a 5 °C) prolongan el tiempo de almacenamiento de las cebollas y pudieran reducir la acritud como consecuencia de una ligera disminución de los precursores del sabor (Yoo *et al.*, 2012).

5. Eliminación de catáfilas para mejorar calidad

Durante el almacenamiento los factores ambientales como la temperatura, la luz y el aire afectan la calidad organoléptica y funcional de las hortalizas (Li *et al.*, 2022). Estos factores pueden inducir el deterioro de la cebolla, alterar el contenido de materia seca, pungencia, concentración de ácido abscísico y fructanos (Ritsema & Smeekens, 2003; Chandrashekar, 2014). En consecuencia, se pueden producir pérdidas en poscosecha y reducir la calidad comercial de los bulbos (Sohany *et al.*, 2016).

Los bulbos de cebolla están compuestos por escamas dispuestas según su edad cronológica desde las más jóvenes (escamas internas) hasta las más viejas

(escamas externas) (Galsurker *et al.*, 2017). Para reducir el deterioro y mejorar la apariencia de las cebollas, durante la comercialización en fresco, los bulbos se clasifican y descaman durante varios días o semanas. La práctica de quitar las escamas se utiliza ampliamente y aunque mejora la apariencia y atrae compradores pudiera afectar la calidad de las cebollas (Hasan & Uddin, 2011).

6. Hipótesis

La producción de cebolla con diferentes niveles de fertilización nitrogenada y riego modificarán las características de crecimiento, producción y calidad poscosecha.

7. Objetivo general

Evaluar las dosis de nitrógeno y riego que favorezcan el crecimiento, producción y calidad poscosecha de cebolla.

7.1. Objetivos específicos

Evaluar el efecto de los diferentes niveles de aplicación de nitrógeno y riego en la producción y calidad de cebolla.

Evaluar la calidad bioquímica y antioxidante de la cebolla en diferentes niveles de humedad y fertilización.

Evaluar la calidad química de cebolla y comercial por eliminación de catáfilas.

MATERIALES Y MÉTODOS

8. Fase de campo

La fase de campo se realizó en el periodo de enero a junio de 2021 en el área experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California ($32^{\circ}24'34''\text{N}$ $115^{\circ}11'16''\text{O}$), clima desértico (García, 2004).

La variedad de cebolla utilizada fue el híbrido Sierra Blanca, tipo bola, color blanco, y de fotoperiodo intermedio. Se evaluaron 5 niveles de humedad aprovechable del suelo (0, 25, 50, 75 y 100%) y 5 dosis de fertilización nitrogenada (0, 100, 150, 200 y 250 Kg N ha⁻¹). De la combinación de ambos factores se generaron 16 tratamientos. El diseño experimental fue bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. La parcela grande fue el nivel de humedad y las subparcelas la dosis de fertilizante.

El establecimiento de la cebolla en campo se realizó mediante trasplante en surcos separados a 80 cm con una longitud de 13 m. La distribución de las plantas por surco fue a doble hilera con una separación de 15 cm. Las dimensiones de la parcela grande fue 4 surcos de 13 m de longitud y la parcela chica de un surco de 13 m. La disposición de las plantas fue a doble hilera en zig - zag con una separación de 10 cm entre plantas.

Los niveles de riego aplicados fueron de 25, 50, 75 y 100% de humedad aprovechable considerando la curva de retención de humedad del suelo de textura arcillosa. Para lo anterior previamente se determinó el punto de marchitez permanente y capacidad de campo del suelo en donde se estableció el cultivo. La aplicación del riego a los diferentes niveles de humedad se determinó mediante curva de retención de humedad para suelo arcilloso con valores de tensión de la humedad medida con tensiómetros establecidos a 30 cm de profundidad del suelo.

La aplicación de fertilizantes se realizó empleando dosis de 100, 150, 200 y 250 Kg de nitrógeno. Estas cantidades se completaron con 150 Kg P y 180 Kg K. en la determinación de las cantidades de fertilizantes se consideró la disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo, donde el análisis previo del suelo indicó 6.8 Kg ha^{-1} de N y 7.2 Kg P ha^{-1} . La distribución de los fertilizantes durante el desarrollo del cultivo fue 50% de nitrógeno al trasplante y el resto a los 60 y 100 días después del trasplante. El fósforo y el potasio se aplicaron al momento del trasplante.

8.1. Parámetros de crecimiento

Las mediciones de los parámetros de crecimiento se realizaron en cuatro plantas por tratamiento empleando instrumentos de medición calibrados.

8.1.1. Altura de planta. La medición de este parámetro se realizó con cinta métrica enderezando las hojas hacia arriba en un manojo y colocando la base de la cinta desde el nivel del suelo hasta la punta de la hoja más alta. Las unidades empleadas fueron centímetros (Nourbakhsh & Cramer, 2022).

8.1.2. Número de hojas por planta. Se registró el número de hojas vivas por planta, con más de la mitad de su área con tejido verde (Asaduzzaman et al., 2012).

8.1.3. Área foliar. En el laboratorio se determinó el área foliar del cultivo durante tres fechas de muestreo. Las hojas individuales de las plantas se pasaron por un equipo de medición de área foliar digitalizado LI-COR-3000C (LI-COR Inc., Lincoln, Nebraska, Estados Unidos), los resultados fueron registrados en unidades de cm^2 (Córcoles et al., 2013).

8.1.4. Peso seco de bulbo y hojas. El peso seco de bulbo se determinó al someter el tejido vegetal troceado en una estufa de secado a 60°C por un periodo de 72 horas (Coca et al., 2012). Las hojas se cortaron y colocaron en una bolsa de papel

perforada, y se pusieron a secar en un horno a 60 °C durante 3 días o hasta que el peso se estabilizó y no mostró más cambios. El contenido de materia seca (%) en hojas y bulbos se calculó por diferencia de peso entre el peso seco del tejido y el peso fresco del mismo por 100 (%) (Yoo *et al.*, 2019).

8.1.5. Peso seco de planta completa. El peso seco de los órganos de las plantas, se cuantificó al someter el tejido vegetal en una estufa de secado a 60 °C por un periodo de 72 horas (Coca *et al.*, 2012).

8.1.6. Tasa absoluta de crecimiento. La determinación de la tasa absoluta de crecimiento se realizó midiendo el peso seco del material vegetal a través del tiempo. Los resultados fueron expresados en g día⁻¹ (Di Benedetto & Tognetti, 2016).

$$\text{Tasa absoluta de crecimiento} = \frac{\Delta \text{Peso}}{\Delta \text{Tiempo}} = \frac{\text{g}}{\text{día}}$$

8.1.7. Tasa relativa de crecimiento. La tasa relativa de crecimiento de la planta se determinó con la tasa absoluta de crecimiento por el incremento de material vegetal. Los resultados fueron expresados en g g⁻¹ día⁻¹ (Di Benedetto & Tognetti, 2016).

$$\text{Tasa relativa de crecimiento} = \frac{1}{\text{Peso inicial}} \frac{\Delta \text{Peso}}{\Delta \text{Tiempo}} = \frac{\text{g}}{\text{g día}}$$

8.1.8. Tasa de asimilación neta. La tasa de asimilación neta se determinó empleando la tasa de crecimiento relativo por unidad de área foliar. Los resultados fueron expresados en g cm⁻² día⁻¹ (Di Benedetto & Tognetti, 2016).

$$\text{Tasa de asimilación neta} = \frac{\text{Tasa relativa de crecimiento}}{\text{Área foliar}} = \frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \text{ día}}$$

8.2. Parámetros de rendimiento

Los parámetros de rendimiento empelados fueron peso individual de bulbo y peso de bulbo por hectárea.

8.2.1. Peso de bulbo. Los bulbos recién cosechados y sin follaje se pesaron individualmente en una balanza digital. Las unidades registradas fueron gramos (g) (Estrada *et al.*, 2015).

8.2.2. Rendimiento. El rendimiento se cuantificó multiplicando el número promedio de bulbos por el peso fresco de los bulbos y por el área, y se expresó en t ha⁻¹ (Aboukhadrah *et al.*, 2017).

9. Fase de laboratorio

9.1. Parámetros de calidad física

Los parámetros de calidad física de cebolla fueron evaluados a partir de 4 cebollas por tratamiento y bloque.

9.1.1. Calibres. Después de la cosecha las cebollas se clasificaron por calibres de acuerdo con los Estándares de los Estados Unidos establecidos para semillas de cebolla tipo Bermuda, USDA-AMS. Las clases fueron: chica (2.54 - 5.72 cm), pre-
envase (4.45 - 7.62 cm), mediana (5.08 - 8.26 cm), grande o jumbo (>7.62 cm) y colosal (>9.53 cm) (Gateri, 2019).

9.1.2. Diámetro polar y ecuatorial del bulbo. Las mediciones se tomaron de las circunferencias polar y ecuatorial de los bulbos empleando vernier digital como instrumento de medición y centímetros (cm) como unidad (Alarcón *et al.*, 2018).

9.1.3. Número y grosor de catáfilas. Se contabilizó el número de catáfilas por bulbo y el grosor de estas se obtuvo de 3 mediciones empleando un vernier como instrumento de medición.

9.1.4. Color. La medición del color se realizó en dos caras opuestas de la sección ecuatorial de la cebolla, empleando un espectrofotómetro de esfera X-Rite SP-62 (X-Rite Inc., USA). Los valores de color se expresaron usando un sistema tridimensional de coordenadas L^* a^* b^* . En donde el eje vertical L^* es Luminosidad (negro=0, y blanco=100) y en los ejes horizontales a^* es la tendencia de rojo a verde, y b^* es la tendencia de azul a amarillo (Petropoulos *et al.*, 2016).

9.1.5. Firmeza. La firmeza de bulbos se midió en 3 lados opuestos de la región ecuatorial de la cebolla, utilizando un texturómetro Chatillon DFE-100 digital (AETEK Inc, USA), con puntal cilíndrico de 8 mm. Los valores fueron expresados en Newton (N) (Mallor *et al.*, 2011).

9.2. Parámetros de calidad química

Se utilizaron 10 g de tejido vegetal fresco de cebolla y se homogenizaron en una licuadora comercial (marca Osterizer) con 50 ml de agua destilada (pH= 7.0). El extracto se filtró y se utilizó para las determinaciones de pH, acidez titulable, y sólidos solubles totales (AOAC,1998).

9.2.1. pH. El pH se registró con un medidor multi-paramétrico de mesa modelo H12550-01.7.

9.2.2. Acidez titulable. Se determinó en alícuotas de 10 ml de extracto y agregando de 2 a 3 gotas de fenolftaleína (marca Merck). Posteriormente, se agregó gota a gota de solución valorada de NaOH 0.1 N (marca Merck) hasta lograr la neutralización de los ácidos presentes en la muestra, reportando los resultados en por ciento de ácido cítrico.

9.2.3. Sólidos solubles totales. Se colocó una gota de extracto en un refractómetro digital Abbe Leika Mark II. Los resultados por triplicado fueron expresados en °Brix.

9.2.4. Porcentaje de materia seca. El peso seco de bulbo se determinó al someter el tejido vegetal troceado en una estufa de secado a 60 °C por un periodo de 72. Los resultados por triplicado fueron expresados como porcentaje de materia seca horas (Coca *et al.*, 2012).

9.3. Parámetros de calidad bioquímica

9.3.1. Ácido ascórbico. El contenido de ácido ascórbico se determinó mediante el método de Tillmans, conocido también como método volumétrico de 2,6-diclorofenolindofenol. que se basa en la reducción del 2,6-diclorofenolindofenol por el ácido ascórbico. Se tomó 5 g de tejido fresco y se homogeneizó con 50 ml de ácido oxálico al 5%. Posteriormente, se tomó una alícuota de 5 ml y se tituló con solución de Tillman hasta un color rosa permanente y visible por 1 minuto. Los resultados por triplicado fueron calculados al compararse con una curva estándar empleando ácido ascórbico puro y expresados como mg 100 g⁻¹ de peso fresco (AOAC, 1998).

9.3.2. Ácido pirúvico. El piruvato se cuantificó mediante el método propuesto por Anthon & Barret (2003). Se homogenizaron 5 g de tejido vegetal con 5 ml de agua destilada. La mezcla se dejó reposar por 10 min a temperatura ambiente y se filtró en tela de organza (2 capas). El filtrado se centrifugó a 3000 rpm a 4°C por 10 min. Del sobrenadante se tomó una alícuota de 25 µl y se adicionaron 1 ml de agua

desionizada y 1 ml de solución DNPH (0.25 g L^{-1} en HCl 1 M). La mezcla se incubó a 37°C en baño de agua caliente por 10 min y se le adicionó 1 ml de NaOH (1.5 M). Enseguida se registró la absorbancia a 515 nm y los resultados por triplicado fueron calculados mediante una curva patrón de piruvato y expresados en $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco.

9.3.3. Fenoles totales. Los fenoles totales se determinaron de acuerdo con la técnica de Folin Ciocalteu (Eldeen *et al.*, 2011). Se tomó una alícuota de 10 μl de extracto y se agregó 25 μl de solución de Folin 1 N. Enseguida se dejó reposar la mezcla por 5 min a temperatura ambiente. Posteriormente se agregaron 25 μl de solución de Na_2CO_3 al 20% y 140 μl de agua destilada para llegar a un volumen final de 200 μl . Se dejó reposar 30 min y se determinó su absorbancia a 760 nm. Se realizó una curva de calibración entre 0 y 1 mg ml^{-1} empleando ácido gálico como estándar, la calibración fue medida por triplicado. Los resultados se expresaron como miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra (mg EAG g^{-1}).

9.3.4. Capacidad antioxidante de cebolla

9.3.4.1. Método de extracción. La extracción de compuestos bioactivos se realizó de acuerdo a Downes *et al.*, (2009) con ligeras modificaciones. Las muestras de cebolla fueron deshidratadas previamente a 32°C ($150 \pm 0.5 \text{ mg}$) por 48 horas, pulverizadas y tamizadas con tamiz de malla número 30. Las muestras fueron disueltas en 3 ml de metanol acidificado compuesto por 70: 29.5: 0.5 (v / v / v) metanol (grado reactivo): agua (Milli Q): HCl (grado reactivo). Posteriormente, las mezclas se llevaron a un baño de agua a 35°C durante 90 min; agitando cada 15 min durante la extracción. Después de enfriarse, las muestras fueron centrifugadas a 10000 rpm por 15 min y almacenadas en un congelador a -20°C hasta su posterior análisis. Los extractos se emplearon en la determinación de fenoles totales, actividad antioxidante y actividad eritroprotectora.

Las determinaciones de actividad antioxidante y actividad eritroprotectora se realizaron en el Laboratorio de Biotecnología del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos de la Universidad de Sonora. De cada tratamiento se prepararon extractos metanólicos a una concentración de 0.06 g ml⁻¹. y se emplearon en los ensayos de poder reductor férrico (FRAP), captación de radicales DPPH, ABTS y actividad anti hemolítica AAPH.

9.3.4.1.1. Poder antioxidante reductor férrico (FRAP)

El poder antioxidante por reducción del ion férrico a ferroso, se determinó con la metodología de Rubio *et al.*, (2016) con algunas modificaciones. Se preparó una solución stock acidificada (pH 3.6) de buffer de acetato de sodio (300 mmol l⁻¹ a un pH de 3.6). Adicionalmente se preparó una segunda solución que contenía el complejo de hierro-TPTZ empleando 20 mmol de FeCl₃ ·6H₂O en una solución de TPTZ (2,4,6-tripiridil-s-triazin) en 40 mmol de HCl. Una vez preparadas las soluciones stock, se procedió a preparar la solución de trabajo (solución de FRAP). Para ello se agregaron las soluciones en una relación de 10:1:1 (Buffer: FeCl₃ ·6H₂O: TPTZ·HCl). En una placa de 96 pocillos se adicionaron 20 µl de extracto a 280 µl de la solución de FRAP, tomándose lecturas a los 30 min en un lector de microplaca (Thermo Fisher Scientific Inc. Multiskan GO, NY, USA) a 638 nm. La reducción del ión férrico se determinó mediante un cambio de color de transparente a azul. Se realizó una curva estándar con trolox, en un rango de concentraciones de 0 a 200 µM. Los resultados fueron expresados como µM ET g⁻¹ de muestra.

9.3.4.1.2. DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo)

Se realizó a partir de una mezcla de 1.5 mg de radical DPPH• con 50 ml de metanol, ajustándose a una absorbancia de 0.7 ± 0.01 y a una longitud de onda de 515 nm (Molyneux, 2004). De esta mezcla se tomaron 200 µl de radical DPPH• con 20 µl de extracto. Se dejó reposar 30 min en oscuridad y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 515 nm. Se comparó con una curva estándar con trolox en un

rango de 0 a 200 μM . Los resultados fueron expresados en μM de equivalentes trolox por gramo de muestra ($\mu\text{M ET g}^{-1}$).

9.3.4.1.3. ABTS (ácido 2,2'-azino-bis-3 etilbenzotiazolin-6-sulfónico)

La técnica de ABTS (ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) se realizó de acuerdo con la metodología de Re *et al.*, (1999). La preparación del radical se realizó disolviendo 19.3 mg de ABTS en 5 ml de agua destilada. Adicionalmente se pesaron 0.0378g de persulfato de potasio y se disolvieron con 1 ml agua destilada. Enseguida se tomaron 88 μl de la solución de persulfato y se agregaron a la solución de ABTS dejándose reposar en la oscuridad por 12 horas. De esta solución se preparó una solución ajustada a una absorbancia de 0.7 ± 0.05 a una longitud de onda de 734 nm. Posteriormente, se tomó una alícuota de 270 μl de la solución del radical catiónico $\text{ABTS}^{\bullet+}$ preparado y se adicionaron 20 μl de muestra leyendo a una absorbancia de 734 nm después de 30 min de reposo, a temperatura ambiente y en la oscuridad. Se realizó una curva de calibración entre 0 y 1 mg ml^{-1} con trolox (Ácido-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico), la calibración fue medida por triplicado. Los resultados fueron expresados en μM de equivalentes trolox por gramo de muestra ($\mu\text{M ET g}^{-1}$).

9.3.4.1.4. Actividad eritroprotectora

Para este análisis se utilizaron eritrocitos obtenidos por la técnica de venopunción siguiendo la normativa mexicana (NOM-253-SSA1-2012). Los eritrocitos fueron obtenidos de sangre total del grupo O con Rh + de personas sanas con su respectivo consentimiento informado. La sangre se depositó en un vial estéril con anticoagulante (EDTA). La suspensión de eritrocitos se preparó al 10% con solución salina tamponada con fosfato (PBS) pH 7.4. Se centrifugó a $2000 \times g$ durante 10 min a 4°C y se lavó tres veces. El paquete globular (eritrocitos) se recuperó y posteriormente, se preparó una suspensión de eritrocitos en PBS con una relación de 5:95 (v/v) respectivamente. El efecto eritroprotector se midió cuantificando la actividad anti-hemolítica del extracto. Primeramente, se induce la hemólisis

utilizando el compuesto AAPH (2,2'-azobis(2-metilpropionamidina), quien genera radicales libres en la membrana del eritrocito. Para llevar a cabo el análisis, se procedió colocar 100 µL de eritrocitos + 100 µL del radical AAPH + 100 µL de cada extracto (0.06 g mL⁻¹). Se tomaron como controles la suspensión de eritrocitos y AAPH con eritrocitos. Enseguida, se incubó a 37°C durante 3 h con agitación continua (30 rpm) y se añadió 1 mL de PBS previo a su centrifugación a 2000 x g durante 10 min a 4 °C. El sobrenadante se leyó a 540 nm en una microplaca de 96 pocillos. El porcentaje de inhibición de hemólisis se obtuvo de la ecuación:

$$\% \text{ Inhibición de hemólisis} = \frac{AAPH - HS}{AAPH} \times 100$$

donde AAPH1 es la absorbancia de hemólisis provocada por el radical AAPH, y HS es la absorbancia de la inhibición de hemólisis por cada tratamiento según la metodología de Lu *et al.* (2010).

10. Eliminación de catáfilas de cebolla para mejorar calidad

El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio de Fisiología de Poscosecha del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Baja California, México, en septiembre de 2020. La cebolla empleada fue blanca, variedad “Carta Blanca” (*Allium cepa* L.) y fue proporcionada por la empresa San Gabriel, ubicada en el Valle de Ojos Negros, Baja California, México. El cultivar de cebolla “Carta Blanca” tiene un fotoperiodo de día corto, su forma es redonda y tolerante a la floración. Los bulbos se cosecharon en julio de 2020, se secaron en el campo durante una semana, se cortaron las hojas y las raíces y luego se almacenaron. Durante el almacenamiento, las cebollas se mantuvieron a 20±5 °C con una humedad relativa (HR) entre 60 y 70 %. Las muestras de cebollas para el estudio fueron uniformes en apariencia y tamaño (7,00±0,50 cm de diámetro ecuatorial y 8,00±0,50 cm de diámetro polar).

10.1. Desarrollo de experimento

La evaluación de la calidad en cebolla se realizó en 240 bulbos bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3x4. Se evaluaron doce tratamientos que resultaron de la combinación de los niveles de remoción de escamas (C0=sin remoción, C1=sin una escama y C2=sin dos escamas) y los periodos de exposición (0, 10, 20 y 30 días). Se consideraron veinte repeticiones por tratamiento y un bulbo por unidad experimental. Los bulbos fueron expuestos a condiciones ambientales con temperatura promedio de 25 ± 5 °C y HR de $70\pm 10\%$.

10.1.1. Variables evaluadas

En relación con los parámetros químicos, pH, acidez titulable (TA) y sólidos solubles totales (TSS) se determinaron utilizando metodologías propuestas por la AOAC (1998). Para ello se utilizaron 10 g de tejido vegetal fresco y se homogenizaron en una licuadora comercial (marca Osterizer) con 50 mL de agua destilada (pH=7,0).

10.1.1.1. pH

El pH se registró con un medidor multi-paramétrico de mesa modelo H12550-01.7.

10.1.1.2. Acidez titulable

En una alícuota de 10 ml de extracto se adicionaron de 2 a 3 gotas de fenolftaleína (marca Merck), agregando gota a gota de la solución de NaOH 0.1 N (marca Merck), hasta lograr la neutralización de los ácidos orgánicos presentes en la muestra. Los resultados fueron reportados en por ciento de ácido cítrico (AOAC,1998).

10.1.1.3. Sólidos solubles totales

El contenido de sólidos solubles totales (SST) se determinó colocando una gota de extracto en un refractómetro digital Abbe Leika Mark II. Los resultados por triplicado fueron expresados en °Brix (AOAC,1998).

10.1.1.4. Porcentaje de materia seca

En un horno de secado se pusieron a secar 10 g de muestra a 60 °C durante 3 días o hasta que el peso se estabilizó y no mostró más cambios (AOAC, 1998). El contenido de materia seca (%) de bulbos se calculó por diferencia de peso entre el peso seco del tejido y el peso fresco del mismo por 100 (%) (Yoo *et al.*, 2019).

10.1.1.5. Color

El color se midió mediante un espectrofotómetro de esfera X-Rite SP-62 (X-Rite Inc., USA) en caras opuestas de la sección ecuatorial del bulbo. Los valores expresados fueron L* (Luminosidad) que define la claridad del color, C* (croma) que indica la saturación del color y el ángulo de matiz (°) que indica el tono del ángulo cítrico (AOAC,1998).

10.1.1.6. Firmeza

La firmeza se evaluó con un texturómetro digital Chatillon DFE-100 (AETEK Inc, EE. UU.), con un puntal cilíndrico de 8 mm que se introdujo 3 veces en la parte ecuatorial de la cebolla. Las unidades de firmeza registradas fueron Newton (N) cítrico (AOAC,1998).

11. Análisis estadístico

Los análisis de la presente investigación fueron realizados de acuerdo al modelo estadístico de parcelas divididas para las variables de crecimiento, producción, calidad química y bioquímica. La comparación de tratamiento se realizó con la prueba diferencias entre tratamientos y comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), usando el programa estadístico SAS 9.4.

En cuanto a la evaluación de la calidad de la cebolla por efecto de la eliminación de catáfilas, en análisis de los datos fue mediante un arreglo factorial bajo un diseño completamente al azar. El análisis de varianza se realizó mediante el procedimiento MIX y la opción REPETIDO del software SAS ver. 9.4 (SAS Inst. Inc., Cary, NC.

2018). La comparación de medias se realizó utilizando la prueba de Tukey a $P \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

12. Parámetros de crecimiento

12.1. Altura de planta

La altura de planta de cebolla fue una característica que se vio afectada por los factores de riego y fertilización ($p < 0.05$) así como por la interacción de ambos factores ($p < 0.05$). En respuesta al riego la altura de plantas varió de 48.3 a 102.1 cm de los 69 a los 130 ddt (Tablas 3, 4 y 5). De esta variación los niveles de 75 y 100% de humedad aprovechable registraron alrededor de un metro de altura a los 130 ddt (Tabla 5). Excepto por el tratamiento 0 o control, los tratamientos de 25 a 100 de humedad aprovechable incrementaron 30% la altura de planta durante los 69 (Tabla 3) a los 100 (Tabla 4) ddt y de 12 a 20%, de los 100 a 130 ddt.

El efecto de la fertilización en la altura de planta fue menor que por efecto del riego, de los 69 a los 130 ddt. Durante este periodo las plantas tratadas con dosis de 150, 200 y 250 Kg N ha⁻¹ registraron alturas ligeramente inferiores al metro.

Los incrementos entre los 69 y 100 ddt difirieron respecto de la respuesta al régimen hídrico, al registrar durante dicho periodo de 24 a 38% de altura a dosis de 100 a 250 Kg N ha⁻¹ mientras que de los 100 a 130 ddt los incrementos variaron de 12 a 20%, semejante al efecto del riego, excepto que las dosis más bajas como 100 (24%) y 150 Kg N ha⁻¹ (31%) presentaron más altos incrementos.

En la interacción riego fertilizante (Figura 9) la altura de planta fue mayormente favorecida al nivel de 100% de humedad aprovechable a las diferentes dosis de fertilización, registrando un rango de variación de 99.5 a 106 cm. Las diferencias en esta variable no fueron significativas entre los tratamientos, con excepción del control ($p < 0.05$) que registró 65.5 cm.

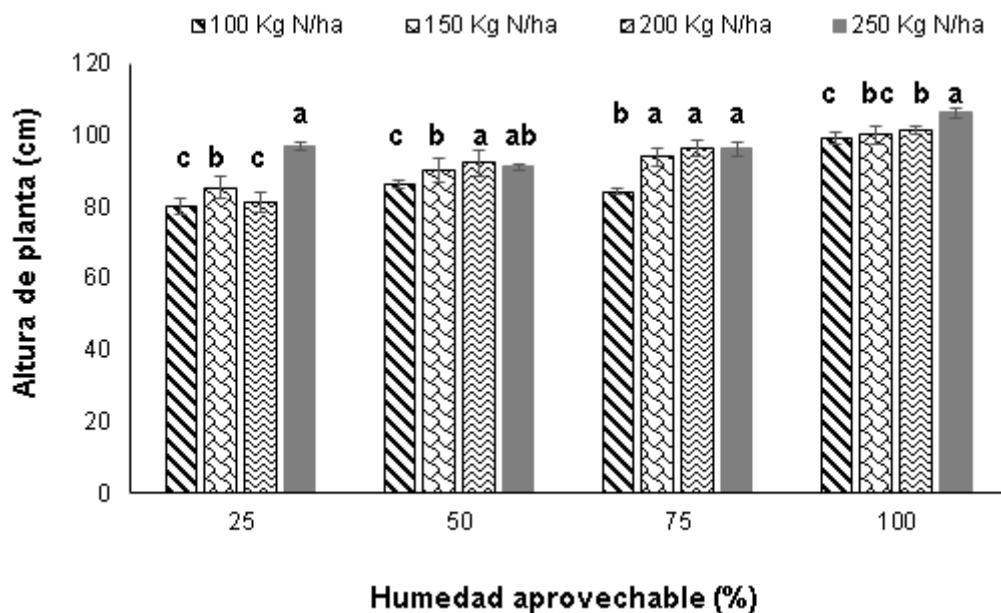


Figura 9. Interacción riego fertilizante en la altura de planta de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 130 ddt. Diferentes niveles indican diferencia significativa (($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

En un estudio realizado por Robles & García (2012) sobre crecimiento de cebolla (*Allium cepa* L.) var. “Roja Arequipeña” en función de niveles crecientes de nitrógeno y potasio, las plantas alcanzaron una altura de 30.5 y 44 cm a los 64 y 104 ddt respectivamente, empleando 120 Kg N ha⁻¹. El incremento en esta variable durante dicho periodo fue de 30.7% equivalente a 27.2 cm. En la presente investigación por efecto de la fertilización, la altura de plantas fue superior empleando menor cantidad de fertilizante, al registrar valores de 52 y 68.5 cm a los 69 y 100 ddt respectivamente empleando 100 Kg N ha⁻¹. En este tiempo las plantas crecieron 16.5 cm, equivalente a un incremento de 23.5%. Adicionalmente Robles & García (2012) mencionan que a los 104 ddt se redujo el crecimiento de las plantas por efecto de la maduración. Este comportamiento difiere del resultado obtenido por efecto del nitrógeno en el presente trabajo, al registrarse un crecimiento de 18.6 cm entre los 100 (180 dds) y 130 ddt.

De acuerdo con Voss (1979) es posible que las diferencias reportadas en esta variable se deban a la ocurrencia de las etapas fenológicas del cultivo, ya que en general el estado de maduración completa de la cebolla ocurre entre los 150 y 180 días después de la siembra. Sumado a la duración de las etapas fenológicas de la planta de cebolla por efecto del genotipo, clima, radiación solar, fertilidad, características físicas del suelo, estrés hídrico, entre otros factores (Fernández,1982).

Tabla 3. Parámetros de crecimiento en función de la humedad aprovechable (R) y fertilización nitrogenada (F) en el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 69 ddt.

%HA (R)	Altura planta (cm)	No. hojas planta ⁻¹	Área foliar (cm ²)	Peso fresco (g)			Peso seco (g)		
				Hojas	Bulbo	Planta completa	Hojas	Bulbo	Planta completa
0	48.3±1.1e	7.2±0.3a	151±1.4e	60.0± 2.1e	21.0± 1.0e	72.4±2.1e	4.3± 0.0e	4.5±0.0c	6.1±0.0d
25	50.9±1.4c	6.9±0.2b	225±3.3d	80.6± 1.5d	56.4± 0.7d	137.1±1.0d	5.3± 0.0d	4.6± 0.0c	7.7±0.0c
50	50.9±0.6c	7.2±0.4a	284±2.4c	94.1.0± 1.6c	67.5± 0.5c	161.6±2.4c	6.0± 0.1c	4.7± 0.3b	7.9±0.0c
75	52.3±0.3b	7.2±0.3ab	340±3.2b	104.5± 1.7b	81.7± 0.7b	186.2±1.0b	6.3± 0.2b	4.9± 0.3a	8.6±0.2b
100	55.5±2.3a	7.0±0.2ab	389±3.2a	116.9± 2.1a	107.6± 1.0a	224.5±3.0a	6.7± 0. 0a	4.9± 0. 3a	10.2±0.4a

Kg N ha ⁻¹ (F)	Altura planta (cm)	No. hojas planta ⁻¹	Área foliar (cm ²)	Peso fresco (g)			Peso seco (g)		
				Hojas	Bulbo	Planta completa	Hojas	Bulbo	Planta completa
0	48.3±1.1d	7.2±0.3a	151±1.4e	60.0±2.1e	21.0± 1.0e	72.4±2.1e	4.2± 0.0e	4.6± 0.0b	6.1±0.0e
100	52.0±1.4bc	7.0±0.2a	289±3.3d	93.4±1.5d	70.8± 0.7d	164.3±1.0d	5.1± 0.0d	4.7± 0.0b	8.3±0.0d
150	50.9±0.6c	7.2±0.4a	304±2.4c	96.9±1.6c	76.0± 0.5c	172.9±2.4c	5.5± 0.1c	4.8± 0.3a	8.5±0.0c
200	53.0±0.3ab	7.2±0.3a	315±3.2b	100.1±1.7b	80.4±0.7b	180.5±1.0b	6.3± 0.2b	4.8± 0.3a	8.7±0.2b
250	53.7±2.3a	7.0±0.2a	330±3.2a	105.7±2.1a	86.0± 1.0a	191.7±3.0a	7.5± 0.0a	4.9± 0.3a	8.9±0.4a
R*F	<0.0001	0.63	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0756	<0.0001

. Las medias con la misma letra dentro de la columna no son estadísticamente diferentes a un nivel de significancia del 5%.

Tabla 4 Parámetros de crecimiento en función de la humedad aprovechable (R) y fertilización nitrogenada (F) en el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 100 ddt.

%HA (R)	Altura planta (cm)	No. hojas planta ⁻¹	Área foliar (cm ²)	Peso fresco (g)			Peso seco (g)		
				Hojas	Bulbo	Planta completa	Hojas	Bulbo	Planta completa
0	59.3±1.0d	9±0.8c	293±2.0e	63.4± 2.7e	65.4± 1.0e	128.8±2.7e	5.0± 0.0e	8.5±0.0e	10.7±0.0d
25	75.0±1.8c	9±0.5c	447±2.5d	161.6± 1.3d	192.9± 1.0d	354.5±1.4d	7.5± 0.0d	9.2± 0.0d	13.4±0.6c
50	76.0±1.6c	11±0.6b	565±3.0c	185.6± 0.9c	250.7± 2.2c	436.3±3.0c	7.9± 0.0c	9.6± 0.3c	14.4±0.2 c
75	79.0±1.0b	11±0.4b	676±4.9b	207.9± 2.6b	335.0± 2.8b	542.9±0.2b	8.0± 0.1b	10.4± 0.5b	16.3±0.2b
100	81.0±0.9a	11±0.5a	779±2.2a	236.4± 1.5a	420.4± 2.8a	656.8±4.3a	8.4± 0.5a	12.1± 0.5a	19.6±0.2a
Kg N ha ⁻¹ (F)	Altura planta (cm)	No. hojas planta ⁻¹	Área foliar (cm ²)	Peso fresco (g)			Peso seco (g)		
				Hojas	Bulbo	Planta completa	Hojas	Bulbo	Planta completa
0	59.3±1.0e	9±0.8a	294±2.0e	63.4±2.7e	65.4± 1.0e	128.8±2.7e	5.0± 0.0e	8.5± 0.0d	10.7±0.0e
100	68.5±1.8d	11±0.5a	574±1.9d	185.7±1.3d	268.2± 1.0d	453.9±1.4d	6.4± 0.0d	10.0± 0.0c	15.1±0.6d
150	73.4±1.6c	11±0.6a	603±3.0c	195.3±0.9c	293.0± 2.2c	488.2±3.0 c	7.0± 0.0c	10.3± 0.3b	15.6±0.2c
200	83.0±1.0b	11±0.4a	629±4.9b	199.7±2.6b	308.6±2.8b	508.3±0.2b	8.5± 0.1b	10.5± 0.5a	16.2±0.2b
250	86.0±0.9a	11±0.5a	660±2.2a	210.7±1.5a	329.4± 2.8a	540.1±4.3a	9.7± 0.5a	10.5± 0.3a	16.7±0.2a
R*F	<0.0001	0.10	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

. Las medias con la misma letra dentro de la columna no son estadísticamente diferentes a un nivel de significancia del 5%.

Tabla 5. Parámetros de crecimiento en función de la humedad aprovechable (R) y fertilización nitrogenada (F) en el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 130 ddt.

%H A (R)	Altura planta (cm)	No. catáfilas	No. hojas planta ⁻¹	Área foliar (cm ²)	Peso fresco (g)			Peso seco (g)		
					Hojas	Bulbo	Planta completa	Hojas	Bulbo	Planta completa
0	65.5±1.0e	7±0.9b	10±0.4d	312±1.3e	75.5±1.6e	96.7±1.0e	172.3±2.2e	6.6±0.0e	12.3±0.0e	16.7±0.0d
25	85.2±2.3d	10±0.5a	13±1.3c	557±1.3d	180.8±1.0d	234.8±2.0d	415.6±2.7d	9.0±0.0d	15.3±0.0d	23.6±0.0c
50	87.6±3.2c	10±0.6a	13±1.3c	705±3.8c	215.0±2.4c	332.4±1.8c	547.4±1.4c	9.2±0.1c	16.4±0.3c	23.19±0.8c
75	91.9±2.3b	11±0.3a	14±0.5b	844±1.9b	242.1±1.6b	450.4±3.5b	692.5±2.4b	9.5±0.0b	18.3±0.5b	26.4±1.3b
100	102.1±1.6a	11±0.2a	15±0.6a	974±4.5a	299.4±2.0a	601.1±3.6a	900.5±0.8a	9.9±0.1a	22.1±0.5a	31.4±0.5a
Kg N ha ⁻¹ (F)	Altura planta (cm)	No. catáfilas	No. hojas planta ⁻¹	Área foliar (cm ²)	Peso fresco (g)			Peso seco (g)		
					Hojas	Bulbo	Planta completa	Hojas	Bulbo	Planta completa
0	65.5±1.0d	7±0.9b	10±0.4b	312±1.3e	75.5±1.6e	96.7±1.0e	172.3±2.2e	6.6±0.0e	12.3±0.0e	16.7±0.0e
100	87.1±2.3c	11±0.5a	14±1.3a	717±1.3d	217.6±1.0d	358.2±2.0d	575.2±2.7d	8.0±0.0d	17.4±0.0d	24.7±0.0d
150	90.7±3.2b	10±0.6a	14±1.3a	753±3.8c	230.1±2.4c	388.8±1.8c	618.8±1.4c	8.6±0.1c	17.8±0.3c	25.8±0.8c
200	92.6±2.3b	10±0.3a	14±0.5a	786±4.2b	238.4±1.6b	419.5±3.5b	657.8±2.4b	9.8±0.0b	18.2±0.5b	26.7±1.3b
250	96.5±1.6a	10±0.2a	14±0.6a	825±4.8a	251.3±2.0a	452.3±3.6a	704.2±0.8a	11.3±0.0a	16.7±0.5a	27.7±0.5a
R*F	<0.0001	0.18	0.34	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Las medias con la misma letra dentro de la columna no son estadísticamente diferentes a un nivel de significancia del 5%.

12.2. Número de hojas por planta

El número de hojas por planta se vio afectado por los niveles de riego ($p < 0.05$), pero no por las dosis de fertilización o por la interacción de ambos factores ($p > 0.05$).

En respuesta al riego, el número máximo de hojas reportado a los 69, 100 y 130 ddt fue 7, 11 y 15 respectivamente. A los 69 ddt los tratamientos no mostraron diferencia significativa, el promedio de hojas obtenido fue de 7.1 en plantas de alrededor de 51.6 cm de altura. El número de hojas registradas a los 100 ddt en los tratamientos de 100, 75 y 50% de humedad aprovechable fue de 11 hojas y 9, para los tratamientos de 25 y 0% de humedad aprovechable. En las plantas desarrolladas a los 130 ddt el tratamiento con mayor número de hojas fue el de 100% seguido por 75 y 50% de humedad aprovechable al registrar 15, 14 y 13 hojas en cada caso, superiores que el tratamiento control (10 hojas).

Resultados similares a los obtenidos en esta investigación a los 69 ddt fueron reportados por Enchalew *et al.* (2016), quienes registraron un promedio de 7 hojas en plantas tratadas con 0, 10, 20, 30 y 50% de déficit hídrico. Otros autores, sin embargo, reportan a los 60 ddt entre 7.8 y 8 hojas en condiciones similares de régimen hídrico (López *et al.* 2020).

A los a los 100 ddt, el número de hojas por plantas fue similar entre tratamientos registrando un promedio de 10.2 hojas. Este resultado fue semejante al reportado por Bagali *et al.* (2012) en plantas de cebolla tratadas con 100% de humedad e intervalos de riego de 1 y 2 días, que registraron 10.3 y 9.9 hojas.

A los 130 ddt el aumento del nivel de humedad del suelo y la frecuencia de riego incrementó el número de hojas por planta, especialmente en los tratamientos de 100 y 75% de humedad aprovechable. Mebrahtu *et al.* (2019) menciona que al incrementar el riego y su frecuencia en el cultivo de cebolla se incrementa el número

de hojas por planta, debido a que las raíces mantienen la humedad cercana a la capacidad de campo. Dicho lo anterior, puede decirse que el mayor crecimiento y desarrollo de hojas en los tratamientos de 75 y 100% de humedad se debió a la alta disponibilidad de agua en el suelo que permitió mayor aprovechamiento de nutrientes.

En cuanto a la influencia de la fertilización nitrogenada en el número de hojas, nuestros resultados no mostraron significancia estadística entre tratamientos. El promedio de hojas registradas a los 69, 100 y 130 ddt fue de 7, 11 y 14 hojas por planta respectivamente.

Algunos autores han reportado 13.8 y 13.5 hojas empleando dosis de 120 y 160 Kg N ha⁻¹ respectivamente (Nasreen *et al.* 2008) o bien, han aplicado dosis de 115 kg N ha⁻¹ registrando de 12.7 a 13.8 hojas (Gessesew *et al.* 2015). Sin embargo, en la presente investigación, dosis menores a las reportadas (100 Kg N ha⁻¹) resultaron más favorables al registrar mayor número de hojas.

12.3. Área foliar

El área foliar registró variación en riego y fertilización ($p < 0.05$) al igual que por interacción de ambos factores ($p < 0.05$).

En respuesta al riego el aumento del área foliar a los 69 (Tabla 3), 100 (Tabla 4) y 130 (Tabla 5) ddt fue de 150 a 467 cm², de 293 a 1005 cm² y de 312 a 1486 cm² respectivamente. En todos los casos la mayor área foliar se registró con el nivel de 100% de humedad aprovechable, con incrementos de 53.5 y 32.4% a los 100 y 130 ddt.

El efecto de la fertilización fue mayor que por efecto del riego ($p < 0.05$), al registrar valores de 150 a 1979 cm² de área foliar, superiores que el resto de los tratamientos

en el mismo periodo de tiempo. Debido a que el aumento en esta variable fue proporcional a la dosis de fertilizante aplicado, las áreas foliares más altas se registraron a dosis de 250 Kg N ha⁻¹ con incrementos de 50 y 20 % a los 100 y 130 ddt respectivamente (Tablas 4 y 5).

La influencia del riego y el área foliar fue comparada con la reportada por Rao (2016) en cultivares de cebolla Kalyan y ADR, en un estudio sobre el efecto del estrés hídrico, inducido semanalmente durante 4 semanas en el área foliar y otras variables agronómicas. Los resultados de área foliar en los cinco tratamientos de esta investigación fueron menores a los 69 ddt que los sometidos a estrés hídrico por Rao (2016); mientras que a los 100 ddt, el área foliar de los tratamientos de 75 y 100% de humedad aprovechable fue equiparable al área foliar de los cultivares sometidos a estrés durante la tercer (772.7 cm²) y cuarta semana (1072.4 cm²) respectivamente. Posteriormente, en esta investigación los valores de área foliar registrados superaron a los reportados por Bagali *et al.* (2012) (506.24 y 379.47 cm²) a niveles de 100 y 60% en cada caso.

En estudio realizado por Siliquini (2009), sobre el efecto del rendimiento por la densidad de plantas, el nivel de nitrógeno y la perdida de área foliar, registraron valores de área foliar menores a 140 cm² al emplear dosis de 0, 100 (en plantas con 4 hojas) y 100 (en plantas con 8 hojas) Kg ha⁻¹ de urea. Dichos valores fueron menores a los obtenidos en esta investigación a las mismas dosis de fertilización.

Debido a que el aumento en esta variable fue proporcional a la dosis de fertilizante aplicado, las áreas foliares más altas se registraron a dosis de 250 Kg N ha⁻¹ con incrementos de 50 y 20 % a los 100 y 130 ddt respectivamente. La interacción riego fertilizante (Figura 10, 11 y 12) mostró que el área foliar más alta obtenida durante las tres fechas de muestreo se registró a dosis máximas de fertilización a los distintos niveles de riego, no habiendo diferencia significativa entre tratamientos. La interacción más favorable de los factores riego y fertilización registrada fue de 1979.05 cm². Este comportamiento pudo deberse a la influencia que ejerce el

nitrógeno en los órganos aéreos más que en las raíces (Halvorson *et al.* 2008). Los resultados mostraron que su aplicación respondió al incremento del área fotosintética incluyendo mayor número de hojas, aumento en la altura de la planta y crecimiento radicular (Gateri, 2019).

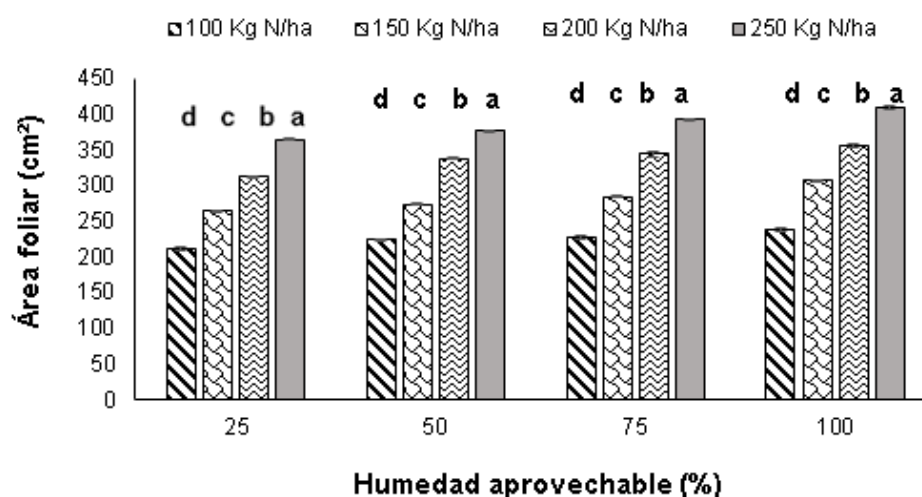


Figura 10. Interacción riego fertilizante del área foliar de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 69 ddt. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

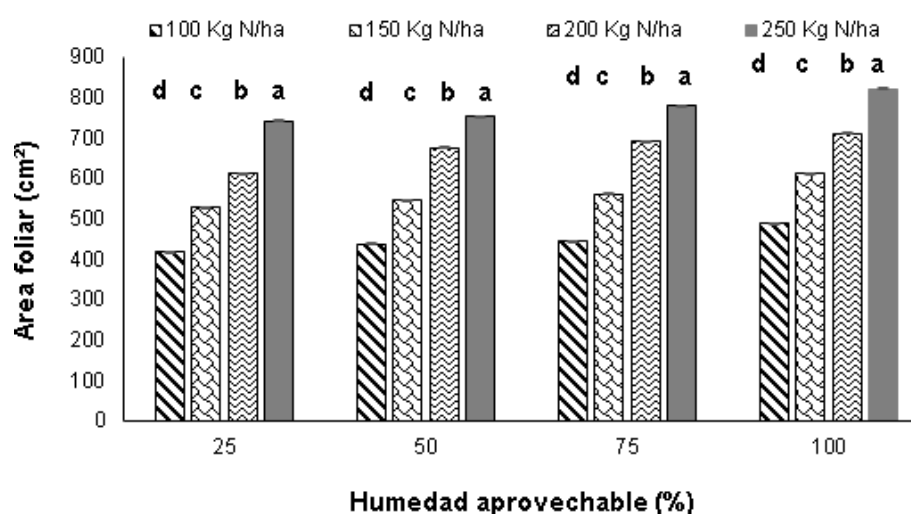


Figura 11. Interacción riego fertilizante del área foliar de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 100 ddt. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

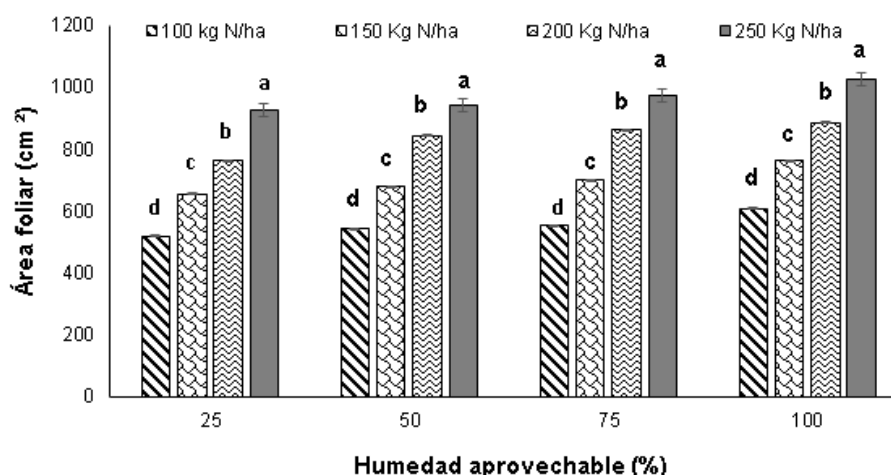


Figura 12. Interacción riego fertilizante del área foliar de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 130 ddt. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

12.4. Peso seco de bulbo y hojas

El peso seco de bulbo se vio afectado por las dosis de fertilizante ($p < 0.05$) y los niveles de humedad aprovechable ($p < 0.05$) a los 69, 100 y 130 ddt (Tablas 3, 4 y 5). La interacción de los factores riego y fertilizante fue significativa a los 100 y 130 pero no a los 69 ddt ($p > 0.05$).

En respuesta al riego, a los 69, 100 y 130 ddt el peso seco de los bulbos fue en aumento al registrar en cada caso valores de 4.57 a 4.93 g, de 8.5 a 12.10 g y de 12.3 a 22.11 g. El nivel de humedad que registró mayor peso seco fue el de 100% con incrementos de 59.5 y 45.2 % a los 100 y 130 ddt.

El efecto de la fertilización en esta variable fue menor que por efecto del riego, el peso seco a los 69, 100 y 130 ddt fue de 4.57 a 4.88, de 8.5 a 10.6 y de 12.32 a 16.69 g respectivamente. El peso seco más alto se obtuvo con la dosis de 200 y 250 Kg N ha⁻¹ a los 130 ddt, con incrementos de 42.6 y 36.7% respectivamente.

En interacción, a los 69 ddt los pesos secos de bulbo (Figura 13) más altos registrados fueron de 4.9 g a niveles de 75 y 100% humedad aprovechable y a las dosis de 200 y 250 Kg N ha⁻¹; mientras que a los 100 (Figura 14) y 130 ddt (Figura 15), los pesos más altos fueron de 12 y 22 g respectivamente, a niveles de 100% humedad aprovechable y a las distintas dosis de fertilización.

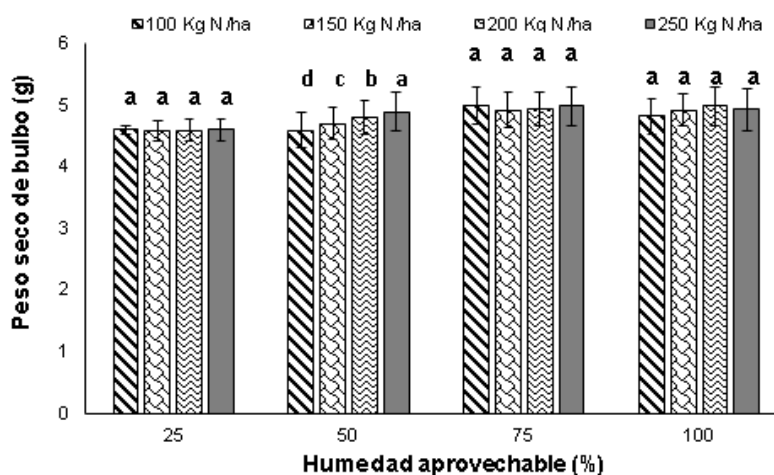


Figura 13. Interacción riego fertilizante del peso seco de bulbos de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 69 ddt. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

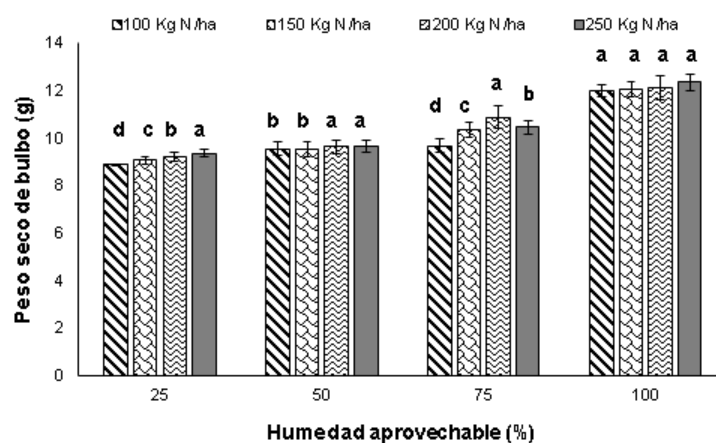


Figura 14. Interacción riego fertilizante del peso seco de bulbos de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 100 ddt. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

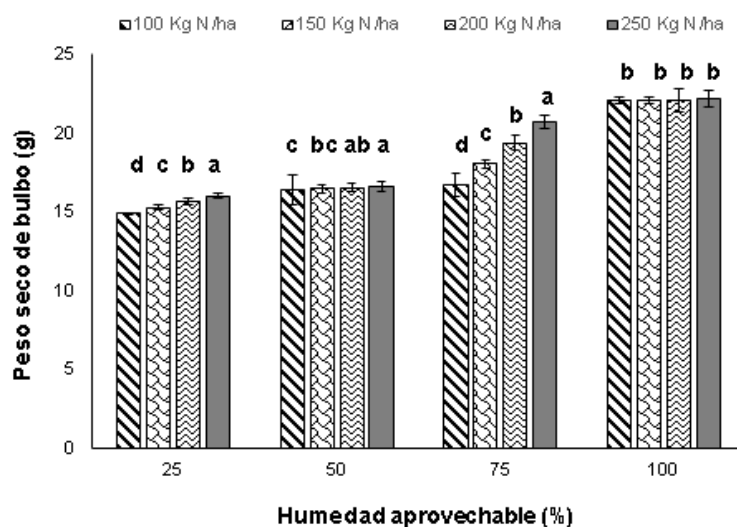


Figura 15. Interacción riego fertilizante del peso seco de bulbos de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 130 ddt. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

En respuesta al riego, los tratamientos de 0 (4.5 g) y 25 (4.6 g) % de humedad aprovechable registraron menor peso seco de bulbo y fueron estadísticamente iguales a los 69 ddt. Los tratamientos de 75 (4.9 g) y 100 (4.9 g) % de humedad aprovechable fueron estadísticamente iguales entre sí y registraron valores más altos. Estos resultados fueron ligeramente superiores a lo reportado por Rao (2016) en el cultivar Arka Kalyan (4.44 g) sometido a dos semanas de estrés hídrico. A los 100 ddt los tratamientos se diferenciaron estadísticamente y el peso seco aumentó a mayor nivel de humedad aprovechable. Los incrementos en este tiempo variaron de 46 (8.5 g) a 59 (12.1 g) % de peso seco del tratamiento de 0 a 100% de humedad. De la misma manera, a los 130 ddt los pesos continuaron aumentando a mayor nivel de humedad aprovechable y los incrementos variaron de 30.7 (12.3 g) a 45.2 (22.1 g) % de peso seco. Los resultados fueron comparables, excepto por el tratamiento control, con los reportados por Youssef & Taha (2016) en un estudio sobre el efecto del estrés hídrico y del agua mineralizada sobre parámetros de crecimiento y rendimiento de cebolla. El peso seco de los bulbos de los tratamientos irrigados se

mantuvo dentro del rango de peso seco de bulbos tratados con agua magnetizada a niveles de 60 (15.7 g) y 80% (20.6 g) de capacidad de campo.

En relación con los niveles de fertilización los tratamientos de 0 y 100 Kg N ha⁻¹ registraron menor peso seco de bulbo y fueron estadísticamente iguales a los 69 ddt. De la misma manera los tratamientos de 250, 200 y 150 Kg N ha⁻¹ fueron estadísticamente iguales, excepto que los pesos fueron más altos que los registrados en 0 y 100 Kg N ha⁻¹. A los 100 ddt los tratamientos de 250 y 200 Kg N ha⁻¹ registraron el mismo peso seco de bulbo y fueron los más altos, seguido por los tratamientos de 150, 100 y 0 Kg N ha⁻¹. En el mismo orden el incremento durante este tiempo varió de 53.7 (10.5 g) a 46.4 (8.5 g) %. Durante este tiempo los resultados fueron menores a los recabados en una revisión realizada por Khokhar (2019) en donde se menciona (>10 g p.s) el efecto de la aplicación de NPK y micronutrientes en el peso fresco y seco del bulbo de cebolla. Sin embargo, a los 130 ddt, el peso seco de los bulbos superó ligeramente a lo reportado por Khokhar (2019) al compararlos con tratamientos de 107 y 214 Kg N ha⁻¹. El peso seco de los bulbos en la presente investigación aumentó gradualmente en los tratamientos de 0 a 200 kg N ha⁻¹, y mínimamente en el de 250 Kg N ha⁻¹. Los incrementos en el peso seco de bulbo registrados de menor a mayor nivel de fertilización variaron de fueron 30.7 (12.3 g) a 36.7 (16.7 g) %.

El peso seco de hojas fue variable en respuesta a la fertilización y riego ($p < 0.05$), así como a la interacción riego fertilización ($p < 0.05$).

Por efecto del riego a los 69, 100 y 130 ddt el peso seco de hojas aumentó de menor a mayor nivel de humedad, de 4.3 a 6.7, de 5 a 8.4 y de 6.6 a 9.9 g respectivamente. El nivel de 100% de humedad aprovechable presentó mayor peso seco de hojas y registró incrementos de 20.3 y 15.7% a los 100 y 130 ddt respectivamente.

En respuesta a la fertilización, el peso seco de las hojas de los 69 a los 130 ddt aumentó gradualmente de 4.2 hasta 11.3 g. Durante dicho periodo el peso más alto

de hojas se registró con la dosis de 250 Kg N ha⁻¹ con incrementos de 22.7 y 13.9% a los 100 y 130 ddt.

La interacción que presentó mayor aumento de peso seco de hojas a los 69 (Figura 16), 100 (Figura 17) y 130 (Figura 18) ddt se obtuvo con el tratamiento de 100% humedad aprovechable y 250 Kg N ha⁻¹ al registrar en cada caso valores de 8.4, 10 y 11.9 g.

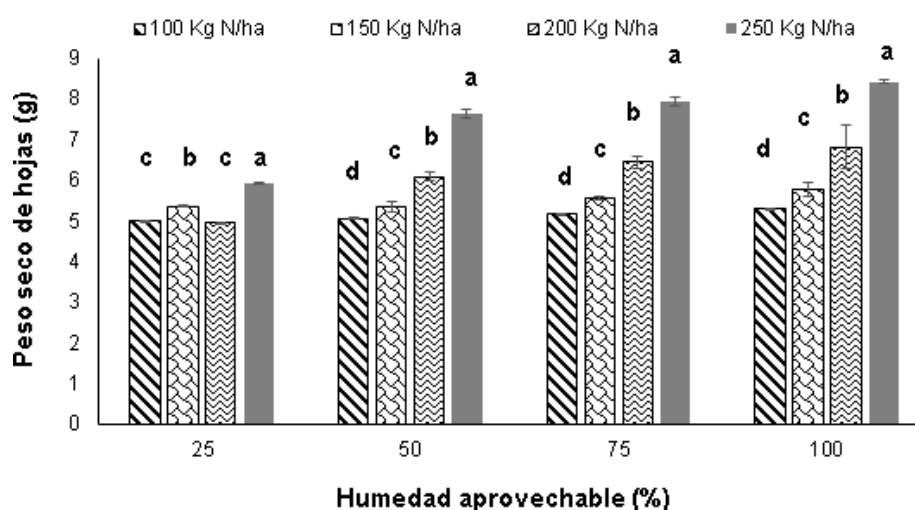


Figura 16. Interacción riego fertilizante del peso seco de hojas de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 69 ddt. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

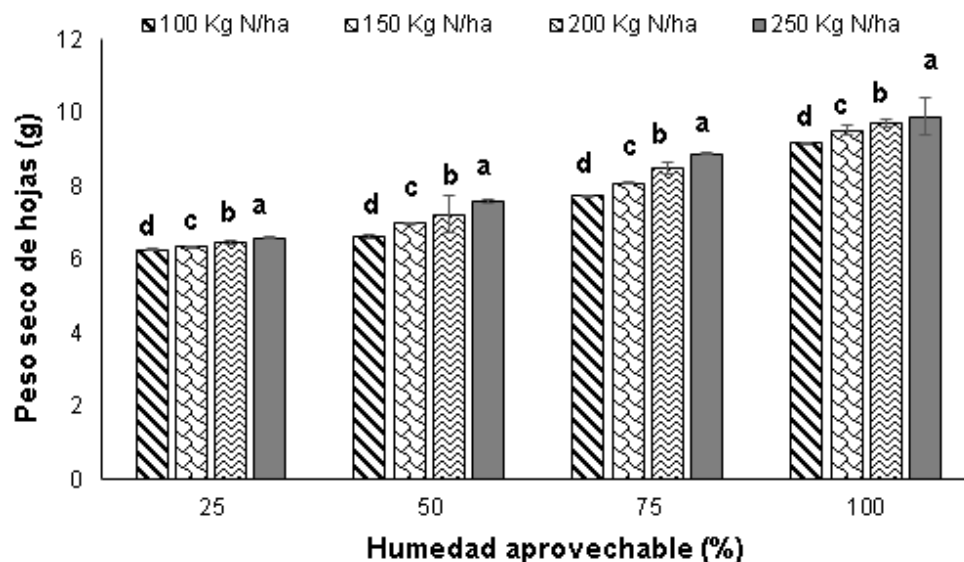


Figura 17. Interacción riego fertilizante del peso seco de hojas de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 100 ddt. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

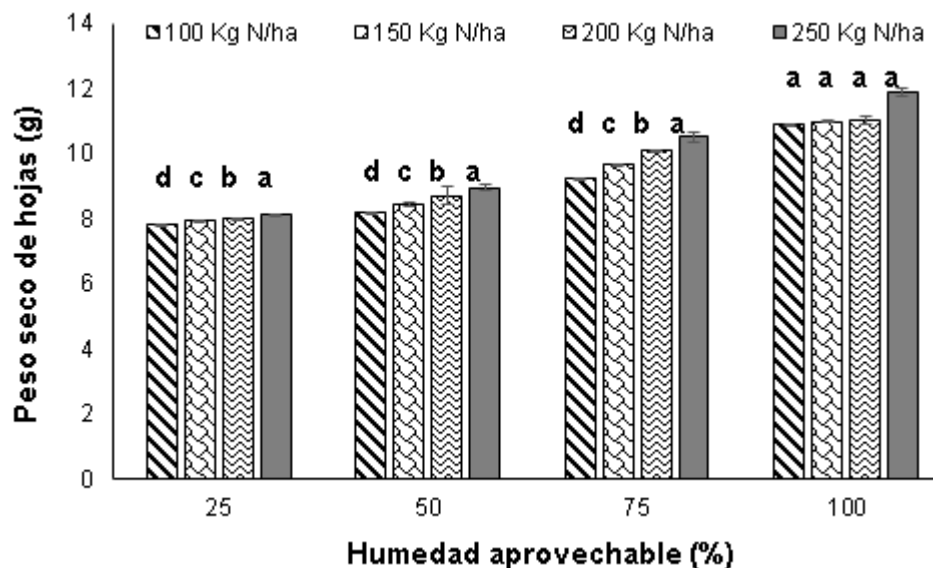


Figura 18. Interacción riego fertilizante del peso seco de hojas de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 130 ddt. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

El peso seco de las hojas respondió a los niveles de humedad aprovechable al aumentar de 4.3 a 6.7 g los tratamientos de 0 a 100% a los 69 ddt. Posteriormente, y en el mismo orden de tratamientos, a los 100 ddt el peso seco de hojas fue de 5.0 a 8.4 g, con incrementos de 15 a 20.3%. De la misma forma que en los otros niveles, el peso seco a los 130 ddt fue de 6.6 a 9.9 g y el incremento de 23.5 a 15.7%. Estos resultados sugieren que el mayor peso seco de hojas respondió más favorablemente al nivel de 100% de humedad aprovechable. Bagali *et al.* (2012) atribuyen que el empleo de niveles de 100% de humedad aumenta significativamente los parámetros de crecimiento del cultivo de cebolla, debido a que la planta no experimenta estrés hídrico en ninguna etapa de crecimiento y desarrollo, y dispone de alta cantidad de nutrientes.

Los tratamientos de fertilización tuvieron efecto significativo en el peso seco de las hojas de cebolla en las tres fechas de muestreo. A los 69 ddt la ganancia de peso seco se registró de alto a bajo nivel de fertilización nitrogenada. Los tratamientos con mayor y menor peso seco fueron 250 y 0 Kg N ha⁻¹ al registrar 7.5 y 4.2 g en cada caso. En los tratamientos con bajo nivel de fertilizante nitrogenado se generó menor crecimiento y desarrollo de hojas. Gateri (2019) menciona que el nitrógeno participa en la síntesis de clorofila, enzimas y proteínas y que su deficiencia puede afectar la división y elongación celular.

Transcurridos los 100 y 130 ddt el peso seco de las hojas aumentó en mayor medida en el tratamiento de 250 Kg N ha⁻¹, el cual incrementó 22.7 (9.7 g) y 13.9 (11.3 g) % a los 100 y 130 ddt. Barrios *et al.* (2014) mencionan que la influencia del nitrógeno en el desarrollo de las hojas es alta y que incluso es mayor que en los bulbos.

12.5. Peso seco de planta completa

La variación en el peso seco de las plantas completas por efecto del riego y de la fertilización fue significativa, al igual que por la interacción de ambos factores ($p < 0.05$).

El peso seco de planta durante el periodo de 69 a 130 ddt aumentó de 6.1 a 31.4 g (Tablas 3, 4 y 5) en respuesta a la humedad aprovechable. Las plantas con mayor peso seco fueron registradas al nivel de 100% humedad, con incrementos de 47.9 y 37.7% a los 100 y 130 ddt.

En respuesta a la fertilización, las plantas aumentaron el peso seco de 6.1 a 27.7 g al aumentar la dosis de fertilización en el periodo de 69 a 130 ddt. El mayor peso seco de plantas se registró con la dosis de 250 Kg N ha⁻¹ y el incremento fue de 46.4 y 39.8% a los 100 y 130 ddt.

La interacción riego fertilizante a los 69 (Figura 19) y 100 (Figura 20) ddt más favorable en el peso seco de planta completa fue el tratamiento de 100% de humedad aprovechable y 250 Kg N ha⁻¹, al registrar 11.1 y 20.6 Kg N ha⁻¹ respectivamente. A los 130 ddt (Figura 21), los 2 tratamientos con más alto valor en esta variable fueron 100% de humedad aprovechable y 200 Kg N ha⁻¹ al registrar 31.7 g, y el tratamiento de 100% de humedad y 250 Kg N ha⁻¹ que registró 32.3 Kg N ha⁻¹.

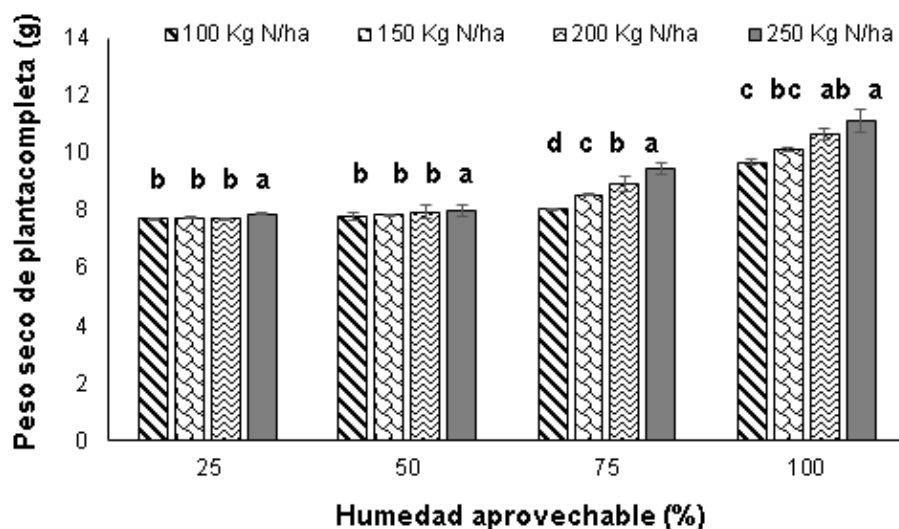


Figura 19. Interacción riego fertilizante del peso seco de planta completa de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 69 ddt. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

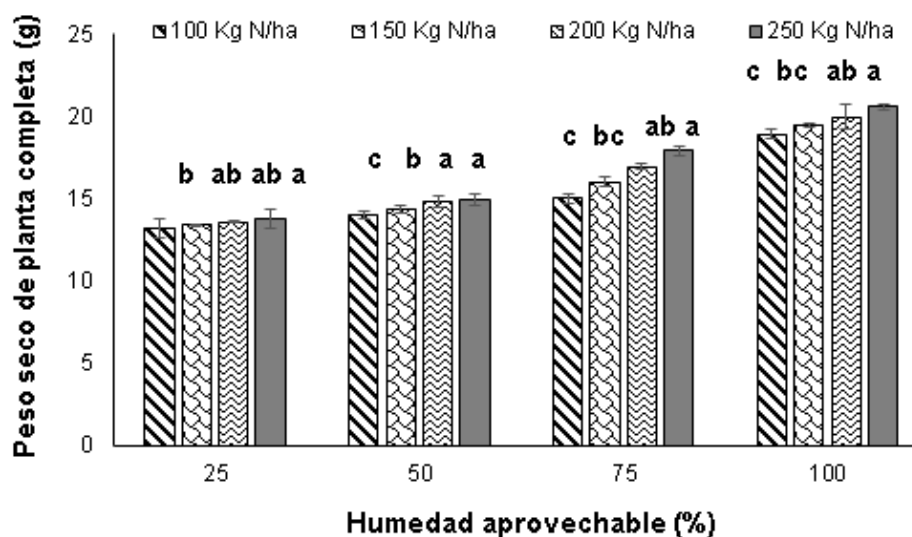


Figura 20. Interacción riego fertilizante del peso seco de planta completa de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 100 ddt. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

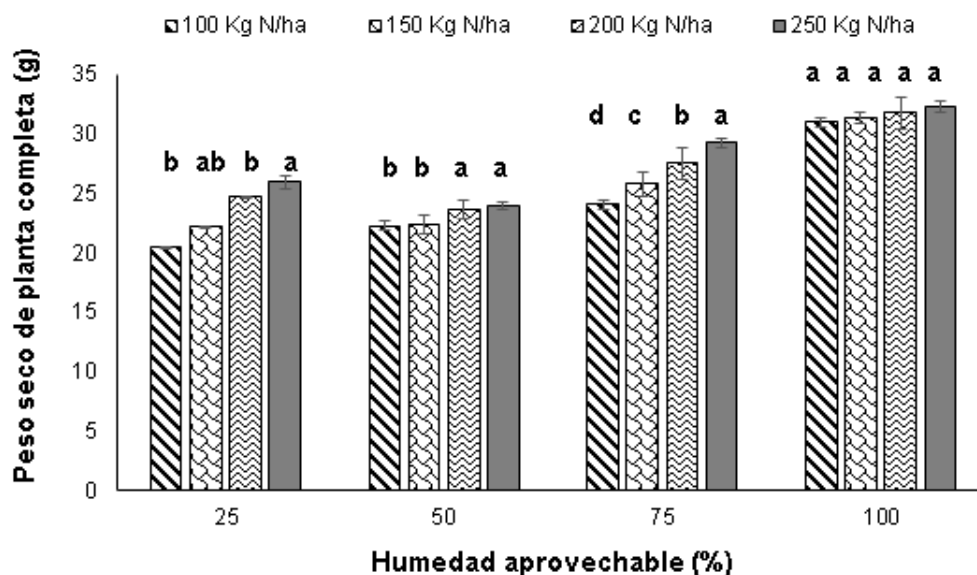


Figura 21. Interacción riego fertilizante del peso seco de planta completa de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 130 ddt. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

De acuerdo con un estudio sobre análisis de crecimiento de cebolla realizado por Casierra & Vargas (2015) el peso seco de las plantas evaluadas incrementó de los 30 a los 56 ddt, tiempo en el cual las plantas perdieron área foliar debido al proceso de maduración. Adicionalmente a los 33 ddt el cultivo recibió la segunda fertilización, lo que dio inicio a los 36 ddt a la acumulación de masa seca. En nuestro caso, la aplicación de la segunda fertilización se realizó en dos partes, a los 44 y 51 ddt por lo que, de acuerdo con el registro de dichos autores, se esperaría que la máxima acumulación de peso seco ocurriera a los 74 ddt y no siguiera aumentando a los 130 ddt.

Las plantas en nuestra investigación continuaron creciendo y desarrollándose en respuesta a los tratamientos y al tiempo, tal y como lo muestran los parámetros altura de planta, número de hojas, área foliar y peso de bulbos a los 69, 100 y 130 ddt. De manera similar, otras investigaciones reportan aumentos cercanos a la cosecha, en el peso seco de los órganos del cultivo de cebolla.

En un estudio realizado por Hedge (1986) sobre el crecimiento del cultivo de cebolla en relación con el riego y fertilización nitrogenada, menciona que entre los 95 y 110 ddt ocurrió un máximo incremento en la acumulación de peso seco en las hojas que se redujo después de dicho periodo. En los bulbos, este autor señala que el peso seco fue en aumento hasta la cosecha y que una parte considerable de dicho aumento ocurrido entre los 110 y 130 ddt, podría deberse a la transferencia de fotoasimilados de las hojas al bulbo.

En respuesta al riego, los tratamientos de 100 y 75% de humedad aprovechable generaron mayor peso seco de planta; seguido por los tratamientos de 50 y 25% que fueron estadísticamente iguales y superiores que el tratamiento control. Los incrementos de peso seco de planta completa variaron de 47.9% (100% humedad aprovechable) a 42.9% (0% humedad aprovechable) a los 100 ddt y de 37.7% (100% humedad aprovechable) a 35.9% (0% humedad aprovechable) a los 130 ddt. Hedge (1986) menciona que el riego en el cultivo de cebolla fue significativo en la

acumulación de peso seco. De acuerdo con sus resultados la planta completa de cebolla y las hojas registraron mayor y menor acumulación de peso seco con niveles de potencial hídrico de 0.45 y 0.85 bar; mientras que en los bulbos la mayor y menor distribución de peso seco se obtuvo con 0.65 y 0.45 bar respectivamente.

La fertilización con nitrógeno en nuestro estudio aumentó considerablemente el peso seco de la planta completa empleando mayores dosis de fertilización en las tres fechas de muestreo. El tratamiento de 250 Kg N ha⁻¹ presentó máximo peso seco de planta al registrar 27.7 g e incrementos de 46.4 y 39.8% a los 100 y 130 ddt. Hedge (1986) por su parte, menciona que de los tratamientos 0, 80 y 160 Kg N ha⁻¹ evaluados, la dosis de 160 Kg N ha⁻¹ aumentó significativamente la acumulación de peso seco total en todas las etapas de crecimiento de la planta.

En cuanto a interacción Hedge (1986) reportan que la interacción de humedad aprovechable y fertilización nitrogenada sobre la acumulación y distribución de peso seco no fue significativa. Lo anterior, en contraste con esta investigación en la cual los niveles máximos de riego y fertilización registraron mayor peso seco de planta completa.

12.6. Tasa absoluta de crecimiento

Durante el periodo de marzo (69 ddt) a abril (100 ddt) la tasa absoluta de crecimiento mostró variación por efecto del riego y del fertilizante ($p < 0.05$), pero no presentó interacción entre ellos ($p > 0.05$) (Tabla 6).

Por efecto del riego, la Figura 22 muestra que de los 69 a los 100 ddt, la tasa absoluta de crecimiento aumentó ($p < 0.05$), de 0.15 a 0.3 g día⁻¹, a partir de niveles de baja a alta humedad aprovechable; mientras que de los 100 a 130 ddt, la tasa absoluta de crecimiento en respuesta a este mismo factor, mostró una tendencia positiva, aunque no significativa ($p > 0.05$) entre los tratamientos de 25 y 75% de humedad. En la Figura 22 se observa que el valor más alto se registró al nivel de

100% de humedad aprovechable al presentar una tasa absoluta de crecimiento de 0.39 g día^{-1} .

Tabla 6. Tasa absoluta de crecimiento, tasa relativa de crecimiento y tasa de asimilación neta de cebolla (*Allium cepa* L.) en respuesta a la humedad aprovechable (R) y fertilización nitrogenada (F).

% HA (R)	Tasa					
	Absoluta de crecimiento (g día ⁻¹)		Relativa de crecimiento (g g ⁻¹ día ⁻¹)		Asimilación neta (g cm ⁻² día ⁻¹)	
	69-100 (DDT)	100-130 (DDT)	69-100 (DDT)	100-130 (DDT)	69-100 (DDT)	100-130 (DDT)
0	1.5 x10 ⁻⁰¹ e	2.0x10 ⁻⁰¹ d	1.8 x10 ⁻⁰² c	1.5 x10 ⁻⁰² c	1.3 x10 ⁻⁰³ a	8.3 x10 ⁻⁰⁴ a
25	1.8 x10 ⁻⁰¹ d	3.3 x10 ⁻⁰¹ b	1.8 x10 ⁻⁰² c	1.7 x10 ⁻⁰² a	8.0 x10 ⁻⁰⁴ b	1.5 x10 ⁻⁰⁴ b
50	2.1 x10 ⁻⁰¹ c	2.9 x10 ⁻⁰¹ c	1.9 x10 ⁻⁰² b	1.6 x10 ⁻⁰² bc	7.0 x10 ⁻⁰⁵ c	1.1 x10 ⁻⁰⁴ c
75	2.4 x10 ⁻⁰¹ b	3.4 x10 ⁻⁰¹ b	2.0 x10 ⁻⁰² a	1.6 x10 ⁻⁰² ab	6.0 x10 ⁻⁰⁵ d	9.6 x10 ⁻⁰⁵ d
100	3.0 x10 ⁻⁰¹ a	3.9 x10 ⁻⁰¹ a	2.1 x10 ⁻⁰² a	1.6 x10 ⁻⁰² ab	5.2 x10 ⁻⁰⁵ e	8.1 x10 ⁻⁰⁴ e

Kg N/ha (F)	Tasa					
	Absoluta de crecimiento (g día ⁻¹)		Relativa de crecimiento (g g ⁻¹ día ⁻¹)		Asimilación neta (g cm ⁻² día ⁻¹)	
	69-100 (DDT)	100-130 (DDT)	69-100 (DDT)	100-130 (DDT)	69-100 (DDT)	100-130 (DDT)
0	1.5 x10 ⁻⁰¹ d	2.0 x10 ⁻⁰¹ e	1.8 x10 ⁻⁰² c	1.5x10 ⁻⁰² b	1.3 x10 ⁻⁰³ a	8.3 x10 ⁻⁰⁴ a
100	2.2 x10 ⁻⁰¹ c	3.1 x10 ⁻⁰¹ d	1.9 x10 ⁻⁰² b	1.6 x10 ⁻⁰² a	6.8 x10 ⁻⁰⁵ b	1.2 x10 ⁻⁰⁴ b
150	2.3 x10 ⁻⁰¹ b	3.3 x10 ⁻⁰¹ c	2.0 x10 ⁻⁰² ab	1.6 x10 ⁻⁰² a	6.7 x10 ⁻⁰⁵ b	1.1 x10 ⁻⁰⁴ b
200	2.4 x10 ⁻⁰¹ a	3.5 x10 ⁻⁰¹ b	2.0 x10 ⁻⁰² a	1.6 x10 ⁻⁰² a	6.4 x10 ⁻⁰⁵ c	1.1 x10 ⁻⁰⁴ c
250	2.5 x10 ⁻⁰¹ a	3.7 x10 ⁻⁰¹ a	2.0 x10 ⁻⁰² a	1.6 x10 ⁻⁰² a	6.2 x10 ⁻⁰⁵ d	1.0 x10 ⁻⁰⁴ c
R*F	0.11	<0.0001	0.07	0.09	0.0036	0.45

Los valores son la media ± desviación estándar de tres repeticiones. Todas las muestras fueron significativas (p<0.0001).

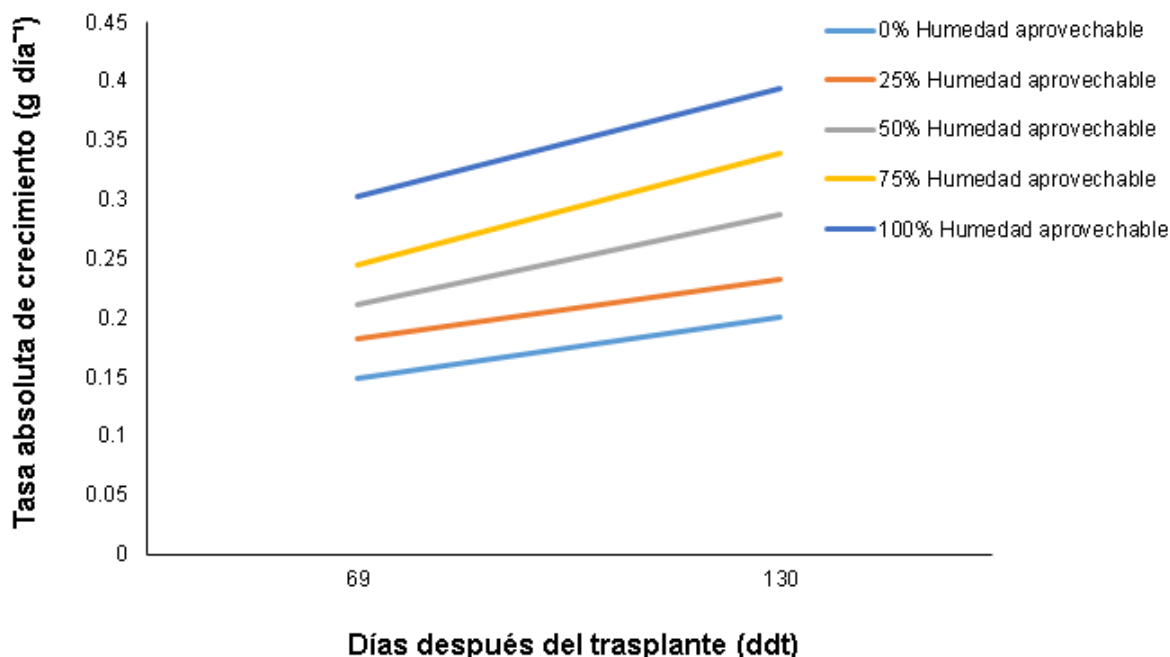


Figura 22. Tasa absoluta de crecimiento de cebolla (*Allium cepa* L.) en respuesta a cinco niveles de humedad aprovechable.

En respuesta a la fertilización, la Figura 23 muestra que la TAC aumentó de los 69 a 100 ddt de 0.15 a 0.25 g día⁻¹, del nivel de 0 a 250 kg N ha⁻¹. De los 100 a 130 ddt la TAC aumentó de 0.20 a 0.36 g día⁻¹, de la dosis de menor a mayor concentración. La Figura 23 se muestra el aumento de la tasa de crecimiento originado por la respuesta de las plantas a la toma del fertilizante nitrogenado, aplicado a los 44 y 51 ddt. Dogliotti *et al.* (2011) menciona que posterior a dicho aumento los valores de la curva disminuyen hasta la cosecha.

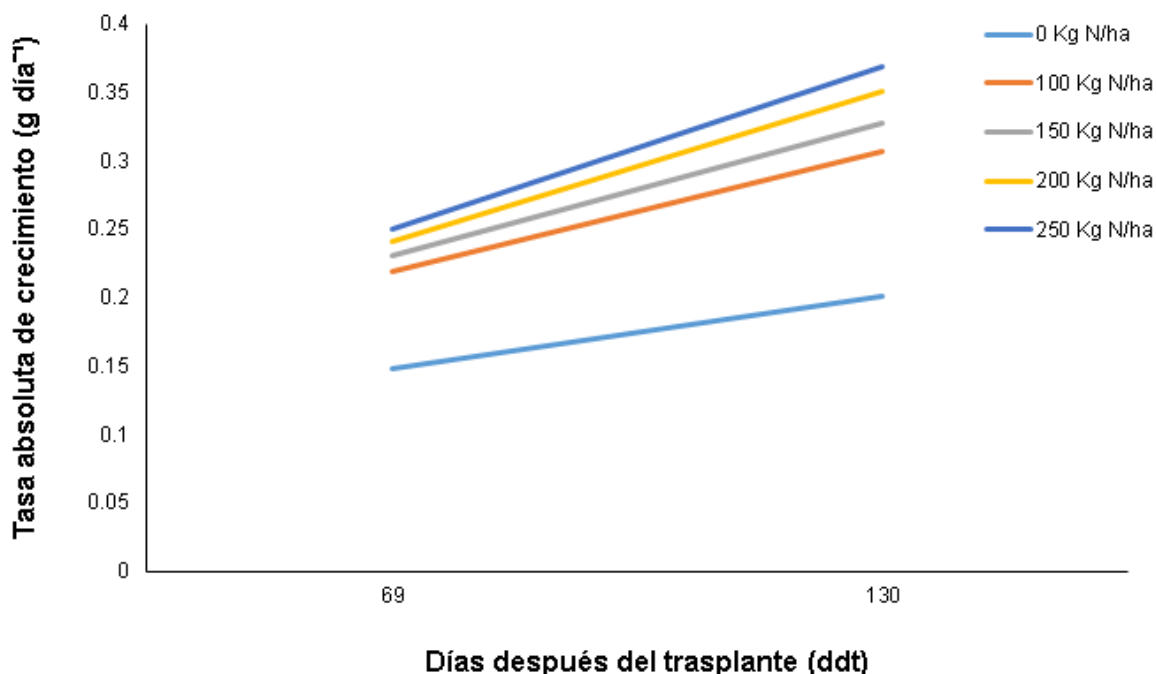


Figura 23. Tasa absoluta de crecimiento de cebolla (*Allium cepa* L.) en respuesta a cinco niveles de fertilización nitrogenada.

El crecimiento máximo alcanzado durante el periodo de los 69 a 100 ddt se obtuvo de la interacción del tratamiento de 100 % de humedad con 150, 200 y 250 Kg N ha⁻¹ al registrar 0.3 g día⁻¹. En contraparte, durante los 100 y 130 ddt, a niveles menores de humedad y fertilización se obtuvo mayor tasa de crecimiento (0.4 g día⁻¹) como resultado de la interacción de los tratamientos de 25 % de humedad y 50 Kg N ha⁻¹.

12.7. Tasa relativa de crecimiento

En el periodo de 69 a 100 ddt la tasa relativa de crecimiento fue variable en respuesta al riego y a la fertilización ($p < 0.05$), pero no a la interacción riego-fertilización ($p > 0.05$); mientras que de los 100 a 130 ddt la tasa relativa de crecimiento solo fue significativa por efecto del riego ($p < 0.05$) (Tabla 6).

En la Figura 24 se observa la repuesta de la TCR a los niveles de humedad aprovechable, en la cual los tratamientos de 0 a 100% de humedad aumentaron la tasa relativa de crecimiento de 0.018 a 0.021 g g⁻¹ día⁻¹, de los 69 a 100 ddt. En contraparte, la acumulación de materia seca en los mismos tratamientos fue menor de los 100 a los 130 ddt, el valor máximo registrado se obtuvo al nivel de 75% al registrar 0.016 g g⁻¹ día⁻¹ y un incremento de 3% sobre el tratamiento control.

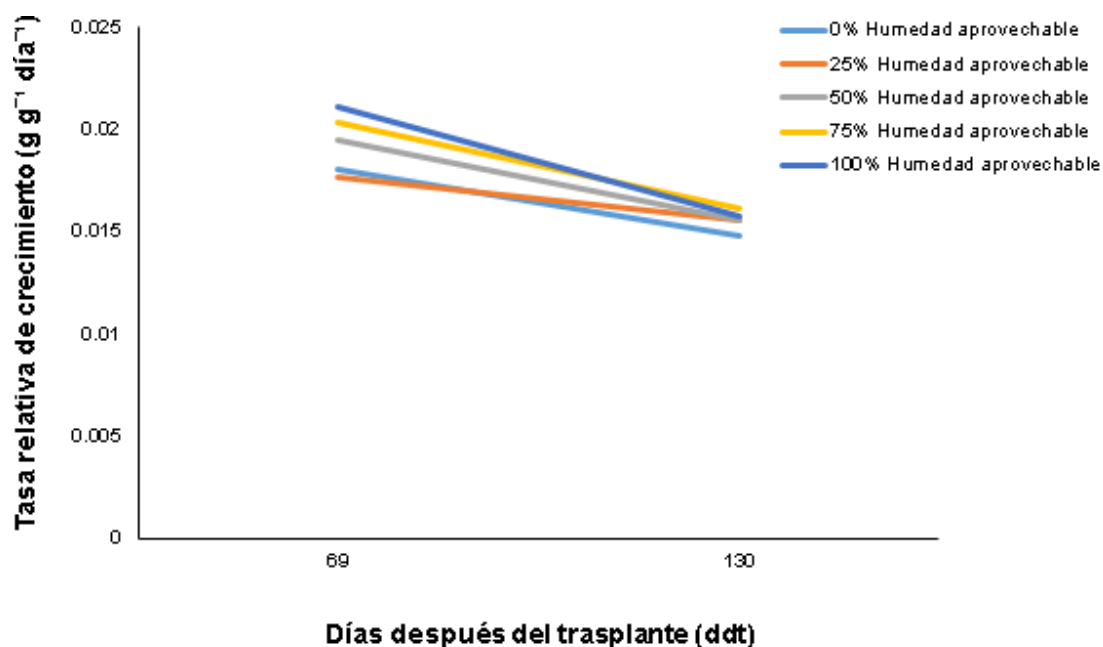


Figura 24. Tasa relativa de crecimiento de cebolla (*Allium cepa* L.) en respuesta a cinco niveles de humedad aprovechable.

El efecto de la fertilización en la tasa relativa de crecimiento fue mayor que por efecto del riego, sin embargo, el comportamiento fue similar al mostrar una relación directa a mayores dosis de fertilizante en ambos periodos de tiempo. La Figura 25 muestra que entre los 69 y 100 ddt las mayores tasas correspondieron a las dosis de 200 (0.019 g g⁻¹ día⁻¹) y 250 (0.020 g g⁻¹ día⁻¹) Kg N Ha⁻¹ al presentar incrementos en la acumulación de materia seca de 10% a 9.06% respectivamente respecto al nivel de 0 Kg N ha⁻¹. De los 100 a 130 ddt la acumulación de materia

seca fue menor, el máximo valor se obtuvo a los 150 Kg N ha⁻¹ (0.016 g g⁻¹ día⁻¹) con incremento de 9.5% respecto del tratamiento sin fertilizar.

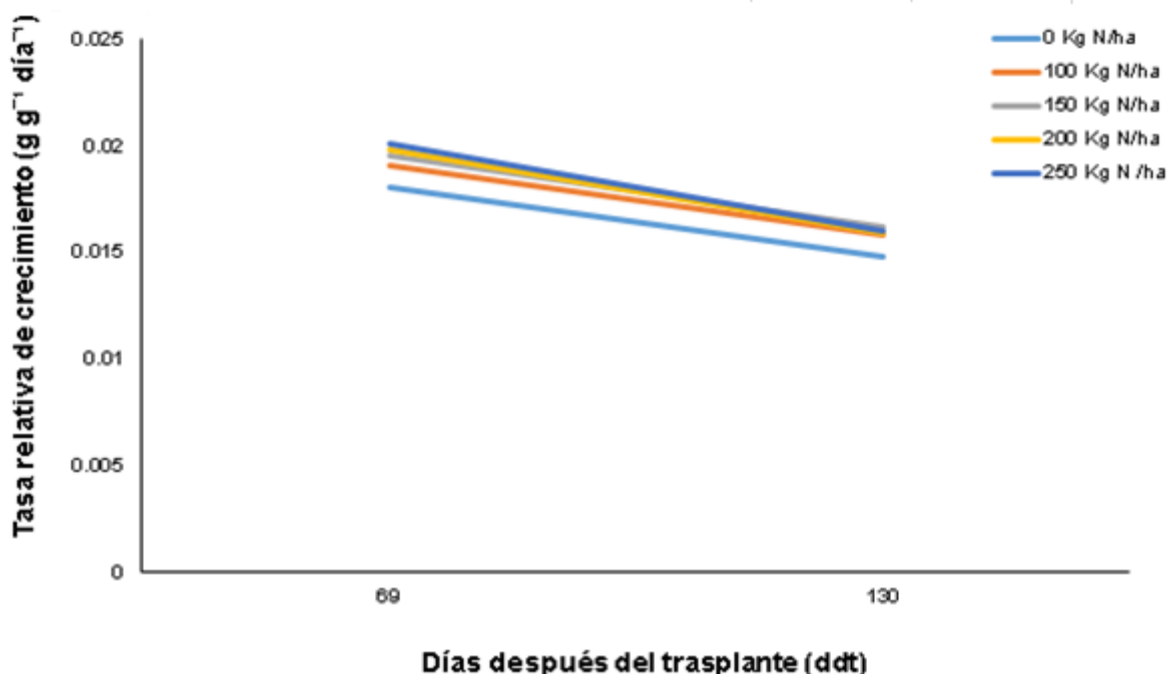


Figura 25. Tasa relativa de crecimiento de cebolla (*Allium cepa* L.) en respuesta a cinco niveles de fertilización nitrogenada

La interacción riego-fertilizante no mostró significancia estadística en esta variable durante el periodo de crecimiento. El valor más alto de la tasa de crecimiento se registró de los 69 a los 100 ddt con la interacción de los tratamientos de 100 % de humedad y 100 Kg N ha⁻¹. (0.022 g g⁻¹ día⁻¹); mientras que de los 100 a 130 ddt los valores fueron más bajos en la interacción de más alto crecimiento (0.017 g g⁻¹ día⁻¹) obtenida de los tratamientos de 25% de humedad y 200 Kg N ha⁻¹.

12.8. Tasa de asimilación neta

La tasa de asimilación neta a los 69 y 130 ddt fue significativa en respuesta al riego y fertilizante ($p < 0.05$), al igual que a la interacción riego-fertilizante ($p < 0.05$). En el

periodo de 100 a 130 ddt esta variable fue significativa al riego y al fertilizante, pero no en la interacción ($p>0.05$) de ambos factores (Tabla 6).

La Figura 26, muestra que por efecto del riego la tasa de asimilación neta disminuyó de 0.0013 a 0.000052 $\text{g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ de los 69 a los 100 ddt, y de 0.00083 a 0.000081 $\text{g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ a los 130 ddt. El decremento de la dosis de 100 % de humedad respecto de 25% fue de 34.3 de los 69 a 100 ddt y de 46% de los 100 a 130 ddt en los mismos tratamientos.

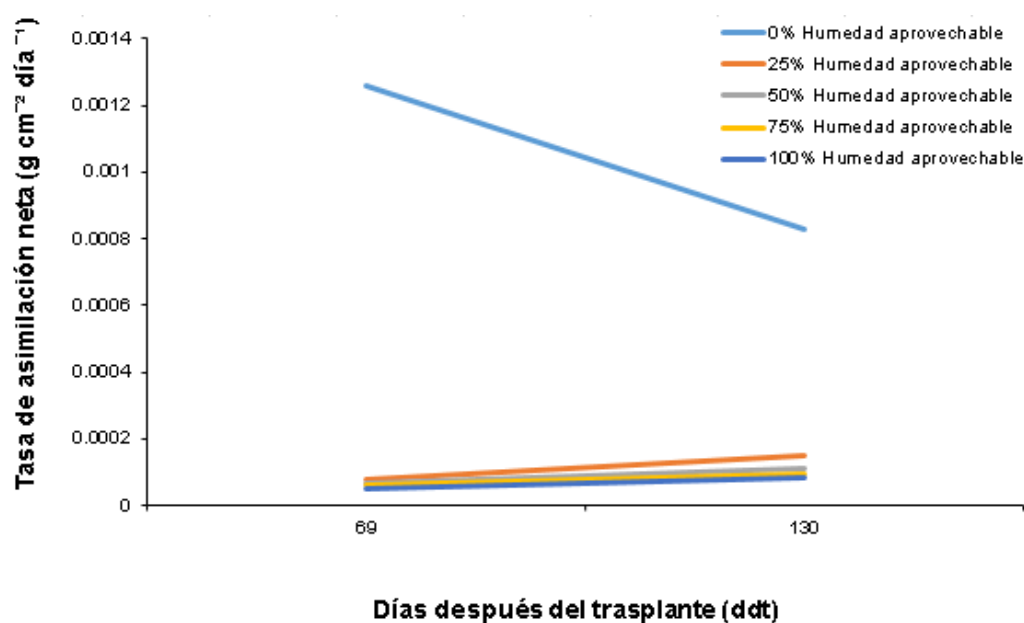


Figura 26. Tasa de asimilación neta de cebolla (*Allium cepa* L.) en respuesta a cinco niveles de humedad aprovechable.

Por efecto del fertilizante y de manera semejante al efecto del riego, la tasa de asimilación neta más alta representada en la Figura 27, se registró a menores dosis de fertilización en ambos periodos de tiempo. Así, en el periodo de 69 a 100 ddt, la tasa más alta se registró en el tratamiento 100 Kg N ha^{-1} ($0.000068 \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$); al igual que en el periodo de 100 a 130 ddt por el mismo tratamiento ($0.00083 \text{ g cm}^{-2}$

dia⁻¹). El decremento en ambos periodos de las dosis de 250 Kg N ha⁻¹ respecto de las dosis de 100 Kg N ha⁻¹ fue de 10 y 12.2% respectivamente.

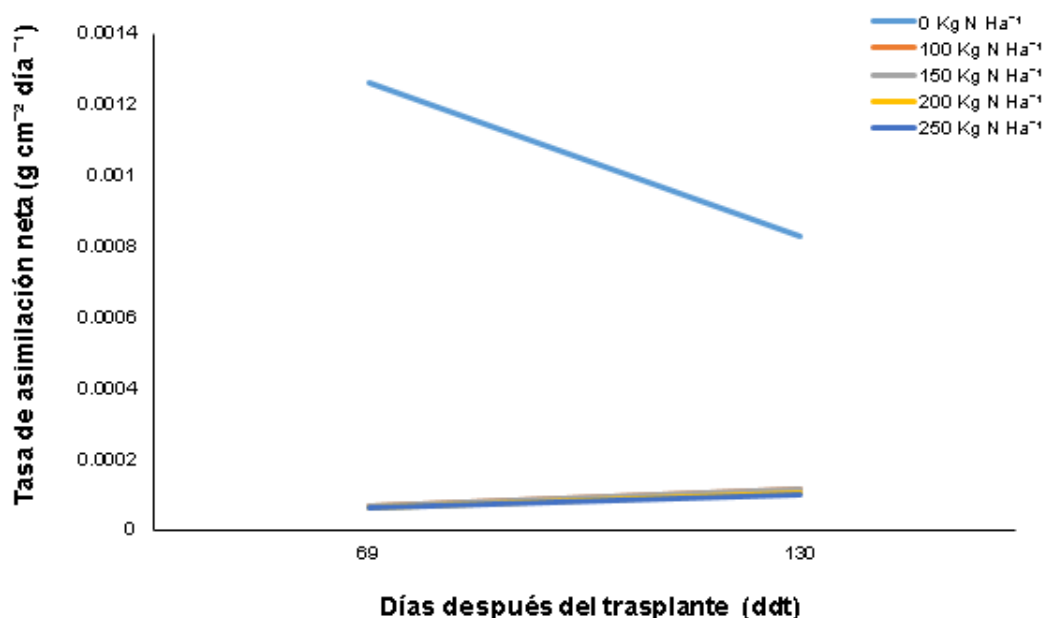


Figura 27. Tasa de asimilación neta de cebolla (*Allium cepa* L.) en respuesta a cinco niveles de fertilización nitrogenada.

La interacción de los 69 a 100 ddt, fue significativamente más alta con el tratamiento de 25% humedad aprovechable en combinación con las dosis de 100 y 150 Kg N ha⁻¹ (8.35×10^{-5} g cm⁻² día⁻¹); mientras que de los 100 a 130 ddt, la tasa de asimilación neta no mostró efecto por interacción. Sin embargo, el valor más alto registrado en esta variable durante dicho periodo se obtuvo de los tratamientos de 25% de humedad y 150 Kg N ha⁻¹ (0.00015724 g cm⁻² día⁻¹).

En el cultivar Yellow Granex la literatura reporta que la máxima tasa de asimilación neta se generó en dos periodos, de los 30 a los 36 ddt y de los 49 a los 56 ddt. En nuestro caso el valor máximo se registró a los 69 ddt, después que los nutrientes fueron aplicados en la segunda fertilización a los 41 y 56 ddt. El primer máximo alcanzado no fue registrado, pero de acuerdo con Casierra & Vargas (2015) debió

ocurrir con la primera fertilización y posterior al trasplante. Adicionalmente, estos autores mencionan que posterior a la absorción de nutrientes las plantas continúan la maduración y la tasa de asimilación disminuye.

12.9. Peso fresco de bulbo y hojas

El peso fresco de los bulbos varió en respuesta a los factores riego y fertilización ($p < 0.05$), como por su interacción ($p < 0.05$).

Por efecto del riego los pesos incrementaron a mayor nivel de humedad aprovechable de 21 a 601 g de los 69 a los 130 ddt (Tablas 3, 4 y 5). Los bulbos de los tratamientos de 100% de humedad de aprovechable presentaron mayor peso fresco e incrementos de 74.4 y 30% a los 100 y 130 ddt respectivamente.

La respuesta del peso fresco de bulbo al fertilizante fue menor por efecto del riego. Las dosis más altas de fertilizante incrementaron el peso fresco de bulbo de 21 a 452.3 g de los 69 a los 130 ddt. El tratamiento de 250 Kg N ha⁻¹ presentó mayor peso fresco e incrementó 73.9 y 27.3% a los 100 y 130 ddt.

Las interacciones del nivel de 100% de humedad aprovechable a las distintas dosis de fertilización fueron aumentando el peso fresco de bulbo durante el periodo de registro (Figuras 28, 29 y 30). El peso máximo en esta variable se obtuvo a los 130 ddt (Figura 30) con el nivel de 100% de humedad a 200 y 250 Kg N ha⁻¹, al registrar 619 y 661 g en cada caso.

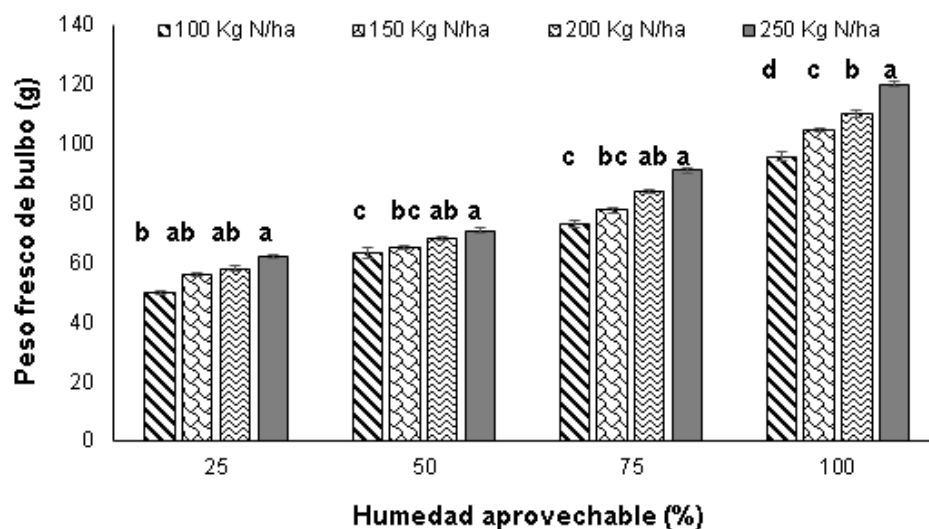


Figura 28. Interacción riego fertilizante del peso fresco de bulbos de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 69 ddt. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

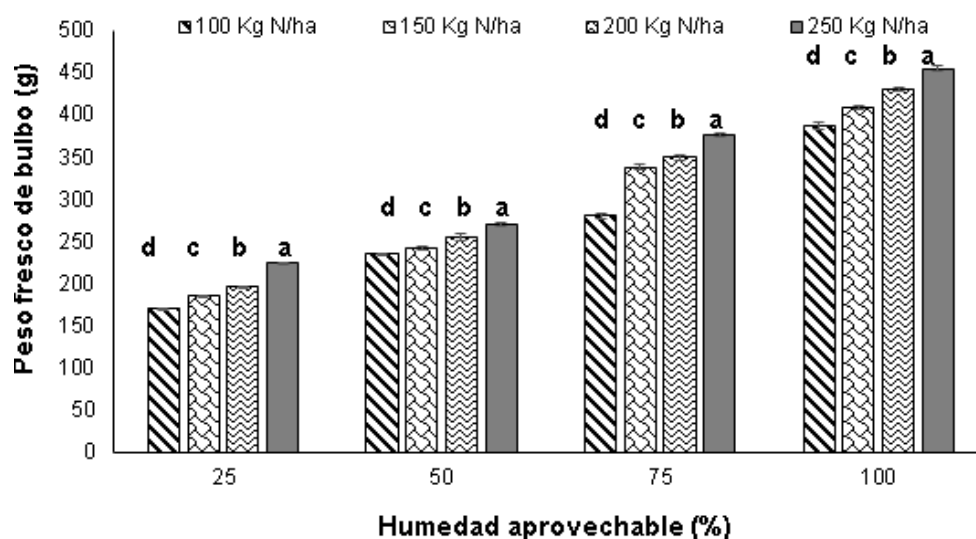


Figura 29. Interacción riego fertilizante del peso fresco de bulbos de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 100 ddt. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

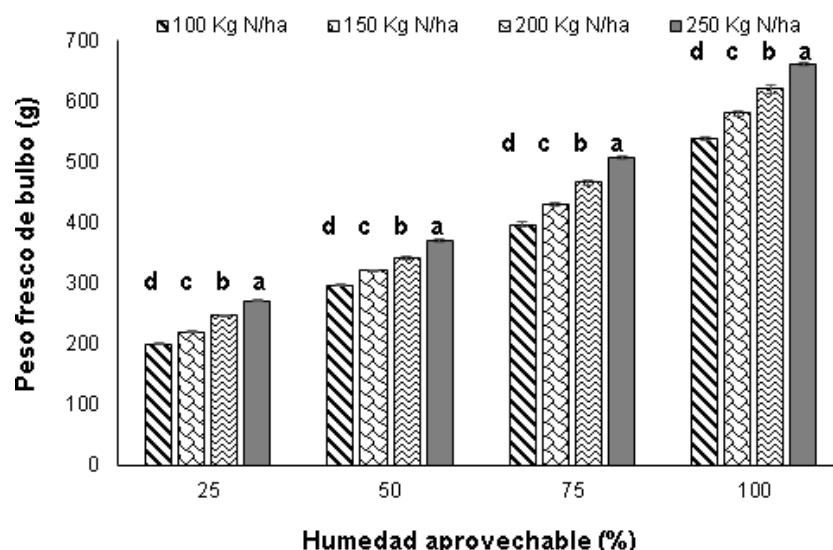


Figura 30. Interacción riego fertilizante del peso fresco de bulbos de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 130 ddt. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

En un estudio realizado por Fatideh & Asil (2012) sobre el efecto de 3 diferentes regímenes de nitrógeno y 4 niveles de humedad del suelo en cebolla, reportaron incrementos en el peso fresco de bulbos al emplear mayores niveles de riego y dosis de fertilización. En respuesta al riego el peso incrementó de 29.14 (0.05 PE) a 54.18 (1.4 PE) g; mientras que por efecto de la fertilización el aumento fue de 38.14 (50 Kg N ha⁻¹) a 44.16 (150 Kg N ha⁻¹) g.

Estos resultados fueron consistentes con los obtenidos en esta investigación, al reportar mayor respuesta del riego frente al fertilizante en esta variable, no así en la interacción riego fertilizante la cual no fue significativa de acuerdo con Fatideh & Asil (2012).

En un estudio realizado por Derajew *et al.* (2017) sobre el efecto del estiércol de corral y el espaciado entre hileras en el cultivo de cebolla, reportaron pesos de bulbo de 119.8 g al emplear 30 ton/ha de estiércol y espacios de 15 cm. Fouda (2016) reporta pesos de bulbo de 144 g en cebollas tratadas con NPK (107:72:57) y micronutrientes. Di Miceli *et al.* (2022) reportan pesos de bulbo de 190 y 210 g al

emplear dosis de fertilizantes de 160 y 220 Kg N ha⁻¹ en cultivares locales y comerciales en dos fechas de siembra.

Sin embargo, el peso fresco de bulbo registrado en esta investigación está dentro del rango reportado por una revisión realizada por Agnieszka *et al.* (2017) sobre interacciones entre el genotipo, el medio ambiente y las prácticas agronómicas sobre la producción y calidad de cebolla. Estos autores reportan que el peso promedio del bulbo puede variar de 47 a 643 g.

El peso fresco de hojas en respuesta al riego y a la fertilización ($p < 0.05$) fue variable, así como por la interacción de ambos factores ($p < 0.05$).

En respuesta al riego el peso fresco de hojas aumentó de 60 a 299 g desde los 69 a los 130 ddt. El aumento del peso se vio favorecido a los niveles de 75 y 100 % humedad aprovechable y al registrar incrementos en cada caso de 49.7 y 14.2%, y de 50.6 y 21% a los 100 y 130 ddt.

La respuesta del fertilizante en el peso fresco de hojas fue menor que por el efecto del riego, al registrar valores de 60 a 251 g durante el mismo periodo de tiempo. Los tratamientos de 200 Kg N ha⁻¹ y 250 Kg N ha⁻¹ presentaron más alto peso fresco e incrementos. En el primer caso los incrementos fueron de 49.8 y 16.2% a los 100 y 130 ddt respectivamente, y de 53.4 y 16.1% para el segundo, a los 100 y 130 ddt.

La interacción del tratamiento de 100 % humedad aprovechable y 250 Kg N ha⁻¹ a los 100 ddt (Figura 31) mostró mayor peso fresco de hojas; mientras que a los 130 ddt (Figura 32) los tratamientos más favorables fueron 250 Kg N ha⁻¹ con 75% de humedad aprovechable y 250 Kg N ha⁻¹ con 100% de humedad al registrar 253 y 330 g respectivamente.

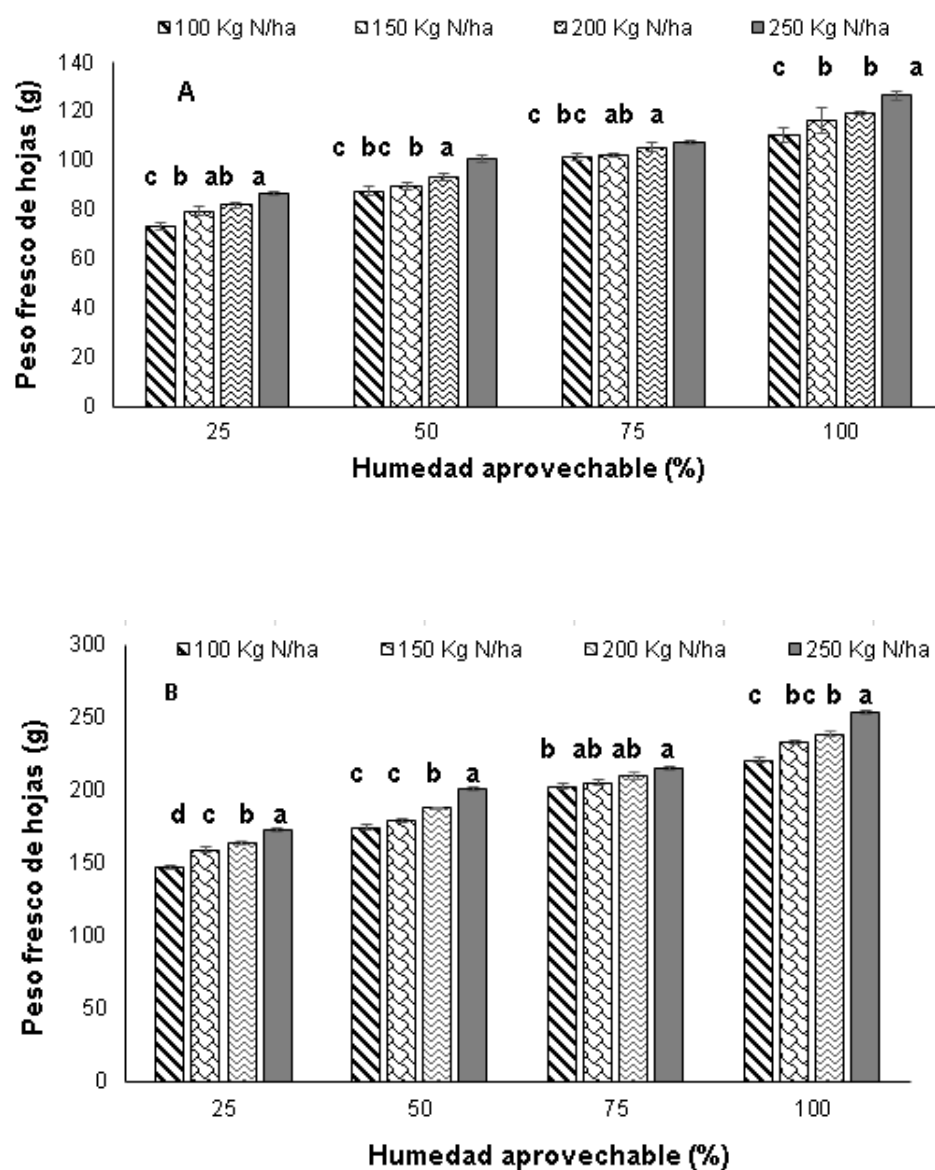


Figura 31. Interacción riego fertilizante del peso fresco de hojas de planta de cebolla (*Allium cepa* L.) A) los 69 y B) 100 ddt. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

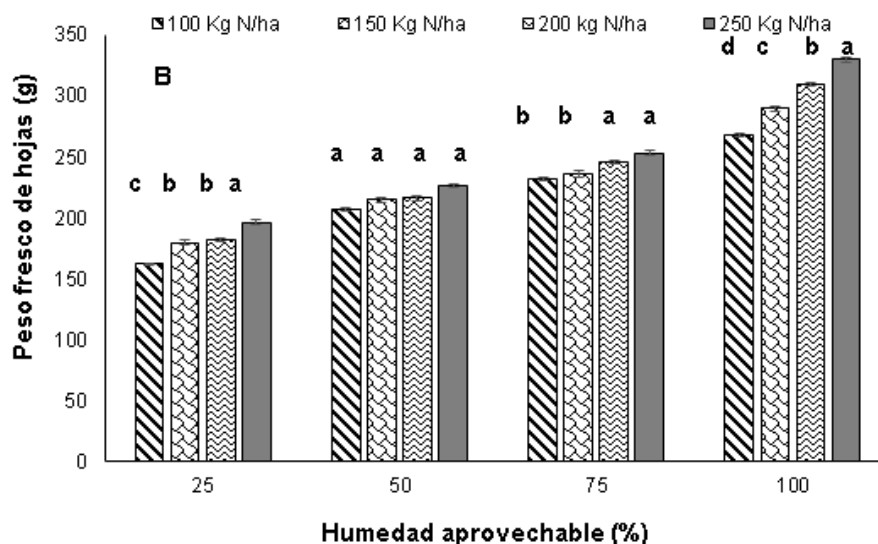


Figura 32. Interacción riego fertilizante del peso fresco de hojas de planta de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 130 ddt. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

Los resultados del presente estudio fueron más altos pero consistentes con lo reportado por Youssef & Taha (2016) al mencionar que los valores más altos obtenidos en bulbo y hojas (frescos y secos), se deben al nivel de humedad en que fueron regadas las plantas. Estos autores afirman que los valores más altos en altura de planta (74.4 cm), peso fresco (56.3 g) y seco de hojas (6.80 g) fueron obtenidos a 100% de capacidad de campo y adicionalmente por el uso de agua magnetizada.

12.10. Peso fresco de planta completa

El peso fresco de planta completa varió por efecto del riego y de la fertilización ($p < 0.05$), así como por la interacción de ambos factores ($p < 0.05$). En respuesta al riego, de los 69 a 100 ddt las plantas incrementaron el peso de 72 a 895 g, a niveles mayores de humedad aprovechable. El nivel de 100% de humedad fue el más elevado y los incrementos a los 100 y 130 ddt fueron de 65.8 y 26.6% respectivamente.

El peso fresco por efecto de la fertilización, fue menor que por riego. Durante el mismo periodo de tiempo, las plantas aumentaron de peso de 72.4 a 681 g a mayores dosis de fertilización. Entre ellas, la dosis de 250 Kg N ha⁻¹ destacó al incrementar el peso en 64.5% y 20.7% a los 100 y 130 ddt.

La interacción que presentó mayor peso fresco de planta a los 69 ddt fue la del nivel de 100% humedad aprovechable con las distintas dosis de fertilización, al registrar pesos del orden de 200 a 245 g. De igual manera, 100 ddt el mismo nivel de humedad en interacción con la dosis de 250 Kg N mostró el peso más alto de planta, de 700 g. Finalmente 130 ddt (Figura 33), las interacciones más favorecedoras para esta variable fueron las dosis de fertilización de 200 y 250 Kg N ha⁻¹, y el nivel de humedad 100%, al registrar pesos cercanos al kilogramo.

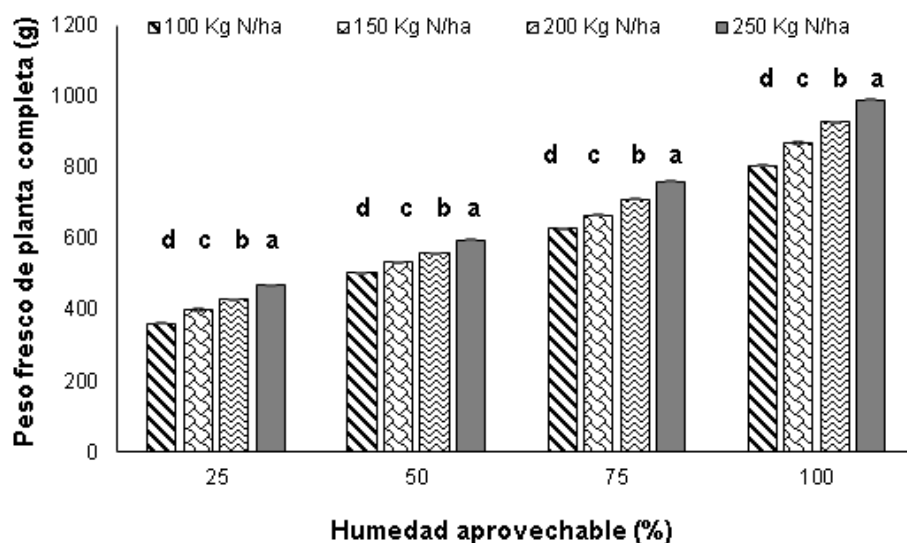


Figura 33. Interacción riego fertilizante del peso fresco de planta completa de cebolla (*Allium cepa* L.) a los 130 ddt. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

En general, las plantas tratadas con niveles mayores de riego y fertilizante nitrogenado presentaron mayor incremento de la biomasa en los órganos cosechables que a dosis menores, particularmente por efecto del riego. De acuerdo con lo anterior, se puede inferir que las plantas que mostraron mayor asignación de masa seca o biomasa, en los diferentes órganos presentarán también mayor rendimiento (Peil & Gálvez, 2005).

13. Rendimiento

El rendimiento fue variable en respuesta al riego y fertilizante ($p < 0.05$), como por su interacción ($p < 0.05$). El rendimiento aumentó de 13 a 57 Ton ha⁻¹ en respuesta al riego (Figura 34) y por efecto de la fertilización (Figura 35) de 13 a 42 Ton ha⁻¹.

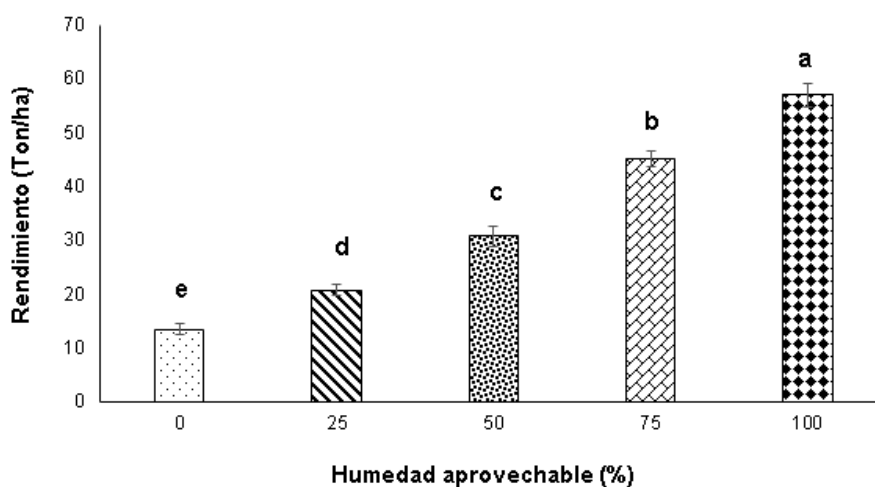


Figura 34. Rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.) en respuesta a cinco niveles de humedad aprovechable. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

La dosis de fertilización que registró más alto rendimiento fue 250 Kg N/ha (42 Ton/ha) con un incremento de 68% respecto del tratamiento control. Este incremento fue superior al reportado por Siliquini *et al.* (2015) (16%), a la dosis de 300 Kg N ha⁻¹ (13.4 Ton/ha)

Los resultados obtenidos en la presente investigación son consistentes con lo reportado por Bellacomo & Orden (2014) quienes mencionan que la fertilización con nitrógeno influye directamente en el rendimiento de los cultivos y en el caso de la cebolla tiene un efecto directo en su desarrollo y calidad.

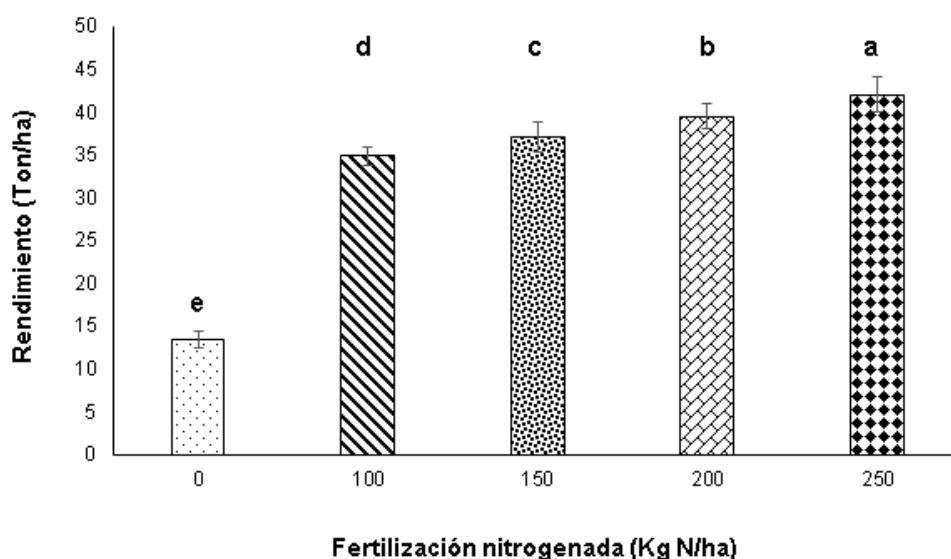


Figura 35. Rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.) en respuesta a cinco niveles de fertilizante nitrogenado. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

Los tratamientos de riego de 75 y 100% humedad aprovechable a las distintas dosis de fertilización registraron en interacción (Figura 36) rendimientos de 40 a 50 Ton ha^{-1} y de 52 a 60 Ton ha^{-1} respectivamente, superiores a los del tratamiento control (13 Ton ha^{-1}).

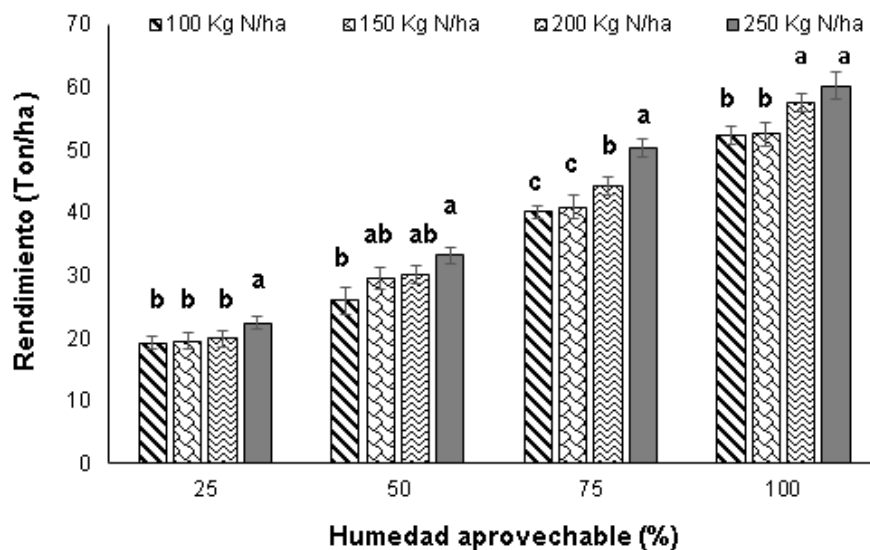


Figura 36. Interacción riego fertilizante en el rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.). Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

En estudios similares relacionados con riego, se han reportado rendimientos menores a los obtenidos en nuestra investigación. Pejic *et al.* (2014) en condiciones de riego máximo (Evapotranspiración máxima de 448.9 a 511.9 mm), reporta 36 Ton ha⁻¹ de rendimiento y 15 Ton ha⁻¹ bajo condiciones de no riego (290.2 a 393.9 mm), similar en este último caso, al obtenido por el tratamiento control de nuestro estudio. Las diferencias en el rendimiento podrían deberse al método de siembra directa empleado y a la baja densidad de plantas (45-50 plantas m⁻²) reportada por Pejic *et al.* (2014), comparada con la registrada en nuestro estudio (78 a 104 plantas m⁻²).

Peil & Gálvez (2005) mencionan que el rendimiento de un cultivo está determinado por su capacidad de acumular biomasa en los órganos por cosechar. En este estudio, los bulbos a niveles de 75 y 100% de humedad aprovechable acumularon mayor biomasa respecto de los demás tratamientos. En ambos casos se registró mayor cantidad y tamaño de hoja al inicio de la bulbificación, por lo que el rendimiento a la cosecha también fue mayor (Rao *et al.* (2016).

14. Parámetros de calidad física

14.1 Calibres

Los calibres de cebolla obtenidos fueron chico, pre-envase, mediano, grande y colosal (Tabla 7). De estos, mediano, grande y colosal variaron ($p<0.05$) en respuesta al riego, a la fertilización y a la interacción riego-fertilizante.

Los calibres grande y colosal por efecto del riego registraron medias más altas a niveles de 25 y 75 % humedad aprovechable respectivamente. Por efecto del fertilizante, los mayores promedios de calibres grande y colosal se registraron a 150 y 250 Kg N ha⁻¹ respectivamente.

Respecto a la interacción riego-fertilizante, los calibres que predominaron fueron grande (Figura 37) y colosal (Figura 38) con medias de 80 y 100 en cada caso. La producción de calibre grande fue favorecida con el tratamiento de 25% de humedad aprovechable a 250 Kg N ha⁻¹; mientras que, en colosal, el tratamiento de 100% de humedad a dosis de 150 y 200 Kg N ha⁻¹.

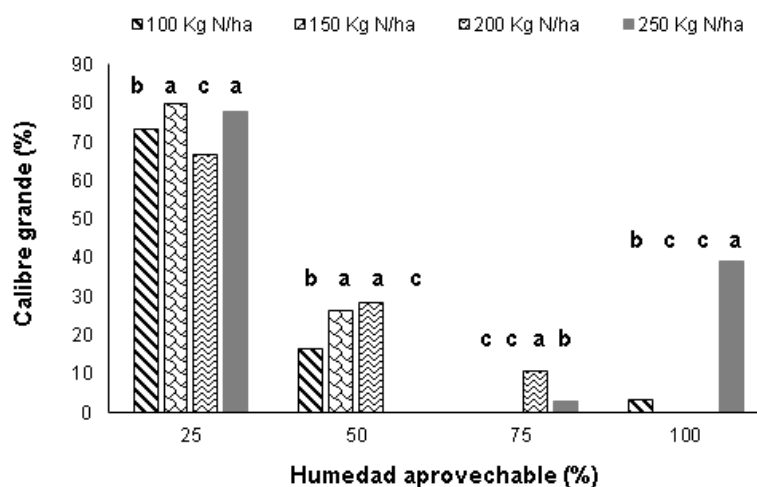


Figura 37. Interacción riego fertilizantes de calibres de cebolla (*Allium cepa* L.) tamaño grande. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p<0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

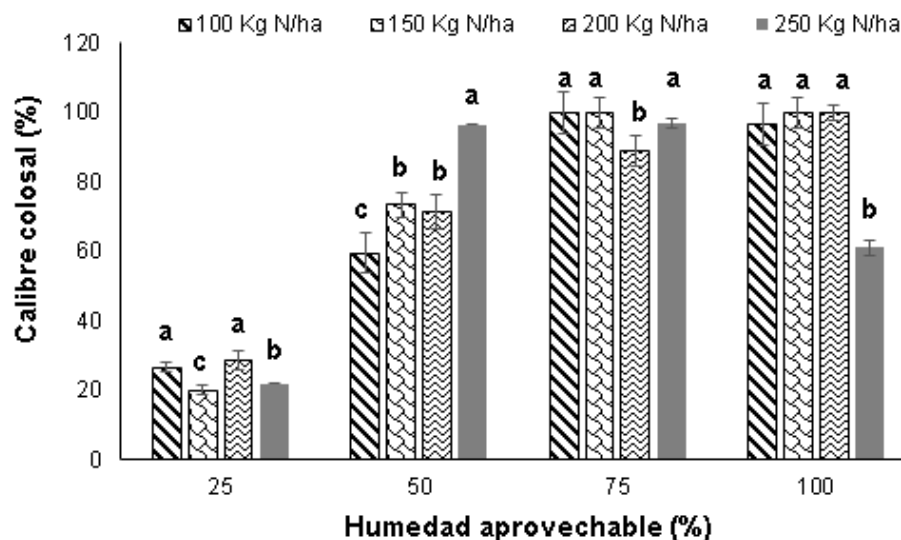


Figura 38. Interacción riego fertilizantes de calibres de cebolla (*Allium cepa* L.) tamaño colosal. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

En un estudio similar realizado Fatideh & Asil (2012) sobre el efecto de diferentes regímenes de nitrógeno y humedad en el rendimiento en cebolla, reportaron que del riego más alto (1.4 PE) el porcentaje de calibres grado A (>6 cm), B (4-6 cm), C (3.0-3.9 cm) y D (<3.0 cm) fue 7, 53, 32 y 8% respectivamente; mientras que en el nivel de riego más bajo (0.50 PE), el % de calibres en cada caso fue 0, 11, 51 y 39 %. En nuestra investigación el nivel más alto (100% humedad aprovechable) registró 100% de calibre A; mientras que el nivel más bajo (0% humedad aprovechable) registró 73.5 de calibre grado A y 26.5% de calibre grado B. Al comparar ambas investigaciones puede apreciarse que en tratamientos de máxima humedad Fatideh & Asil (2012) obtuvieron predominantemente calibres pre-envase y chicos; mientras que, en condiciones de mínima humedad, calibres chicos. En nuestro trabajo, por efecto del riego máximo y mínimo se produjeron mayor

porcentaje de calibres colosal, excepto por una cuarta parte de calibres chico producidos en condiciones de riego mínimo.

En respuesta a la fertilización Fatideh & Asil (2012) reportaron calibres chicos en los tratamientos de mayor (150 Kg N ha^{-1}) y menor dosis (50 Kg N ha^{-1}) de nitrógeno. En la dosis de 150 Kg N ha^{-1} , el porcentaje de bulbos grado A, B, C y D fue 4, 48, 43 y 5% respectivamente, mientras que a 50 kg/ha fue 3, 29, 45 y 23 % respectivamente. Al comprar dichos resultados con los obtenidos en la presente investigación, 150 Kg N ha^{-1} produjo bulbos grado A, equivalente a 27.9% calibres grandes y 72.1% a calibres colosal. En otras investigaciones, la aplicación de dosis superiores a las nuestras, registraron calibres menores. Siliquini *et al.* (2015) emplearon dosis de 300 Kg N ha^{-1} y registraron bulbos de 6 a 7 cm de diámetro, equivalentes a calibres de tamaño pre-envase y mediano.

Tabla 7. Porcentaje de calibres de cebolla (*Allium cepa* L.) en respuesta a la humedad aprovechable (R) y fertilización nitrogenada (F).

%HA (R)	Chico (2.5-5.7 cm)	Pre-envase (4.4-7.6 cm)	Mediano (5.0-8.2 cm)	Grande o Jumbo (>7.6 cm)	Colosal (>9.5 cm)
0	0.0±0.0a	26.5±3.3a	32.5±1.2a	41.0±2.0a	0.0±0.0d
25	0.0±0.0a	0.1±0.0b	5.2±0.0b	50.7±2.9b	44±1.4c
50	0.2±0.0a	0.0±0.0b	3.1±0.5b	17.3±1.9c	79.4±1.5b
75	0.0±0.0a	0.0±0.0b	0.2±0.0c	7.3±1.6d	92.5 ±1.2a
100	0.0±0.0a	0.0±0.0b	0.2±0.0c	10.6±1.7e	89.2±1.9a
Kg N ha⁻¹ (F)	Chico (2.5-5.7 cm)	Pre-envase (4.4-7.6 cm)	Mediano (5.0-8.2 cm)	Grande o Jumbo (>7.6 cm)	Colosal (>9.5 cm)
0	0.0±0.0a	25.7±3.3a	32.5±1.2a	41.8±2.0a	0.0±0.0c
100	0.0±0.0a	0.0±0.0b	3.82±0.0b	23.0±2.9e	73.18±1.4a
150	0.0±0.0a	0.0±0.0b	0.0±0.5c	27.9±1.9c	72.1±1.5b
200	0.2±0.0a	0.1±0.0b	0.7±0.0d	25.1±1.6d	73.9±1.2a
250	0.0±0.0a	0.0±0.0b	2.0±0.0e	20±1.7b	78.0±19a
R*F	0.46	0.46	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Los valores son la media ± desviación estándar de tres repeticiones. Todas las muestras fueron significativas (p<0.0001).

En general en esta investigación los bulbos de calibres mediano, grande y colosal (grado A) fueron más abundantes a niveles más altos de riego y fertilizante. Este comportamiento fue consistente con lo reportado por Woldetsadik *et al.* (2003) quienes reportaron porcentajes más altos de bulbos de gran tamaño en presencia de humedad óptima del suelo.

14.2. Diámetro de cuello del bulbo

La humedad aprovechable y las dosis de fertilizante ($p < 0.05$) tuvieron efecto en el diámetro del cuello de bulbo, excepto la interacción de humedad fertilización ($p > 0.05$) (Tabla 8).

En respuesta a la humedad, el diámetro de los cuellos se redujo de 3.1 a 2.5 cm del tratamiento de 50 a 100% de humedad aprovechable; mientras que de los 100 a 250 ddt (Tabla 8) por efecto de la fertilización, los diámetros disminuyeron de 3.1 a 2.8 cm a dosis de 100 a 250 Kg N ha⁻¹.

El valor más bajo de diámetro de cuello en interacción se obtuvo con el tratamiento de 100% de humedad aprovechable y 250 Kg N ha⁻¹ al registrar 2.1 cm.

Piri & Naserin (2020) reportaron cuellos más reducidos en un estudio sobre el efecto de diferentes niveles de agua y nitrógeno sobre el rendimiento de cebolla. En respuesta a los niveles de riego estos autores registraron que dosis de 50 (663 mm), 75 (779 mm) y 100 (1002 mm) % de humedad produjeron diámetros de bulbos de 1.63, 1.41 y 1.33 cm respectivamente. El efecto del riego y fertilizante en el diámetro de los cuellos fue mayor en la presente investigación, al registrar diámetros de 3.1 a 2.5 cm en dosis de mayor a menor nivel de humedad aprovechable.

En relación con la fertilización, el tratamiento de 100 Kg N ha⁻¹ produjo cuellos de mayor grosor que el resto de tratamientos al registrar 3.1 cm. Jilani (2004) reportó que la aplicación de N a 200 kg/ ha aumentó el número de cuellos gruesos de los

bulbos. Gebretsadik & Dechassa (2018), mencionan que si bien, este elemento no puede aumentar el diámetro del cuello empleando dosis de 100 Kg N ha^{-1} , si puede incrementarlo en un 28 % a dosis de 150 Kg N ha^{-1} . En nuestro estudio el incremento entre ambos tratamientos fue de 3.2%

Tabla 8. Parámetros de calidad física de cebolla (*Allium cepa* L.) en respuesta a la humedad aprovechable (R) y fertilización nitrogenada (F).

Diámetro (cm)						Color					Firmeza (Kg cm ⁻²)
%HA (R)	Cuello	Polar	Ecua torial	No. catáfila	Grosor catáfila (mm)	L	a	b	c	h	
0	3.5±0.1e	8.0±2.0d	7.2±1.9d	7±0.9b	3.4±0.9cd	95.7±1.0a	-1.0±0.6a	15.0± 1.4a	14.6±0.8a	93.7±2.0b	4.5±2.0a
25	3.1±1.4a	7.6±2.3c	7.8±2.0c	10±0.5a	3.1±0.5d	91.3±1.4b	-1.8±1.9b	12.6±0.5b	12.7±0.5b	96.9±2.2a	3.4±1.0b
50	3.0±0.8b	8.4±1.1b	8.8±1.9b	10±0.6a	3.8±0.6bc	90.0±0.2c	-1.5±0.2ab	11.1±0.8c	11.0±0.8c	97.7±1.3a	3.6±0.0b
75	2.8±0.7c	9.2±0.8a	9.8±1.5a	11±0.3a	4.1±0.3ab	89.5±0.8c	-1.5±0.7ab	11.0±1.4c	11.1± 1.5c	97.5±2.5a	3.8±1.5b
100	2.5±0.2d	9.1±1.3a	10.7±1.2a	11±0.2a	4.3±0.2b	89.7±1.4c	-1.4±0.6ab	10.4±1.2c	10.6±1.2c	97.7±2.2a	3.7±0.1b
Diámetro (cm)						Color					Firmeza (Kg cm ⁻²)
Kg N ha ⁻¹ (F)	Cuello	Polar	Ecua torial	No. catáfila	Grosor catáfila (mm)	L	a	b	c	h	
0	3.5±0.1d	8.0±2.0d	7.2±1.9c	7±0.9a	3.4±0.9b	95.7±1.0a	-1.0±0.6a	15.0± 1.4a	14.6±0.8a	93.7±2.0b	4.5±2.0a
100	3.1±1.4a	8.2±2.3cb	8.7±2.0b	11±0.5a	3.8±0.5ab	90.3±1.4b	-1.5±1.9ab	11.0±0.5b	11.1±0.5b	96.4±2.2a	3.6±1.0b
150	3.0±0.8ab	8.3±1.1c	9.2±1.9b	10±0.6a	3.9±0.6a	90.1±0.2b	-1.5±0.2ab	11.4±0.8b	11.5±0.8b	97.5±1.3a	3.6± 0.0b
200	2.8±0.7bc	8.4±0.8bc	9.6±1.5a	10±0.3a	3.9±0.3a	90.1±0.8b	-1.6±0.7ab	11.0±1.4b	11.2± 1.5b	97.9±2.5a	3.7±1.5b
250	2.8±0.2c	9.4±1.3a	9.7±1.2 a	10±0.2a	3.7±0.2ab	90.0±1.4b	-1.6±0.6b	11.7±1.2b	11.7±1.2b	97.9±2.2a	3.5±0.1b
R*F	0.09	<0.0001	0.0014	0.18	0.53	0.28	0.39	0.33	0.23	0.45	0.37

Los valores son la media ± desviación estándar de tres repeticiones. Todas las muestras fueron significativas (p<0.0001).

En investigaciones similares, se ha reportado que no existe diferencia significativa en la aplicación de dosis menores o ligeramente iguales a las utilizadas en nuestra investigación. Abdissa *et al.* (2011) obtuvieron diámetros estadísticamente iguales de 1.37, 1.07, 1.78, 1.15 y 1.14 cm, al evaluar dosis de 0, 69, 92, 115 y 138 Kg N ha⁻¹.

En nuestro estudio, la interacción riego fertilizante no fue significativa al igual que ocurrió con Brewster (1987). Este autor menciona que el engrosamiento de los bulbos se debe a un trastorno fisiológico que está influenciado por el tipo de cultivar, ciclo de cultivo y área, no por la fertilidad. Adicionalmente, Abdissa *et al.* (2011) señalan que el grosor del cuello es un índice de la capacidad de almacenamiento de la cebolla. De acuerdo con ambas afirmaciones se puede inferir que cualquiera de las posibles causas antes mencionadas podría en nuestra investigación, haber aumentado el diámetro de los cuellos y, en consecuencia, reducir el tiempo de almacenamiento de las cebollas.

14.3. Diámetro polar y ecuatorial del bulbo

La calidad de las cebollas se clasifica según el tamaño del diámetro del bulbo (Zheng *et al.*, 2013).

Los diámetros polar y ecuatorial (Tabla 8) presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) al igual que en la interacción ($p < 0.05$) de ambos factores.

En respuesta al riego, el diámetro ecuatorial aumentó a mayor nivel de humedad, al registrar valores de 7.2 a 10.7 cm del tratamiento de 0 hasta 100% de humedad. El incremento en los tratamientos de 25, 50, 75 y 100% de humedad aprovechable fue de 7.7, 11.4, 10.2 y 8.4 %.

De manera similar que los tratamientos de máximo nivel de riego, los tratamientos de fertilización (Tabla 8) aumentaron de 7.2 a 9.6 cm. Las dosis más altas fueron

200 y 250 Kg N ha⁻¹ al registrar diámetros ecuatoriales significativamente iguales de 9.7 y 9.6 cm. Los incrementos registrados fueron 17.2 (8.7 cm), 5.4 (9.2 cm), 5.1 (9.7 cm), 1 (9.6 cm) %.

La interacción riego fertilizante más favorable en esta variable fue el tratamiento de 100 % de humedad aprovechable y 200 Kg N ha⁻¹ al registrar 11.2 cm (Figura 39).

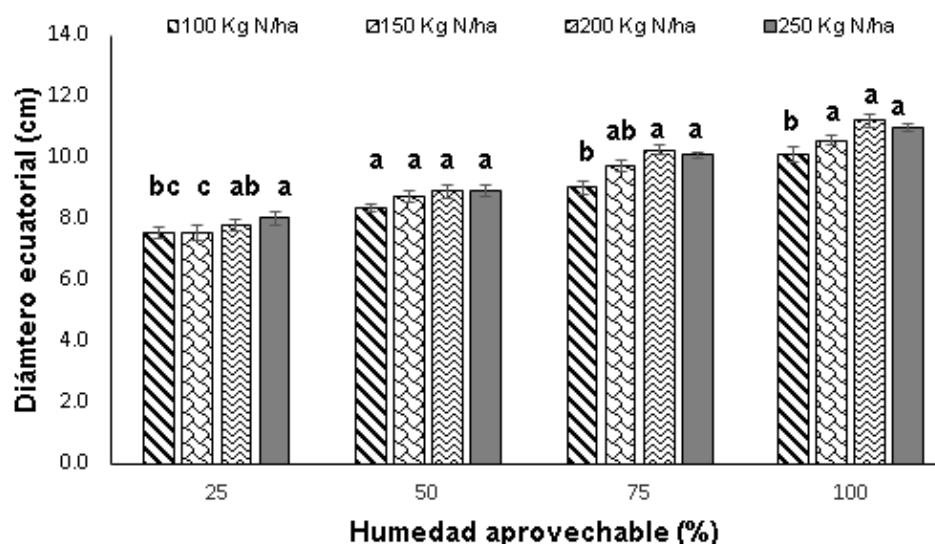


Figura 39. Interacción riego fertilizante en el diámetro ecuatorial de cebolla (*Allium cepa* L.). Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

El diámetro ecuatorial obtenido por efecto del riego a 100 (10.7 cm), 75 (9.8 cm) y 50 (8.8 cm) % de humedad fue dos veces más grande que lo reportado por Youssef & Taha (2016) a 100 (5.1 cm), 80 (4.6 cm) y 60 (4.1 cm) % de humedad. De la misma forma Bagali *et al.* (2012) reportaron diámetros similares a Youssef & Taha (2016) al emplear niveles de 100 (5.4 cm), 80 (5.2 cm) y 60 (4.5 cm) % de humedad aprovechable.

En respuesta a la fertilización el diámetro ecuatorial de los bulbos aumentó gradualmente a las dosis de 0 (7.2 cm), 100 (8.7 cm), 150 (9.2 cm), 200 (9.7 cm) y 250 (9.6 cm) Kg N ha⁻¹.

De acuerdo con Abdissa *et al.* (2011) el diámetro ecuatorial obtenido a la dosis de 115 y 138 Kg N ha⁻¹ fue de 7.15 y 7.33 cm respectivamente, ambos similares a lo obtenido en nuestra investigación a la dosis de 100 Kg N ha⁻¹ (8.7 cm). En otras investigaciones se han reportado diámetros ecuatoriales menores al emplear las mismas dosis de fertilización. Piri & Naserin (2020) reportaron 5.24 cm de diámetro al emplear 100 Kg N ha⁻¹. De igual manera a las dosis de 100 y 150 Kg N ha⁻¹ Etana *et al.* (2019) reportaron diámetros de 5.75 y 6.02 cm, ambos con una diferencia de 3 cm respecto de lo obtenido en las mismas dosis de nuestro estudio.

La interacción que obtuvo más alto diámetro ecuatorial fue el tratamiento de 100 % de humedad y 200 Kg N ha⁻¹ (Figura 39), al obtener 11.2 cm. El diámetro ecuatorial registrado en nuestro estudio fue el doble de lo reportado en otras investigaciones. De acuerdo con Piri & Naserin (2020) la interacción más alta se obtuvo con el tratamiento de 100% de humedad aprovechable y 100 Kg N ha⁻¹ al registrar 6.12 cm de diámetro ecuatorial, seguido por 5.8 cm de diámetro del tratamiento de 120% de humedad aprovechable y 100 Kg N ha⁻¹.

El diámetro polar (Tabla 8) por efecto del riego registrado en nuestro estudio fue mayor y significativamente igual en las dosis de 100 (9.1 cm) y 75 (9.2 cm) % de humedad aprovechable, seguido por el tratamiento de 50 (8.4 cm), 0 (8.0 cm) y 25 (7.6 cm) % de humedad.

De la misma manera que ocurrió con el diámetro ecuatorial (Tabla 8) en respuesta al riego, los valores registrados en el diámetro polar por efecto del mismo factor fueron dos veces más grandes que los reportados en otras investigaciones. Bagali *et al.* (2012) reportaron diámetros de 5.67, 5.46 y 4.81 cm a niveles de 100, 80 y 60% de humedad. En otros estudios los diámetros en esta variable fueron aun

menores que los reportados por Bagali *et al.* (2012). De acuerdo con Youssef & Taha (2016) el diámetro polar de los bulbos fue de 4.3, 4.06 y 3.98 cm a los mismos niveles de humedad aprovechable. De la misma forma, en otras investigaciones, el diámetro polar de los bulbos fue menor que el obtenido en nuestro estudio al emplear los mismos niveles de humedad aprovechable. Piri & Naserin (2020) reportaron diámetros polares de 2.88, 3.77 y 4.28 cm a niveles de 50, 75 y 100 % humedad.

En respuesta a la fertilización, el diámetro polar (Tabla 8) aumentó a las dosis 0 (8 cm), 100 (8.2 cm), 150 (8.3 cm), 200 (8.4 cm) y 250 (9.4 cm) Kg N ha⁻¹. Estos valores fueron el doble de altos que los reportados por otros autores a dosis semejantes de fertilización. Piri & Naserin (2020) registraron 4.77 cm de diámetro polar a la dosis de 100 Kg N ha⁻¹, mientras que a la misma dosis en nuestro estudio se obtuvieron 8.2 cm. De la misma forma a las dosis de 100 y 150 Kg N ha⁻¹ Etana *et al.* (2019) obtuvieron diámetros polares de 4.96 y 5.23 cm respectivamente. Adicionalmente en dosis similares Abdissa *et al.* (2011) obtuvieron 5.01, 4.93 y 4.99 cm respectivamente a dosis de 92, 115 y 138 Kg N ha⁻¹.

La interacción más alta en diámetro polar (Figura 40) fue la del tratamiento de 75% de humedad aprovechable y 250 Kg N ha⁻¹ al registrar 10.4 cm, seguido por 9.9 cm del tratamiento de 100% de humedad y 250 Kg N ha⁻¹. En otras investigaciones se han reportado diámetros menores empleando dosis mayores. Piri & Naserin (2020) reportaron que la interacción más favorable en esta variable fue registrada por los tratamientos de 120% de humedad aprovechable y 100 Kg N ha⁻¹ al registrar 5.48 cm, seguido por 5.17 cm de diámetro del tratamiento de 100% de humedad aprovechable y 100 Kg N ha⁻¹.

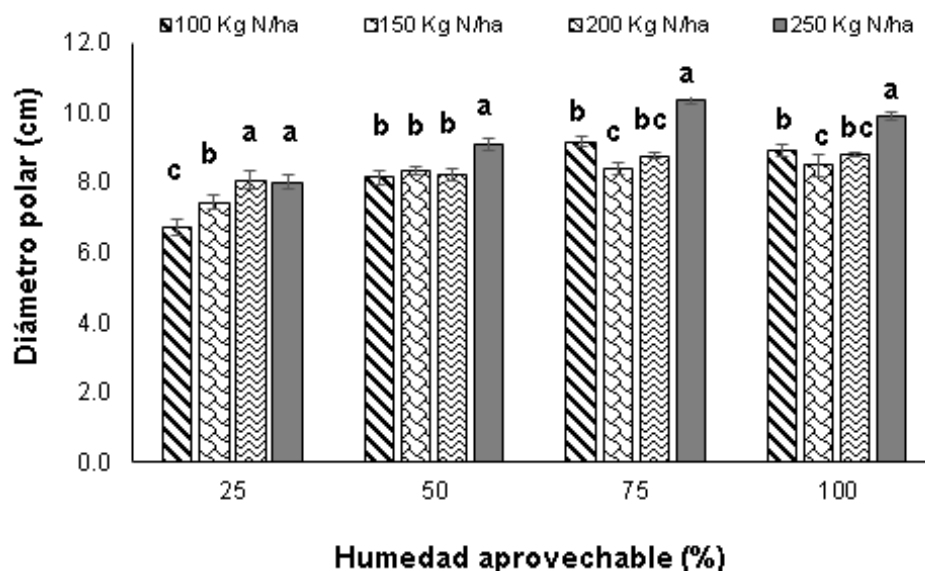


Figura 40. Interacción riego fertilizante en el diámetro polar de cebolla (*Allium cepa* L.). Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

14.4. Número y grosor de catáfilas

El riego y la fertilización no fueron estadísticamente significativos ($p > 0.05$) en el número de catáfilas de los bulbos. En la Tabla 8 puede apreciarse que el promedio registrado fue de 10 catáfilas en los tratamientos por efecto de riego y fertilización, y 7 en el tratamiento control.

En relación con la fertilización, en nuestra investigación las dosis de 0, 150 y 200 kg N/ha presentaron 7, 10 y 10 catáfilas por bulbo de cebolla. De manera semejante Di Miceli *et al.* (2022) registraron 8.29, 8.19 y 8.05 número de catáfilas al emplear 0, 160 y 220 kg N/ha respectivamente. En contraparte Sinkovic *et al.* (2019), mencionan que la aplicación de dosis altas de fertilizante nitrogenado reduce el número de catáfilas.

Respecto de la presente investigación es posible que la falta de significancia estadística por efecto de la fertilización en esta variable, se deba a la influencia de

factores genotípicos (Petropoulos *et al.*, 2015; Coolong *et al.*, 2008). Cely (2010) menciona que una vez completada la etapa de maduración del bulbo con el consiguiente engrosamiento de catáfilas, disminuye la aparición de éstas. Adicionalmente, Sinkovič *et al.* (2019) afirman que la variedad del cultivar influye en el número de catáfilas de cebolla.

En relación con el grosor de catáfilas, éste fue significativo por los niveles de humedad aprovechable ($p < 0.05$) pero no por las dosis de fertilizante ($p > 0.05$) o por la interacción de ambos factores ($p > 0.05$).

Los resultados mostraron que los tratamientos de mayor humedad aprovechable, 75 y 100%, presentaron mayor grosor de catáfilas al registrar 4.1 y 4.3 cm respectivamente, superiores que los demás tratamientos.

En respuesta a la fertilización, el grosor de catáfilas fue menor que en respuesta al riego, así como no significativo estadísticamente. Las dosis que presentaron grosores más altos en esta variable fueron 250, 200 y 150 Kg N ha⁻¹ al registrar en cada caso 3.7, 3.9 y 3.9 mm. En contraparte, Maier *et al.* (1990) reportaron que dosis de 290, 190 y 90 registraron en cada caso 0.048, 0.058 y 0.052 mm de grosor de catáfilas, menor a lo obtenido en nuestro estudio a dosis semejantes. Sin embargo, valores similares a los nuestros en esta variable, fueron reportados por Lee *et al.* (2015) en un estudio sobre la comparación de las características del bulbo y catáfilas de cebollas cultivadas por métodos orgánicos y convencionales. Aunque no fueron mencionadas las dosis empleadas en dicha investigación, los autores reportaron que el rango de variación del grosor de catáfila fue de 4.9 a 5.9 mm y de 5.1 a 6.4 mm para cultivo orgánico y convencional respectivamente.

Lee *et al.* (2015) han mencionado que el número y grosor de catáfila pueden influir en la calidad de la cebolla ya que se ha publicado que bulbos con más catáfilas contienen menor contenido de agua, mayor contenido de materia seca y son menos

suaves. Sin embargo, experimentalmente ellos encontraron poca relación entre la calidad de la cebolla y las características de la catáfila.

14.5. Color

Las únicas características de color que resultaron significativas ($p < 0.05$) y que respondieron únicamente a humedad aprovechable ($p < 0.05$) fueron “L”, “b” y “c” (Tabla 8).

Por efecto del sol o curado, las cebollas presentaron maduración total, particularmente a niveles de 0 y 25% de humedad aprovechable. En respuesta a este factor y a los niveles de riego antes mencionados, “L*” registró valores cercanos a 100, lo que indica mayor claridad de color o luminosidad; “b*” mostró tendencia leve al color amarillo y “c”, alta brillantez en la superficie de los bulbos. El valor a^* al ser muy pequeño, tiende a estar en el color blanco. Los valores de h obtenidos indican tonos blancos/amarillos.

Es posible que, los tratamientos de 0 y 25% de humedad aprovechable, al estar sometidos a condiciones restringidas de riego presentaran mayor blancura, luminosidad y brillo en los bulbos. Las plantas en estrés hídrico se protegen reduciendo la tasa de fotosíntesis (Ghodke *et al.*, 2018; Hanci & Cebecí, 2019) y la producción de clorofila o color (Almaroai & Eissa, 2020), re-direccionando la mayor parte de la energía de la planta hacia la producción de más prolina (40%) y fenoles (26%) promoviendo su coloración característica (Eissa & Roshdy, 2018).

14.6. Firmeza

La firmeza por efecto del riego y de la aplicación de fertilizante nitrogenado no fueron significativas ($p > 0.05$), al igual que por la interacción de ambos factores ($p > 0.05$). La variación de esta característica en los bulbos fue de 3.5 a 4.5 Kg cm⁻² (Tabla 8).

La fuerza de penetración de los bulbos en esta investigación fue superior que la reportada por Wakchaure *et al.* (2021) en los cultivares blancos Shubra (1.63 Kg cm⁻²), Sweta (1.47 Kg cm⁻²), y Safed (1.42 Kg cm⁻²), y rojos como el cultivar 'Local' (2.09 Kg cm⁻²), sometidos a estrés hídrico producido bajo distintos regímenes de riego.

Estos autores mencionan que la fuerza de penetración en un cultivar define mayor tolerancia al estrés hídrico que otros cultivares. De acuerdo con esta afirmación puede inferirse que los tratamientos en nuestra investigación al registrar mayor firmeza podrían ser más tolerantes a dicha condición que los cultivares rojos y blancos evaluados por Wakchaure *et al.* (2021).

En respuesta a la fertilización nitrogenada, la firmeza de los bulbos en las dosis de 200 (3.7 Kg cm⁻²) y 250 kg (3.5 Kg cm⁻²) Kg N ha⁻¹ fue menor que la reportada por Di Miceli *et al.* (2022) en tratamientos de 160 (8.44 Kg cm⁻²) y 220 (7.94 Kg cm⁻²) kg N/ha. De acuerdo con dichos autores, es posible que estas diferencias se deban al periodo de evaluación, accesión (raza de semilla) y fecha de siembra.

Randle (2000), señala que altas dosis de nitrógeno en el cultivo pueden producir bulbos blandos y disminuir la vida útil poscosecha. Esta afirmación difiere de nuestros resultados y de los de Di Miceli *et al.* (2022). En nuestra investigación la firmeza de bulbos fue estadísticamente igual entre los tratamientos de mínima a máxima dosis de fertilización; mientras que los bulbos reportados por Di Miceli *et al.* (2022) fueron más firmes empleando dosis altas de nitrógeno.

En un estudio sobre las propiedades físicas y mecánicas de cebollas egipcias, blanca (Giza 6), amarilla (Giza 20) y roja (Beheri), la cebolla blanca presentó menor firmeza de bulbo. Bahnasawy *et al.* (2004) reportaron que la firmeza en cebolla (tamaños chico, mediano y grande) blanca varió 2.7 a 3.6 Kg cm⁻², de 2.6 a 4.3 Kg cm⁻² para cebolla roja y de 2.8 a 4.5 Kg cm⁻². para cebolla amarilla. En cebolla blanca

la firmeza promedio para los tamaños mediano y grande fueron 3.4 y 3.6 Kg cm⁻² respectivamente, similares a la registrada en nuestra investigación.

Mallor *et al.* (2011) y Agnieszka *et al.* (2017) mencionan que los atributos de calidad como es el caso de firmeza, pueden verse influenciados por la composición genética de la cebolla, las prácticas agronómicas, y el manejo del agua.

15. Parámetros de calidad química

15.1. pH

El pH varió por efecto del riego ($p < 0.05$) y del fertilizante ($p < 0.05$) pero no en respuesta de la interacción riego fertilizante ($p > 0.05$).

En respuesta a la humedad aprovechable (Figura 41), el aumento de pH se registró en condiciones de mayor déficit hídrico. Los bulbos con más alto pH o menos ácidos se obtuvieron al nivel de 0 (5.85) % de humedad, seguido por 25 y 50% de humedad, los cuales fueron estadísticamente iguales (5.74). El nivel de 100 (5.68) % de humedad registró mayor acidez o menor pH y un decremento de 2.9% respecto del nivel de 0% de humedad.

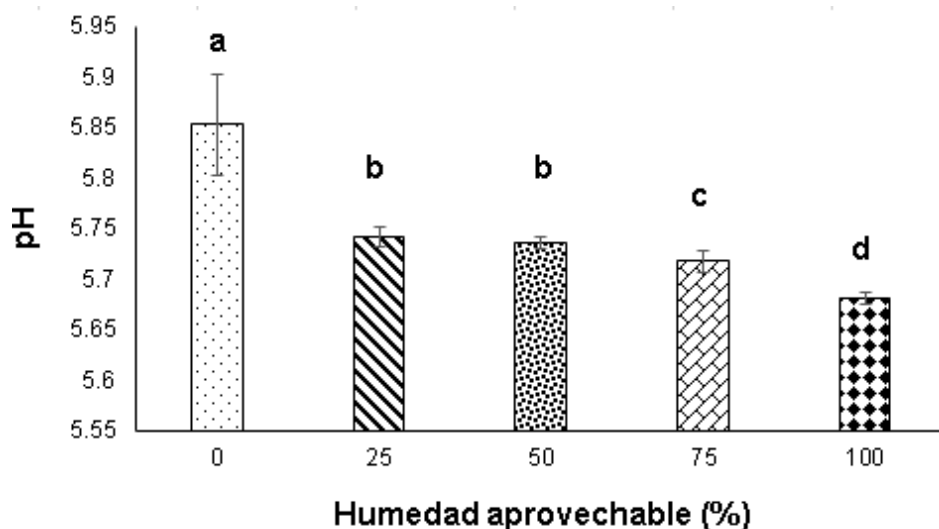


Figura 41. Respuesta del pH de cebolla (*Allium cepa* L.) a cinco niveles de humedad aprovechable. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

En respuesta a la fertilización (Figura 42) el pH presentó un comportamiento similar al efecto de la humedad. En condiciones restringidas de fertilizante el pH fue mayor y significativamente igual en los niveles de 100 y 150 Kg N ha⁻¹ (5.73). El pH disminuyó a niveles de 200 y 250 Kg N ha⁻¹. El decremento en esta variable en el tratamiento de 250 (5.7) respecto del nivel de mayor pH fue de 2.6%.

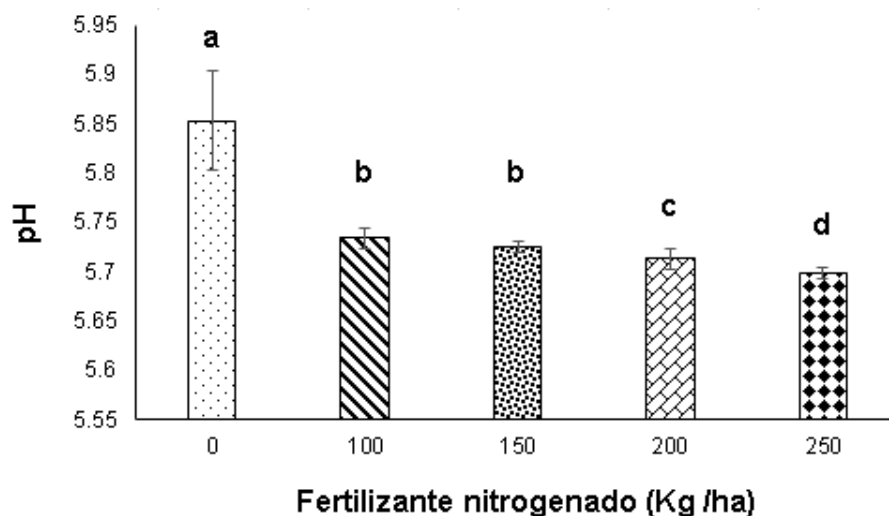


Figura 42. Respuesta del pH de cebolla (*Allium cepa* L.) a cinco niveles de fertilizante nitrogenado. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

La interacción riego fertilizante no fue significativa ($p > 0.05$), sin embargo, pudo apreciarse que la mayor acidez (5.76 %) en los bulbos se obtuvo de los tratamientos de 25 % de humedad y 100 Kg N ha⁻¹.

Los bulbos mostraron valores de pH más altos con el agotamiento de humedad. Este comportamiento fue similar a lo reportado por Wakchaure *et al.* (2021) en cebolla blanca bajo regímenes de estrés hídrico severo a exceso de riego al registrar valores de pH de 5.8 a 5.6. Sin embargo, Venâncio *et al.* (2022) reportaron que, en función de la fertilización y salinidad del suelo, el pH de los bulbos no registró diferencias significativas. Por lo tanto, es probable que la variación del pH del bulbo pueda depender del manejo agronómico del cultivo, prácticas culturales y condiciones ambientales como lo indican Klunklin & Savage, (2017).

15.2. Acidez titulable

La acidez titulable fue una característica que mostró respuesta al riego ($p < 0.05$), al fertilizante ($p < 0.05$) y a la interacción entre ellos ($p < 0.05$).

En función de la humedad aprovechable la acidez aumentó de 0.12 a 0.13% (Figura 43) del nivel de 0 a 75% de humedad con un incremento de 8.4%. Los bulbos a niveles de 25 y 50% fueron menos ácidos y registraron la misma acidez (0.123%).

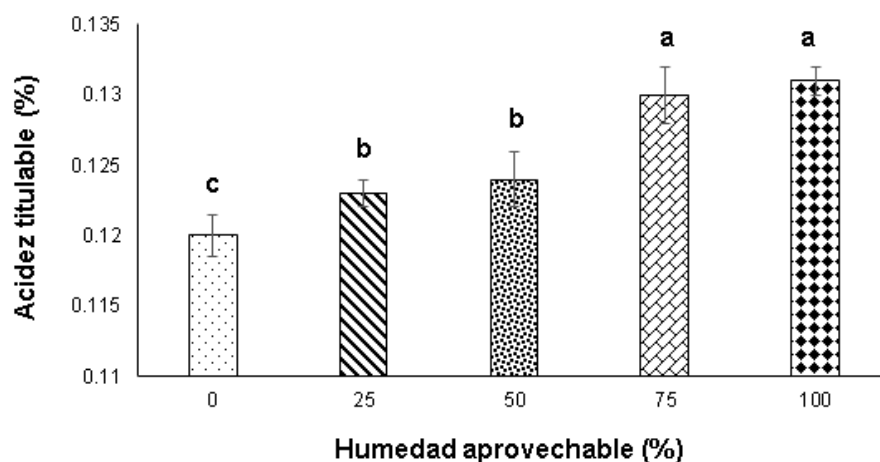


Figura 43. Respuesta de la acidez titulable de cebolla (*Allium cepa* L.) a cinco niveles de humedad aprovechable. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

En relación con el fertilizante, los bulbos de los tratamientos de 200 y 250 Kg N ha⁻¹ registraron más alta acidez (0.128 %) y fueron estadísticamente iguales (Figura 44).

El incremento registrado por estos fue de 6.7% respecto del nivel de 0% de fertilización y 3.5% en relación con 100 Kg N ha⁻¹.

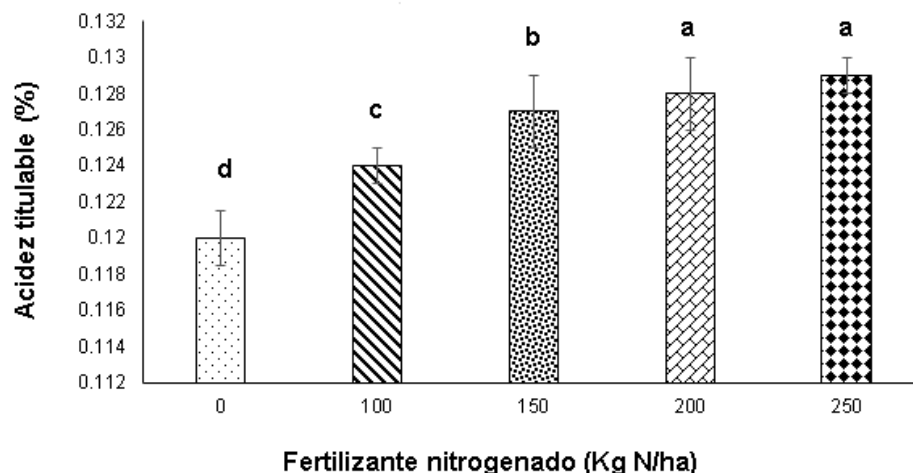


Figura 44. Respuesta de la acidez titulable de cebolla (*Allium cepa* L.) a cinco niveles de fertilizante nitrogenado. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

La interacción de 100% de humedad y 250 Kg N ha⁻¹ obtuvo la más alta acidez al registrar 0.135% (Figura 45).

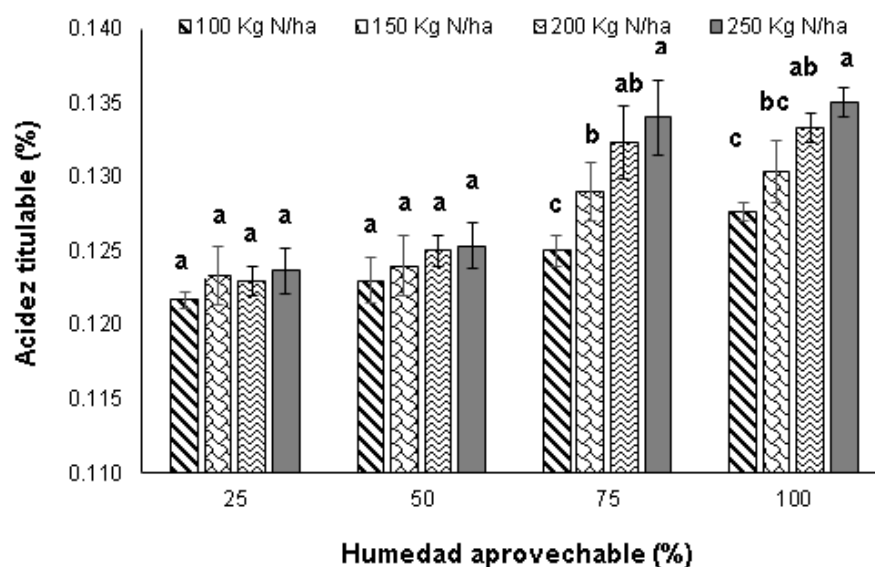


Figura 45. Interacción riego fertilizante del porcentaje de acidez titulable de cebolla (*Allium cepa* L.). Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

Los bulbos fertilizados con 100 Kg N ha⁻¹ (0.124 %) y 150 Kg N ha⁻¹ (0.127 %) presentaron baja acidez respecto de los bulbos de 200 y 250 Kg N ha⁻¹ (0.129 %), los cuales, a su vez, fueron estadísticamente más altos e iguales entre sí. Este comportamiento muestra que la aplicación de 200 Kg N ha⁻¹ maximizó la acidez en los bulbos y registró un incremento de 6.6 % en relación con el tratamiento sin fertilización.

En otras investigaciones en cebolla se reporta que la dosis de 133 Kg N ha⁻¹ maximizó la acidez titulable (Golubkina, 2022); mientras que en otros estudios señalan que la acidez titulable en función de las dosis de 45, 180 y 225 Kg N ha⁻¹ no fueron significativas en los bulbos de cebolla (Gonçalves *et al.* 2019).

A diferencia del pH, se observó un pequeño incremento de la acidez en los tratamientos de 75 y 100% de humedad utilizable, mientras que en la fertilización el mismo incremento se observó a partir del tratamiento de 150 kg N Ha⁻¹. La acidez mide tanto los protones libres como los unidos, a diferencia del pH que mide únicamente los protones libres. Por lo que en el pH se mantuvo constante la cantidad de protones libres en los diferentes tratamientos, en tanto que en la acidez no. Esto puede deberse a que los bulbos de cebolla varían en el contenido de ácidos orgánicos. Los ácidos orgánicos se distribuyen de manera desigual en los bulbos de cebolla, con niveles más altos de malato en las escamas externas y de citrato en los interiores (Golubkina & Caruso, 2020).

En otras investigaciones (Abdelkhalik *et al.* 2019) se reporta que el porcentaje de acidez fue menor en bulbos más favorecidos de riego (0.08%) y mayor en bulbos con mayor déficit hídrico (0.09%), particularmente cuando se aplicó una restricción hídrica severa en la etapa de maduración.

Kimura *et al.* (2014), mencionan que la composición química de la cebolla está determinada por el factor genético, mientras que los cambios en la concentración

de los ácidos orgánicos, de acuerdo con Galdon *et al.* (2008), pueden estar determinados por el medio ambiente y las prácticas agronómicas.

15.3. Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales (°Brix) fueron significativos a las dosis de fertilizante nitrogenado ($p < 0.05$) pero no mostraron respuesta a los niveles de humedad aprovechable ($p > 0.05$) como a la interacción humedad aprovechable-fertilización ($p > 0.05$).

Los °Brix de los bulbos de cebolla no se vieron afectados por los niveles de riego (Figura 46). La media registrada en los tratamientos de 25 a 100 Kg N ha⁻¹ (13.2 °Brix), fue menor que la del tratamiento de 0 Kg N ha⁻¹ (14.4 °Brix).

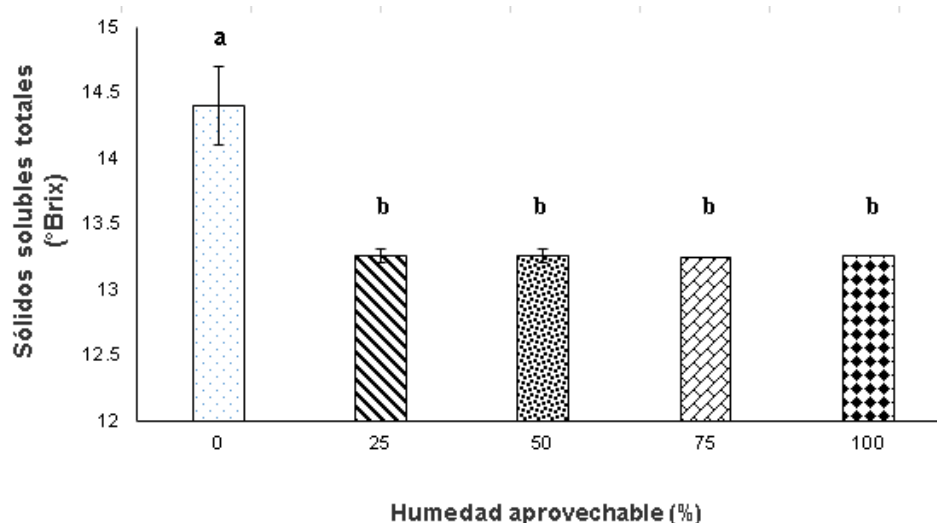


Figura 46. Respuesta de los sólidos solubles totales de cebolla (*Allium cepa* L.) a cinco niveles de humedad aprovechable. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

En respuesta a la fertilización (Figura 47) el nivel máximo de sólidos solubles totales se alcanzó con el nivel de 100 Kg N ha⁻¹, superando a los niveles de 200 y 250 Kg N ha⁻¹ los cuales fueron estadísticamente iguales; sin embargo, la variación entre

los niveles de fertilización fue mínima, ya que estadísticamente el nivel de 150 Kg N ha⁻¹ fue excepto por tratamiento control, significativamente igual que los demás tratamientos.

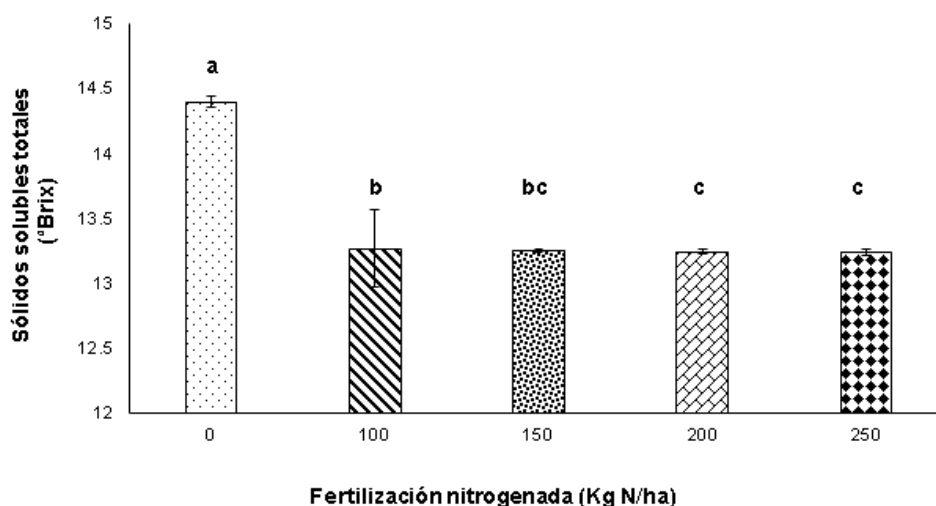


Figura 47. Respuesta de los sólidos solubles totales de cebolla (*Allium cepa* L.) a cinco niveles de fertilizante nitrogenado. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

La interacción riego fertilizante no fue significativa, pero se pudo observar que la interacción más favorable se registró con el nivel de 25% de humedad y 100 Kg N ha⁻¹ (13.3 °Brix).

El contenido de sólidos solubles totales en los tratamientos de 0 a 25% de humedad aprovechable no tuvo efectos significativos. Este comportamiento es consistente con lo mencionado por Orta & Ener (2001) quienes reportaron que el porcentaje de sólidos solubles de los bulbos no fue afectado estadísticamente en los tratamientos bajo las mismas condiciones de riego durante dos años consecutivos. Enciso *et al.* (2009) reportaron que los sólidos solubles en cebolla no se vieron afectados por los niveles de riego al registrar de 7.2 a 7.3 al emplear niveles de 50, 75 y 100%, lo que concuerda con el hecho de que no se observaron diferencias significativas en esta investigación.

En un estudio sobre el efecto del riego deficitario en crecimiento y rendimiento del cultivo y calidad de cebolla, Patel *et al.* (2013) emplearon 0, 20 y 40% niveles de déficit hídrico en 4 etapas del cultivo: 1) inicial (15 días), 2) desarrollo (35 días, 20 y 40% de déficit), 3) formación (70 días, 20 y 40% de déficit) y 4) maduración de bulbo (35 días, 20 y 40% de déficit); incluyendo 3 tratamientos de 0, 20 y 40% de déficit aplicados en todas las etapas de crecimiento. Los resultados mostraron que el efecto de los niveles de humedad en el contenido de sólidos solubles del bulbo de cebolla varió de 11 a 13.9%, pero la diferencia no fue estadísticamente significativa.

De manera similar Klunklin & Savaje, (2017) reportaron que el contenido de sólidos solubles en tomate cultivado en invernadero, no mostró diferencia significativa bajo condiciones de riego abundante y estrés hídrico.

En esta investigación los sólidos aumentaron en el tratamiento de 0% registrando 14.4 °Brix, respecto de 13.2 °Brix de los tratamientos más favorecidos en riego. De la misma forma, de acuerdo con un estudio realizado por Pejic *et al.* (2011) informaron que los valores de sólidos solubles totales fueron mayores en los bulbos del tratamiento sin riego (T0), en comparación con los del tratamiento de riego (Tirr), durante el período de 2005 a 2006 cuyas precipitaciones fueron menores en relación con 2007.

Adicionalmente, en una investigación realizada por Ghodke (2018), reportó que el estrés por sequía impuesto a los 40 ddt en cebolla variedad Bhima Kiran, indujo mayor acumulación de sólidos solubles (13°Brix) que en los tratamientos irrigados (12 °Brix).

Resultados distintos fueron reportados por Fatideh & Asil, (2012) quien registraron alto contenido de sólidos solubles totales al aumentar el riego de 0.50 a 1.10 PE (12.9 a 13.6 °Brix), con una posterior disminución de los mismos a 1.40 PE (13.3°Brix) de riego. De igual manera Kumar *et al.* (2007a), Abd El-Al *et al.* (2010) y Leskovar *et al.* (2012), informaron que mayores niveles de riego aumentaron los

°Brix de bulbos de cebolla. De acuerdo con Zheng *et al.* (2013), los sólidos solubles totales aumentaron a medida que el riego aumentó de 0.4 a 0.8 ETc.

Es posible que la tolerancia del cultivo al déficit hídrico en la presente investigación dependiera de varios factores, entre ellos el genotipo, medio ambiente, mecanismos bioquímicos de absorción de agua/nutrientes, funcionalidad del cloroplasto, translocación de fotoasimilados y homeostasis fuente-sumidero (Ohashil *et al.*, 2000; Toscano *et al.*, 2019).

El contenido más alto de sólidos solubles en respuesta de la fertilización se alcanzó con el tratamiento sin fertilizar 14.4°Brix), seguido del tratamiento de 100 Kg N Ha⁻¹ (13.3 °Brix). La aplicación de dosis más altas de fertilizante registró el mismo efecto en esta variable. Yoo *et al.* (2012) mencionan que el cultivar empleado en esta investigación ("Sierra Blanca") es considerado de tipo dulce y de acuerdo con Chávez *et al.* (2016) contiene 12.9± 0.8°Brix. Es posible que la condición de estrés hídrico y variedad genética del cultivo de maximizaran su dulzor en esta variable.

En otras investigaciones el contenido de sólidos solubles totales en cebollas fertilizadas con dosis de 150 Kg N ha⁻¹ (12.1 °Brix) registró el máximo contenido de sólidos solubles respecto de 50 Kg N ha⁻¹ (11.8 °Brix) (Fatideh & Asil, 2012). De la misma manera en plántulas de cebolla (Agrifound Light Red) regadas con microaspersión, Satyendra *et al.* (2007) menciona que la dosis de 200 kg N/ha registró el máximo contenido de sólidos (13.7 °Brix) mientras que el mínimo se obtuvo con la dosis de 100 Kg N ha⁻¹ (13.2 °Brix). En plántulas de cebollas Cream Gold fertilizadas con dosis de hasta 590 Kg N ha⁻¹ no se afectó significativamente ($P>0.05$) el porcentaje de sólidos solubles durante 1987 a 1988 (10.4 °Brix) y de 1988 a 1989 (10.8 y 10.9 °Brix) (Maier *et al.* 1990).

La interacción riego fertilización no fue significativa en el contenido de sólidos solubles totales al igual que ocurrió en otras investigaciones (Satyendra *et al.* 2007; Fatideh & Asil, 2012);

15.4. Porcentaje de materia seca

La materia seca de cebolla fue significativa en respuesta al riego y a la fertilización ($p<0.05$), como a la interacción de ambos factores ($p<0.05$).

En respuesta al riego (Figura 48), la materia seca de los bulbos aumentó en condiciones de mayor déficit hídrico. El peso seco más alto se registró en el tratamiento control (12.7%), seguido por 25 (6.6%) y 50 (5.0%) % de humedad aprovechable. Los niveles de 75 y 100% de humedad registraron menor materia seca y fueron significativamente iguales. En ambos tratamientos el decremento en esta variable respecto del tratamiento control fue de 71%.

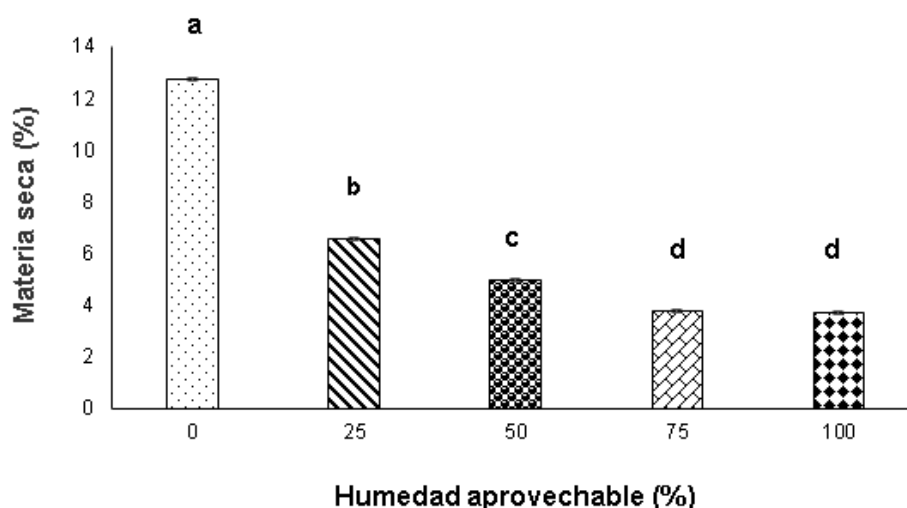


Figura 48. Respuesta de la materia seca de cebolla (*Allium cepa* L.) a cinco niveles de humedad aprovechable. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p<0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

Por efecto de la fertilización (Figura 49), el contenido de materia seca de los bulbos fue más alto que en respuesta al riego. Los tratamientos en condición de déficit de fertilizante, 0 (12.7%), 100 (5.3%) y 150 (5%) kg N/ha registraron mayor peso seco que los de dosis mayores. El decremento de materia seca de los tratamientos de 200 y 250 Kg N ha⁻¹ respecto de 0 Kg N ha⁻¹ fue de 63.1 y 65.3% en cada caso.

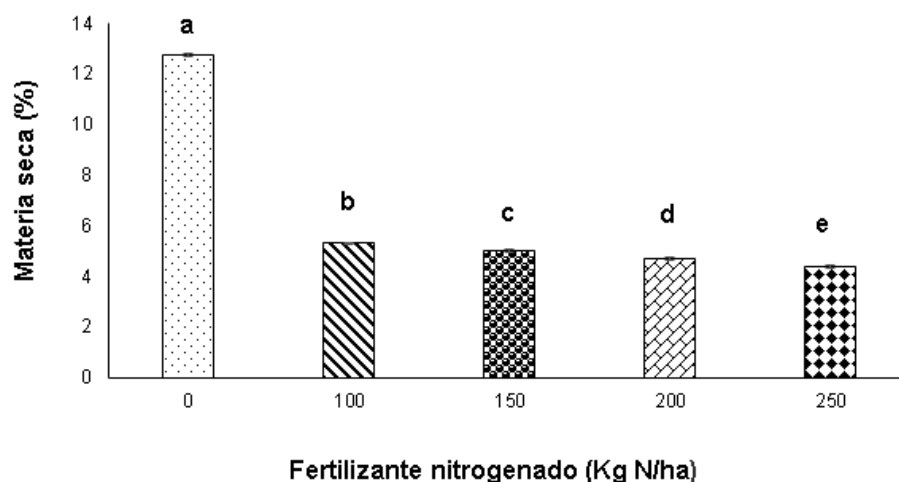


Figura 49. Respuesta de la materia seca de cebolla (*Allium cepa* L.) a cinco niveles de fertilizante nitrogenado. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

La interacción (Figura 50) que presentó mayor porcentaje de materia seca fue la de los tratamientos de 25% de humedad y 100 Kg N ha⁻¹, al registrar 7.4%, seguido por la interacción de 25% de humedad y 150 Kg N ha⁻¹ con 6.9% en esta variable.

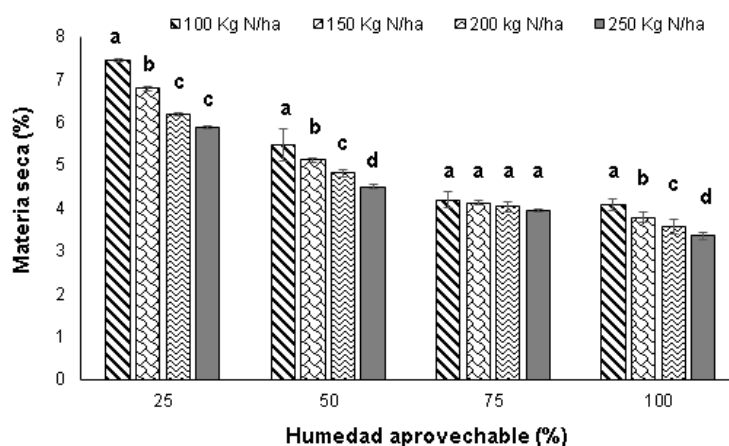


Figura 50. Interacción riego fertilizante en el porcentaje de materia seca de cebolla (*Allium cepa* L.). Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

El efecto de la humedad aprovechable en el contenido de materia seca se expresó en mayor medida en condiciones de mayor estrés, al registrar mayor peso seco en los tratamientos de 0 (12.7 %) y 25 (6.7%)% de humedad aprovechable. De la misma manera, investigaciones similares han reportado aumentos de la materia seca bajo condiciones restringidas de riego. De acuerdo con Fatideh, & Asil (2012) la máxima producción de materia seca se registró con el tratamiento de mínima humedad (0.05 PE) al registrar 17.85% de peso seco. La pérdida de materia seca entre los tratamientos de máximo (1.40 PE) y mínimo riego (0.05 PE) fue de 10.98; menor a la obtenida en nuestra investigación (71%) al comparar el nivel de 0 y máxima humedad aprovechable (100%). Este comportamiento muestra que los bulbos de la presente investigación estuvieron más estresados por la falta de agua que los de Fatideh, & Asil (2012).

De la misma forma en una investigación similar, Abdelkhalik *et al.* (2019) reportaron que el porcentaje de materia seca en cebolla fue mayor en bulbos con mayor déficit hídrico (8.2%) respecto de aquellos más favorecidos de riego (6.2%). Es posible que los bulbos de 0 y 25% de humedad aprovechable se vieran obligadas a madurar antes que aquellos sin estrés (Zhen *et al.* (2013).

En relación con el efecto del fertilizante, el máximo porcentaje de materia seca se registró en el tratamiento control, seguido por el nivel de 100 Kg N ha⁻¹. Los niveles de 150, 200 y 250 Kg N ha⁻¹. redujeron en ese orden el contenido de materia seca. Estos resultados muestran un comportamiento similar a lo reportado por Fatideh & Asil (2012) al emplear aplicaciones de 50 Kg N ha⁻¹, las cuales produjeron más alto porcentaje de materia seca y rendimiento de bulbos respecto de los bulbos tratados con niveles de 100 y 150 Kg N ha⁻¹. De acuerdo con Al-Fraihat (2016) al evaluar la calidad del bulbo de las plantas de cebolla influenciada por la fuente de fertilizante nitrogenado, reportó que la aplicación excesiva de nitrógeno (T4, 30 m³ de composta + 45 Kg N ha⁻¹) aumentó su crecimiento (7.69 cm); pero redujo el porcentaje de materia seca (15.18%) y sólidos solubles totales (13.58) en los bulbos; mientras que la aplicación menos favorecida de nitrógeno (T7, 30 m³ de estiércol de corral)

redujo su diámetro (5.92 cm) pero aumentó el porcentaje de materia seca (17.32%) y sólidos solubles totales (14.36).

De acuerdo con lo anterior, es posible que niveles superiores a los 100 Kg N ha⁻¹ pudieran provocar un crecimiento vegetativo excesivo, madurez retrasada, entre otras variantes (Khokhar, 2019), reduciendo el contenido de materia seca en los bulbos de 150, 200 y 250 Kg N ha⁻¹.

16. Parámetros de calidad bioquímica

16.1. Ácido ascórbico

El contenido de ácido ascórbico fue significativo en respuesta al riego ($p < 0.05$), al fertilizante ($p < 0.05$) y a la interacción ($p < 0.05$) de ambos factores.

El contenido máximo de ácido ascórbico por efecto del riego (Figura 51) se obtuvo a la dosis de 50 % de humedad aprovechable, el cual mostró el mismo efecto a las dosis de 75 y 100 % humedad y un promedio de 14.63 mg/100 g p.f. Los bulbos al nivel de 50% registraron incrementos de ácido ascórbico de 45.6 y 31.5% en relación con los niveles de 0 y 25% respectivamente.

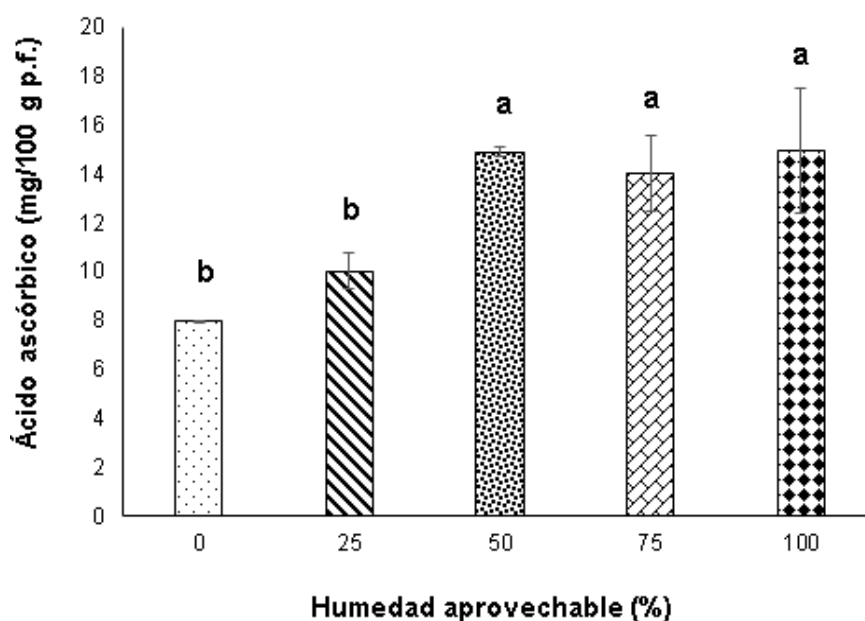


Figura 51. Respuesta del ácido ascórbico de cebolla (*Allium cepa* L.) a cinco niveles de humedad aprovechable. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

En respuesta a la fertilización (Figura 52) el nivel de 200 Kg N ha⁻¹ (15.13 mg/100 g p.f) registró mayor contenido de ácido ascórbico e incrementos de 47.4 y 18.7% sobre los tratamientos de 0 y 100 Kg N ha⁻¹ respectivamente. Los niveles de 150 y 250 Kg N ha⁻¹ fueron ligeramente menores y no mostraron diferencia estadística entre ellos.

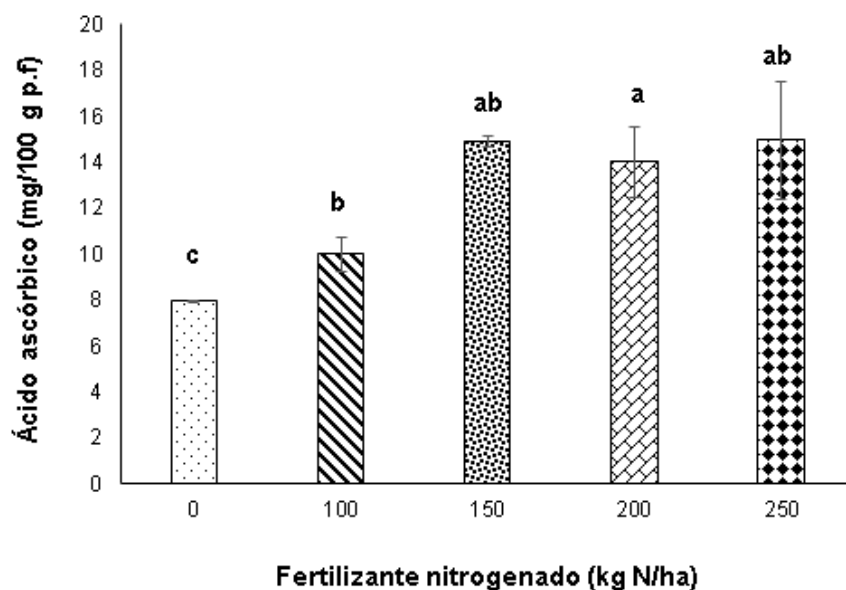


Figura 52. Respuesta del ácido ascórbico de cebolla (*Allium cepa* L.) a cinco niveles de fertilizante nitrogenado. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

La interacción de los tratamientos de 100% de humedad y 100 Kg N ha⁻¹ produjo mayor contenido de ácido ascórbico (22.21 mg/100 g p.f), seguido por 50% de humedad y 200 (21.7 mg/100 g p.f) Kg N ha⁻¹ (Figura 53). En contraparte, la menor cantidad de ácido ascórbico fue registrada con la interacción de 25% de humedad y 150 (4.45 mg/100 g p.f) Kg N ha⁻¹, seguido por 25% de humedad y 100 (5.07 mg/100 g p.f) Kg N ha⁻¹.

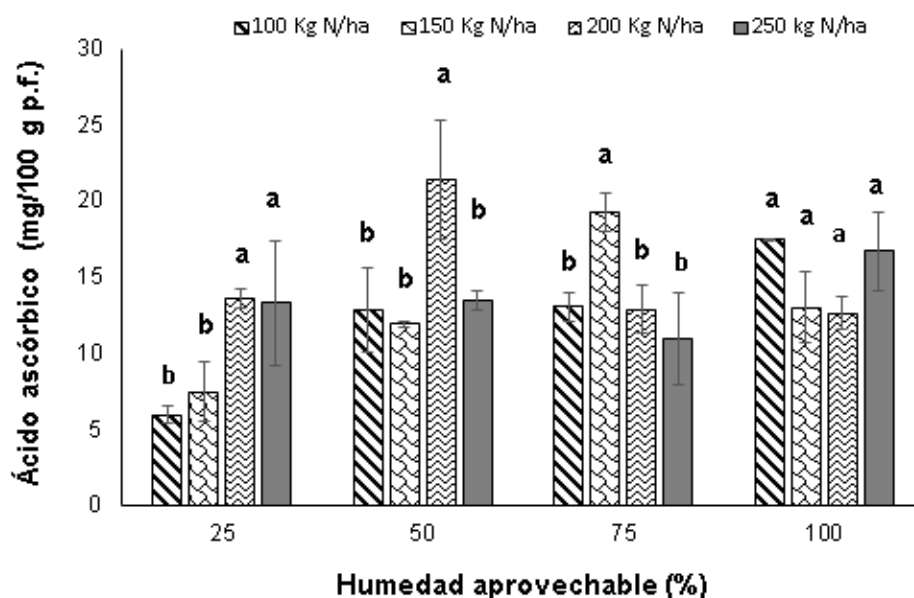


Figura 53. Interacción riego fertilizante en el contenido de ácido ascórbico de cebolla (*Allium cepa* L.). Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

A diferencia de otros compuestos bioactivos, existe menor información acerca del efecto del déficit hídrico sobre la acumulación de ascórbico en cultivos agrícolas, resultando en algunos de los casos inconsistente (Patanè *et al.*, 2011). Por ejemplo, en tomate akri y mobil, Ghorbanli *et al.* (2013) reportaron que el ácido ascórbico aumentó (de 3 a 3.5 mg g⁻¹ p.f) bajo condiciones de estrés por sequía severa y leve; Adicionalmente Favati *et al.* (2009) reportaron aumentos en esta variable a un umbral reducido de 20 y 40 mm.

Sin embargo, se ha reportado que en ajo los niveles de irrigación de 60 (10.6 mg g⁻¹ p.f), 80 (11.7 mg g⁻¹ p.f) y 100 (13.4 mg g⁻¹ p.f) % aumentaron el contenido de ácido ascórbico en los cultivares Balady (10.7 mg g⁻¹ p.f) y Sids-40 (13.0 mg g⁻¹ p.f) (Taha *et al.* 2019); y disminuyeron en chile habanero cultivado bajo déficit de riego (Ahmed *et al.*, 2014). Fang & Xiong (2014) mencionan que esta disminución se debe a la acción del ácido ascórbico sobre las especies reactivas de oxígeno.

El ácido ascórbico en respuesta a la fertilización aumentó a mayores niveles de nitrógeno especialmente en la interacción de 50% de humedad aprovechable y 200 Kg N ha⁻¹ (Figura 53). Este comportamiento fue consistente con lo reportado por Golubkina *et al.* (2022) al registrar alto contenido de ácido ascórbico al emplear dosis de 200 Kg N ha⁻¹ respecto de dosis de 165.6, 133 y 100 Kg N ha⁻¹ y por Wichrowska *et al.* (2017) al emplear dosis de 60 (10.18 mg/100 g p.f), 120 (13.52 mg/100 g p.f), y 180 (15.81 mg/100 g p.f), Kg N ha⁻¹ en el cultivar 'Efekt'.

En contraparte Ncayiyana *et al.* (2017) reportaron que cebollas rojas y blancas no presentaron diferencias significativas en la concentración de ácido ascórbico a las distintas dosis de fertilización (0, 30, 60, 90, 120 y 180 Kg N ha⁻¹). De igual manera El-Mergawi *et al.* (2014) mencionaron que en lechuga y cebolla el contenido de ácido ascórbico no fue afectado por los niveles de 150, 300 y 450 Kg N ha⁻¹. El ácido ascórbico es considerado un antioxidante que induce respuestas relacionadas al crecimiento en las plantas para enfrentar el estrés. El estrés aumenta el estado oxidación de la célula, lo cual induce al incremento en la síntesis de antioxidantes para contrarrestar los efectos de dicha oxidación. Esto puede explicar el aumento del ácido ascórbico en los diferentes tratamientos de la cebolla.

16.2. Ácido pirúvico

Esta característica fue significativa por efecto del fertilizante ($p < 0.05$) pero no por efecto del riego ($p > 0.05$) o de la interacción de ambos factores ($p > 0.05$).

En respuesta a la humedad aprovechable (Figura 54) el promedio obtenido fue de 1.522 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de p.f.

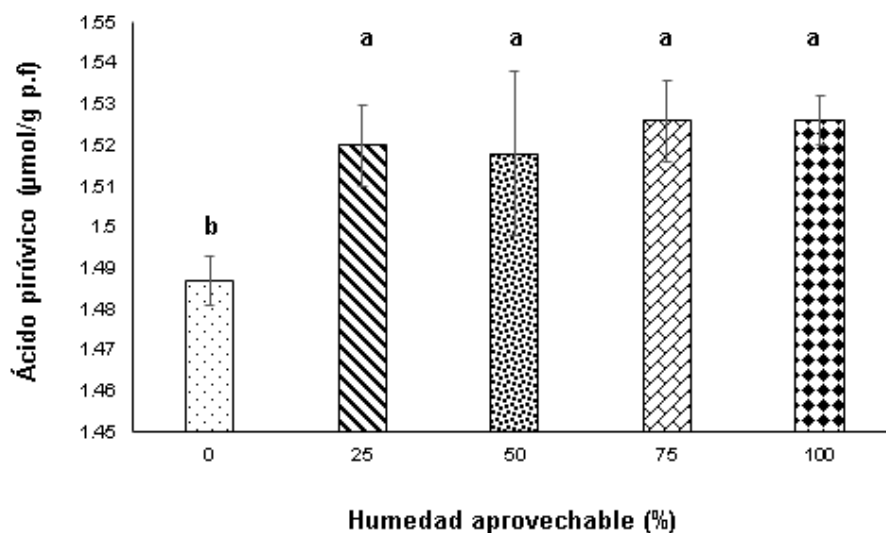


Figura 54. Respuesta del ácido pirúvico de cebolla (*Allium cepa* L.) a cinco niveles de humedad aprovechable. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

En respuesta a la fertilización la pungencia medida en concentración de ácido pirúvico aumentó gradualmente a dosis mayores de fertilización (Figura 55). La cantidad de ácido pirúvico fue más alta a los niveles de 200 y 250 Kg N ha⁻¹ (1.528 μmol g⁻¹ p.f) con un incremento de 2.7% respecto del nivel de 0 Kg N ha⁻¹. A estos niveles le siguieron 100 y 150 Kg N ha⁻¹ (1.511 μmol g⁻¹ p.f) los cuales presentaron un incremento de 1.1% respecto de esta variable.

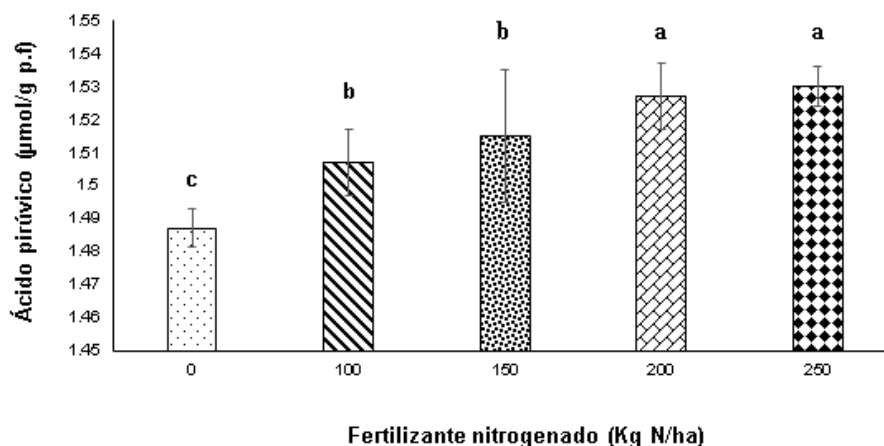


Figura 55. Respuesta del ácido pirúvico de cebolla (*Allium cepa* L.) a cinco niveles de fertilizante nitrogenado. Diferentes niveles indican diferencia significativa ($p < 0.05$). La media $\pm$ la desviación estándar de 3 repeticiones.

La interacción riego fertilizante no fue significativa, sin embargo, el mayor contenido de ácido pirúvico se registró con la interacción de los tratamientos de humedad y fertilización de 25% y 200 Kg N ha⁻¹, así como 25% y 250 Kg N ha⁻¹, al registrar en ambos casos 1.56 $\mu\text{mol g}^{-1}$ p.f.

Los resultados fueron consistentes con los reportados por Gallina *et al.* (2012) para cebolla dulce ($< 3 \mu\text{mol/g}$), y superiores al valor medio ($1.187 \pm 0.171 \mu\text{mol g}^{-1}$ p.f de ácido pirúvico) reportado por Chávez *et al.* (2016) en tejido fresco de cebolla Sierra blanca recién cosechada. Adicionalmente Ghodke *et al.* (2018) no reportaron diferencias estadísticas significativas de ácido pirúvico en la condición de no estrés ($3.3 \mu\text{mol g}^{-1}$ p.f).

De manera similar con esta investigación, Enciso *et al.* (2009) reportaron que la pungencia y los sólidos solubles no se vieron afectados por el nivel de agua de 50, 75 y 100%.

En respuesta a la fertilización el contenido de ácido pirúvico incrementó con dosis mayores de fertilizante especialmente con 200 y 250 Kg N ha⁻¹ (1.528 μmol g⁻¹ p.f) y tuvo un incremento de 2.7% respecto del nivel de 0 Kg N ha⁻¹.

Algunas investigaciones han reportado variación en el contenido de ácido pirúvico por efecto de la dosis como del cultivar. En cebolla roja Abdissa *et al.* (2011) reportaron un incremento de 10.3% de ácido pirúvico en respuesta a la fertilización y aplicación de 138 Kg N ha⁻¹ en cebolla Bombay respecto del tratamiento control. Empleando dosis menores Gonçalves *et al.* (2019) reportaron más alta pungencia a dosis de 92 Kg N ha⁻¹ en los cultivares IPA11 (4.83 – 7.23 μmol g⁻¹ p.f) y 'Rio das Antas' (5.02-7.39 μmol g⁻¹ p.f).

16.3. Fenoles totales

El contenido de fenoles totales respondió a los niveles de humedad y fertilización ($p < 0.05$), pero no a la interacción de ambos factores ($p > 0.05$) (Tabla 9).

Tabla 9. Contenido de fenoles totales y actividad antioxidante (FRAP, DPPH y ABTS) en bulbos de cebolla (*Allium cepa* L.) cultivados a diferentes niveles de humedad aprovechable y fertilización nitrogenada.

Humedad aprovechable (%)	Fenoles totales (mg GAE g⁻¹ p.s)	FRAP (μM TE g⁻¹ p.s)	DPPH (μM TE g⁻¹ p.s)	ABTS (μM TE g⁻¹ p.s)
0	25.40±0.1a	66.78±0.0a	37.91±1.2e	32.89±0.3e
25	17.52±0.7b	50.08±0.1b	42.57±0.1a	63.74±0.2a
50	15.99±0.2c	48.45±0.2c	41.88±0.1b	55.58±0.2b
75	14.78±0.1d	47.57±0.3d	41.47±0.1c	51.97±0.0c
100	11.86±0.7e	43.61±0.3e	38.53±0.4d	49.86±1.4d
Fertilizante nitrogenado kg N ha⁻¹	Fenoles totales (mg GAE g⁻¹ p.s)	FRAP (μM TE g⁻¹ p.s)	DPPH (μM TE g⁻¹ p.s)	ABTS (μM TE g⁻¹ p.s)
0	25.40±0.1a	66.78±0.0a	37.91±1.2c	32.89±0.3d
100	15.16±0.7bc	46.17±0.1d	40.94±0.1b	57.57±0.2a
150	16.09±0.2b	47.61±0.2c	41.35±0.1a	56.38±0.2b
200	14.94±0.1cd	48.32±0.3b	40.87±0.1b	56.71±0.0b
250	13.97±0.7d	47.61±0.3c	41.29±0.4a	50.50±1.4c

Los valores son la media ± desviación estándar de tres repeticiones. Todas las muestras fueron significativas (p<0,0001). Fenoles totales determinados con el método de Folin Ciocalteu (mg GAE g⁻¹); FRAP: poder reductor/antioxidante del hierro; TE: Equivalente de Trolox; DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazilo); ABTS (ácido 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina 6-sulfónico)); P.S: peso seco.

El déficit hídrico aumentó la acumulación de fenoles totales en los niveles de 0 (25.4 mg EAG g⁻¹ p.s) y 25 (17.52 mg EAG g⁻¹ p.s) % de humedad aprovechable (Tabla 9). Los niveles de 50 (15.99 mg EAG g⁻¹ p.s), 75 (14.78 mg EAG g⁻¹ p.s) y 100 (11.863 mg EAG g⁻¹ p.s) % de humedad presentaron en ese orden menor acumulación de fenoles. El contenido de fenoles en el nivel de 100% de humedad disminuyó 53.29 y 32.28 % respecto del nivel de 0 y 25 %.

La respuesta de los fenoles a bajos niveles de fertilización (Tabla 9) fue similar que, por efecto del riego, después del tratamiento control la acumulación de fenoles fue superior a las dosis de 100 y 150 Kg N ha⁻¹ y estadísticamente igual en ambos tratamientos (15.63 mg EAG g⁻¹ p.s), comparado con las dosis de 200 y 250 Kg N ha⁻¹. Las dosis de 200 y 250 Kg N ha⁻¹ presentaron la misma cantidad de fenoles (14.45 mg EAG g⁻¹ p.s) y redujeron 45.01 % el contenido de los mismos respecto del tratamiento control.

La respuesta a la interacción de los tratamientos de riego y fertilizante (Tabla 9) al contenido de fenoles no fue significativa, sin embargo, la mayor (19.34 mg EAG g⁻¹ p.s) cantidad de fenoles se registró con los tratamientos de 25 % de humedad y 150 Kg N ha⁻¹; al compararse con la interacción de los tratamientos de 100 % de humedad y 250 Kg N ha⁻¹ que presentó menor (11.06 mg EAG g⁻¹ p.s) cantidad en esta variable.

Los compuestos fenólicos se observaron disminuidos con los diferentes tratamientos respecto al control tanto en la humedad usable como con el uso de fertilización nitrogenada (Tabla 9). Mientras más se incrementaban las dosis de los tratamientos, se presentó menor cantidad de compuestos fenólicos en los bulbos de cebolla, mostrando una correlación negativa ($r^2 = -0.8227$). Se ha reportado que la proporción de fenoles en cebollas varía de acuerdo con el color. En cebollas rojas y amarillas los principales polifenoles identificados han sido los ácidos gálico y ferúlico, particularmente quercetina como QDG (quercetina-3,4'-diglucosido) y Q4'G (quercetina-4'-glucosido) (Cheng *et al.* 2013). Sin embargo, aunque los fenoles

protegen a las células del daño oxidativo potencial, mejoran la estabilidad de las membranas celulares y mitigan las lesiones por estrés oxidativo (Wakchaure *et al.* 2021), en esta ocasión ese rol lo pudo amortiguar el ácido ascórbico el cual se vio incrementado en los diferentes tratamientos y además tiene funciones similares a los compuestos fenólicos. Por otra parte, este comportamiento pudiera deberse a los factores ambientales o genéticos del cultivo (López-Martínez *et al.* 2014).

16.4. Capacidad antioxidante de cebolla

El potencial de una sustancia o compuesto para inhibir o dificultar la oxidación de un sustrato es conocido como capacidad antioxidante. Existen dos mecanismos principales para realizar esto, por transferencia de electrones (SET) o por transferencia de protones (HAT). El ensayo de poder antioxidante reductor férrico (FRAP) se trata de una reacción de transferencia de electrones (SET), que se basa en la reducción de un complejo amarillo de tripiridiltriazina férrica o Fe^{3+} -TPTZ (2, 4, 6-tripiridils-triazina) al complejo ferroso reducido de color azul Fe^{2+} -TPTZ por un antioxidante en medio ácido (Rubio *et al.* 2016). De acuerdo con los resultados obtenidos, el poder antioxidante reductor en cebolla también se vio disminuido en los diferentes tratamientos con respecto al control (Tabla 9). Esto pudo haber sido influido por la disminución de los compuestos fenólicos, ya que se obtuvo una correlación positiva entre los compuestos fenólicos y el FRAP ($r^2=0.8742$), indicando que la mayoría del poder reductor se debe a este tipo de compuestos. Pulido *et al.* (2000) señala que la quercetina tiene mayor capacidad que el ácido ascórbico para reducir Fe^{3+} en el ensayo FRAP. Las cantidades obtenidas en la presente investigación ($66.8 \mu\text{M TE g}^{-1}$) fueron superiores a lo reportado por Gorinstein *et al.* (2008), en cebollas blancas (15.44 a $23.39 \mu\text{M TE g}^{-1}$).

Por otra parte, DPPH y ABTS son radicales libres sintéticos que nos ayudan a medir la actividad antioxidante conocida como actividad antiradicalaria. Los radicales libres son moléculas inestables debido a que poseen uno o más electrones desapareados lo que puede provocar oxidación de otras moléculas induciendo

daños celulares y muerte celular, de ahí la importancia de su estudio (Molyneux, 2004; Manohar *et al* 2017). En la presente investigación, los extractos de los bulbos de la cebolla presentaron un aumento en la inhibición de ambos radicales en todos los tratamientos estudiados respecto al control (Tabla 9). Incluso en ABTS se duplicó esta actividad en los tratamientos de 25% de humedad usable y en 100 kg N Ha⁻¹. Los compuestos fenólicos y el ácido ascórbico presentaron alta correlación positiva en ambos radicales DPPH ($r^2=0.9124$ y $r^2=0.8843$ respectivamente) y ABTS ($r^2=0.9424$ y $r^2=0.9043$ respectivamente) indicando que ambos grupos de compuestos presentes en el bulbo de la cebolla tienen buena actividad antiradicalaria. Ibrahim *et al.* (2012), mencionan que niveles bajos de fertilización nitrogenada podrían estar relacionados con actividades antioxidantes más altas que aquellas expuestas a condiciones más favorables, debido a la acumulación de compuestos polifenólicos en los tejidos vegetales. Comportamiento que fue comprobado en la actividad antiradicalaria con DPPH y ABTS.

16.5. Efecto eritroprotector

Las membranas celulares formadas por fosfolípidos son ampliamente susceptibles a la oxidación y daño por radicales libres y los eritrocitos no son la excepción. Cuando estas células forman radicales libres en su membrana pueden ocasionar poros y daño celular provocando que se destruya el eritrocito causando lo que se conoce como hemólisis (Del-Toro-Sánchez *et al.*, 2021). El compuesto AAPH (2,2'-azobis(2-metilpropionamidina)) es inductor de radicales peroxilo (ROO•) en la membrana del eritrocito causando peroxidación lipídica y en consecuencia hemólisis. Por lo tanto, en este estudio se sometieron los extractos de los bulbos de la cebolla para inhibir esta hemólisis. Tanto en los tratamientos con humedad aprovechable como en los de fertilización nitrogenada, se observó un aumento en el porcentaje de hemólisis con respecto al control (Figura 56). En los tratamientos a partir de 50% de humedad aprovechable se observó un porcentaje de hemólisis mayor al 90% (Figura 56 A), en tanto que en las condiciones a partir de 100 kg N ha⁻¹ se observaron porcentajes mayores al 85% (Figura 56 B). De acuerdo a las

correlaciones realizadas con el ácido ascórbico y la cantidad de compuestos fenólicos respecto al porcentaje de hemólisis, se observó alta correlación de ambos compuestos ($r^2=0.9362$ y $r^2=0.9643$ respectivamente), indicando que ambos grupos de compuestos contribuyen a la protección del eritrocito contra radicales libres.

Bajo este contexto, en esta técnica es posible atribuir también capacidad antioxidante porque neutraliza a los radicales peroxilo. Generalmente se realiza por el mecanismo del tipo HAT como resultado de la transferencia de un átomo de hidrógeno ($H^{\bullet}$) proveniente de un fenol ($Ar-OH$) o cualquier otro compuesto antioxidante al radical $ROO^{\bullet}$ neutralizando así a este radical y evitando la hemólisis (Apak, *et al.* 2016). Entre los compuestos fenólicos de cebolla (quercetina y sus glucósidos, kaempferol, isorhamnetina, miricetina, ácido gálico, ácido ferúlico) (Zhao *et al.* 2021; Pérez-Gregorio *et al.* 2014), la quercetina tiene alta actividad antiradicalaria y actúa como un potente antioxidante debido a sus propiedades estructurales (Brglez *et al.* 2016). Por lo tanto, los extractos de los bulbos de la cebolla generan compuestos en los diferentes tratamientos que pueden tener propiedades eritroprotectoras.

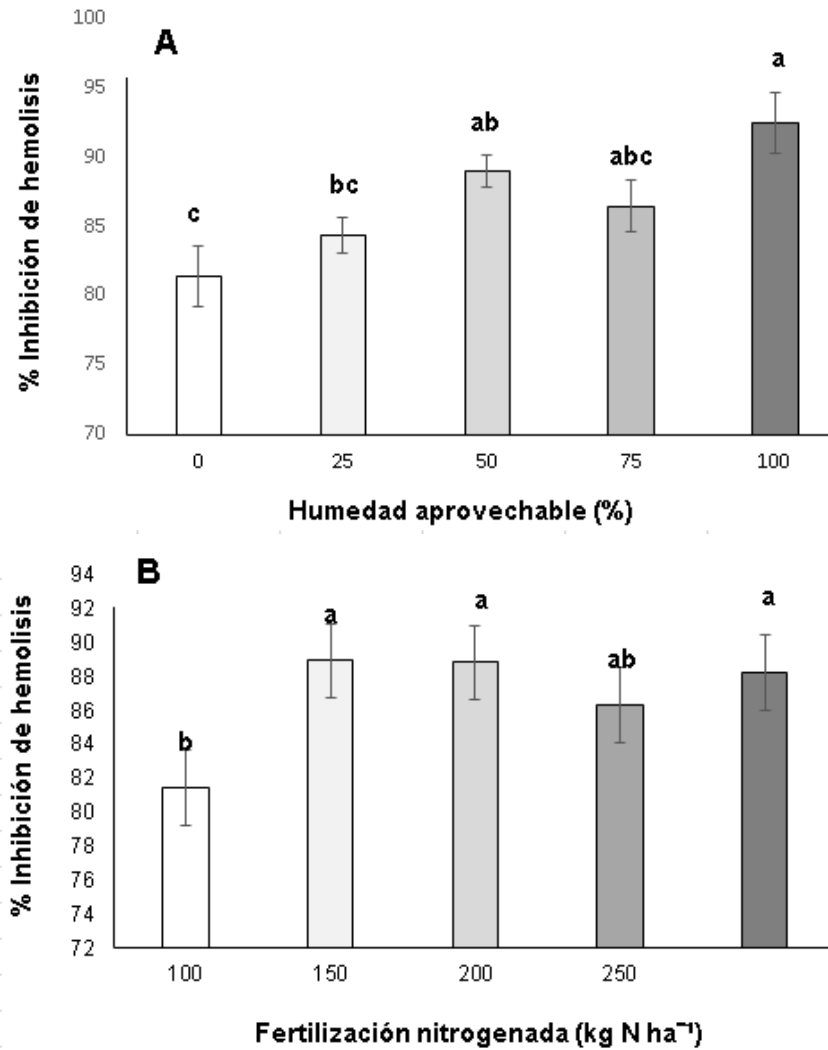


Figura 56. Efecto eritroprotector reportado en porcentaje de inhibición de hemólisis de extractos de bulbos de cebolla de diferente A) humedad aprovechable y B) fertilización nitrogenada.

17. Parámetros de calidad comercial

17.1. Eliminación de una y dos catáfilas

Los resultados mostraron que las variables materia seca, firmeza y saturación de color (C^*) no fueron afectadas ($p > 0.05$) por la interacción de la remoción de catáfilas o capas (C_0 =sin remoción, C_1 =sin una capa y C_2 =sin dos capas) y tiempo de exposición ($p > 0.05$) (0, 10, 20 y 30 días) (Tabla 10). Las variables ángulo hue, luminosidad (L^*), sólidos solubles, acidez titulable y pH, mostraron variación significativa con la interacción del tiempo de exposición ($p < 0.05$) y nivel de remoción de capas ($p < 0.05$). El nivel de variación de los tratamientos no mostró un patrón definido a excepción de la tonalidad de la coloración de la cebolla (hue). El valor de hue se incrementó en los tratamientos con mayor nivel de remoción de capas, manifestándose tonalidades hacia el color verde con la eliminación de dos capas.

17.1.1. pH

El pH se modificó significativamente ($P \leq 0.05$) al combinar nivel de remoción de capas y tiempo de exposición (Tabla 10).

Durante los 30 días de exposición el pH varió de 5.25 a 5.82 entre tratamientos. El pH más bajo se registró en cebollas sin dos capas (C_2) a los 30 días. Los tratamientos que conservaron todas las capas (C_0) y sin una capa (C_1), presentaron un patrón similar de variación de pH durante los días de exposición, con excepción de los valores registrados después de 10 días, donde el valor fue menor en la condición C_0 . El pH en bulbos C_2 se mantuvo sin cambios a los 10 días, posteriormente aumentó 1.7% a los 20 días y al final del período (30 d) se disminuyó 8.11%.

En un estudio realizado por Rodríguez *et al.*, (2008) sobre el contenido de ácidos orgánicos en seis cultivares de cebolla, encontraron valores de pH de 5.47 a 5.67,

similares a los obtenidos en este trabajo, excepto por C2 a los 30 días. Marinozzi *et al.* (2014) y Petropoulos *et al.* (2015) reportaron valores entre 5.40 y 5.90 en diferentes cultivares de cebolla. Sin embargo, se ha reportado que el pH depende del genotipo, tiempo de almacenamiento y temperatura (Petropoulos *et al.*, 2016).

Tabla 10. Análisis de varianza de los parámetros de calidad de cebolla (*Allium cepa* L.) a diferentes niveles de remoción de capas y 30 días de exposición a condiciones ambientales (temperatura de 25±5 °C y humedad relativa de 70±10%).

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio y significancia			
		MS	F	C	L
Remoción de catáfilas (C)	2	5.003 ^{ns}	52.186 ^{ns}	54.682 ^{ns}	18.579 ^{ns}
Días de exposición (D)	3	8.641 ^{ns}	146.249 ^{**}	92.007 ^{**}	77.199 [*]
CxD	6	4.638 ^{ns}	57.482 ^{ns}	38.065 ^{ns}	138.253 ^{***}
Error	171	4.204	33.142	22.366	22.887
Total	182				
CV(%)		20.024	15.895	44.319	5.673

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio y significancia			
		h°	SST	AT	pH
Remoción de catáfilas (C)	2	2216.610 ^{***}	7.385 [*]	0.000 ^{ns}	0.181 ^{***}
Días (D)	3	59.528 ^{ns}	2.769 ^{ns}	0.104 ^{***}	0.731 ^{***}
CxD	6	118.422 [*]	5.446 [*]	0.003 ^{**}	0.112 ^{***}
Error	171	41.731	2.098	0.000	0.014
Total	182				
CV (%)		6.761	16.448	27.103	2.051

GL: Grados de libertad; MS: Materia seca; F: Firmeza (N); C*: Cromaticidad, L*: Luminosidad; h°: Matiz del ángulo; SST: Sólidos solubles totales; AT: Acidez titulable; pH: Potencial de hidrogenación. Ns: Valores no significativos; Diferencias significativas: *p-valor<0.05, **p-valor<0.01 y ***p-valor<0.001.

17.1.2. Acidez titulable

La acidez titulable (AT) se modificó significativamente ($P \leq 0.05$) al combinar el nivel de remoción de capas y el tiempo de exposición (Tabla 10).

La AT de las cebollas durante el período evaluado fue variable entre los diferentes niveles de remoción de capas (Figura 58).

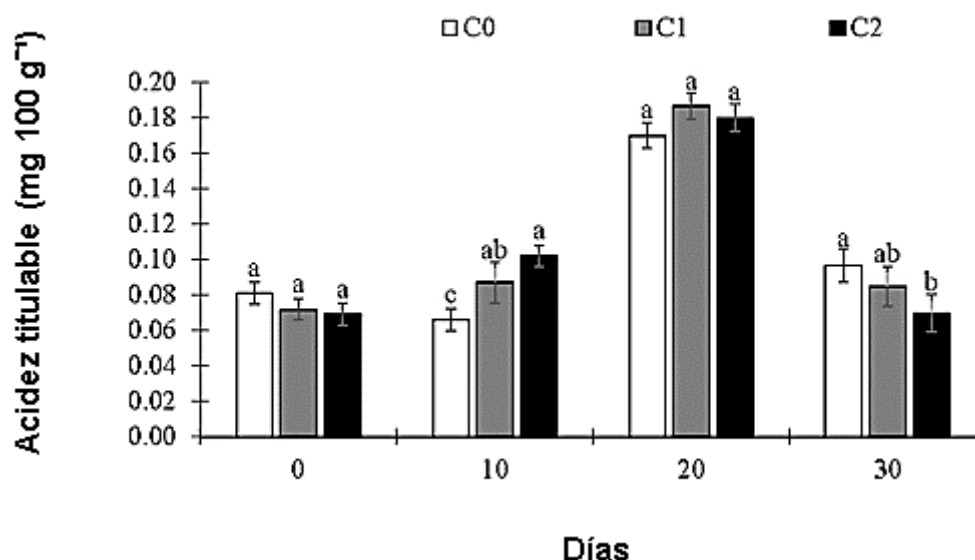


Figura 57. Acidez titulable de cebolla (*Allium cepa* L.) sin remoción de capas (C0), sin una capa (C1) y sin dos capas (C2) durante 0, 10, 20 y 30 días de exposición a condiciones ambientales (temperatura de 25 ± 5 °C y humedad relativa de $70 \pm 10\%$).

Los valores de AT se mantuvieron bajos (0.079) a los 0 y 10 días, posteriormente a los 20 días aumentaron (0.178) y finalmente volvieron a disminuir a los 30 días (0.084). Al comparar los tratamientos, el mayor contraste se presentó a los 10 y 30 días después de colocadas las cebollas. A los 10 días, la AT aumentó con el nivel de remoción de capas, mientras que a los 30 días la relación fue inversa, registrándose menor acidez en la condición de cebolla sin escamas.

Melo *et al.* (2012) reportaron que en cebollas variedad Beta Cristal y Óptima, el contenido de AT disminuyó cuando se almacenó a una temperatura de 5 °C. Este comportamiento también se encontró en cebollas mínimamente procesadas almacenadas a temperatura de 0 y 5 °C (Berno *et al.*, 2014).

Las variaciones estadísticas de AT en los tratamientos se debieron al tiempo de exposición de las capas durante el experimento. Galsurker *et al.*, (2018) señalan diferentes respuestas biológicas de la cebolla según las capas expuestas durante el estrés térmico. Adicionalmente, en el proceso de envejecimiento, las capas expuestas presentan cambios morfológicos y transcripcionales (Galsurker *et al.*, 2017), lo que también contribuye a los cambios observados en los tratamientos aplicados.

17.1.3. Sólidos solubles totales

El contenido de sólidos solubles totales (TSS) fue significativo ($P \leq 0.05$) al combinar nivel de remoción de capas y tiempo de exposición (Tabla 10). La concentración de sólidos solubles varió de 7.69 a 9.51 °Brix (Figura 59). La cebolla que mantuvo todas las capas (C0) mostró la mayor concentración de SST en cada período de exposición.

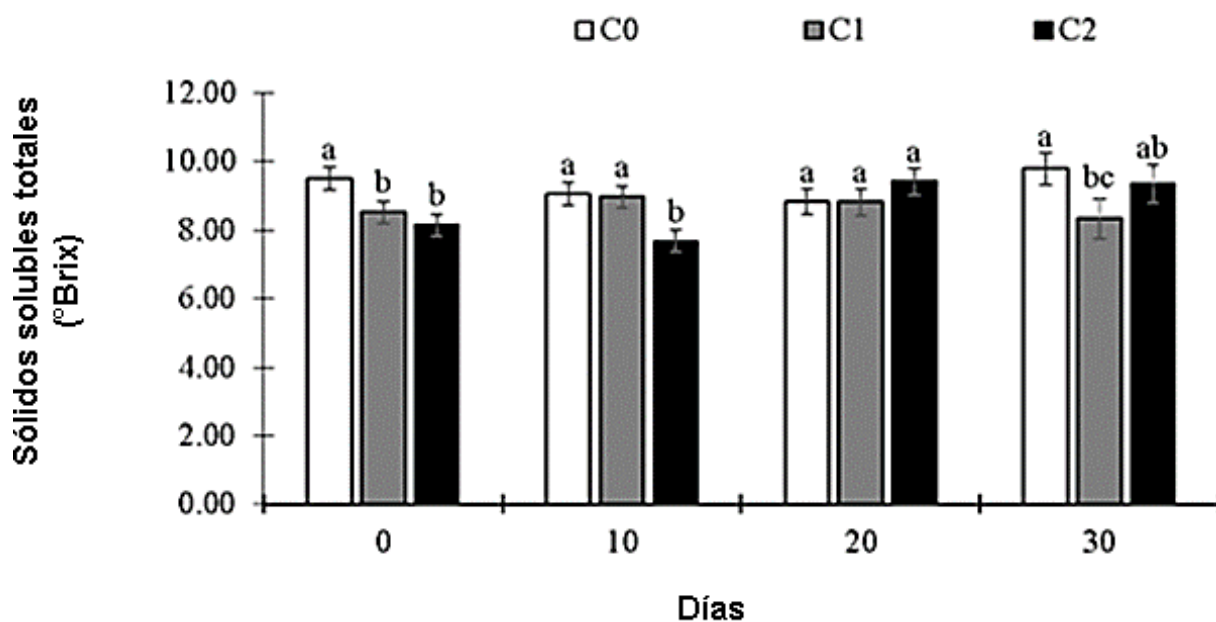


Figura 58. Contenido de sólidos solubles totales en cebolla (*Allium cepa* L.) sin remoción de capas (C0), sin una capa (C1) y sin dos capas (C2) durante 0, 10, 20 y 30 días de exposición a condiciones ambientales (temperatura de 25 ± 5 °C y humedad relativa de $70 \pm 10\%$).

El tratamiento sin capa (C1) presentó un comportamiento más estable (8.33 a 8.98 °Brix) que la cebolla C0 (8.84 a 9.74 °Brix), con valores similares entre ambos en el periodo de 10 y 20 días. Al final del experimento (30 d), la concentración de SST en C1 se redujo 2.29% con relación a los bulbos a 0 días.

Las cebollas sin dos escamas (C2) registraron un menor porcentaje de sólidos en los dos primeros periodos de evaluación, con valores de 8.15 (0 días) y 7.69 (10 días), posteriormente, los valores fueron similares a los bulbos C0 a los 20 y 30 días.

Estudios realizados por Petropoulos *et al.*, (2016) indican que los sólidos solubles de bulbo de diferentes variedades no muestran una tendencia específica después de almacenar cebolla a temperaturas de 5 y 25 °C durante 147 días.

Las variaciones de menor concentración de SST en cebolla sin una (C1) y dos (C2) capas con respecto a sin remoción (C0), se atribuye al aumento de la respiración debido al daño mecánico causado por la remoción de capas. Islam *et al.*, (2019) encontraron que las variedades Bartio, Hylander y Summit aumentaron la tasa de respiración durante el almacenamiento. Mientras que en la variedad Orlando, la tasa de respiración aumentó significativamente en los bulbos sin cuatro capas en comparación con las cebollas que conservaron sus capas, al ser expuestas a temperaturas de 33 °C por un periodo de 8 días (Galsurker *et al.*, 2018). La eliminación de la capa impermeable desarrollada en el curado de las cebollas genera sensibilidad a los factores ambientales y en consecuencia produce una mayor actividad de catabolismo de los sustratos, principalmente carbohidratos y otros fitoquímicos (Rutherford & White, 1982; Mogren *et al.*, 2007 a, b).

17.1.4. Porcentaje de materia seca

Estos resultados muestran que la materia seca no fue afectada ($p < 0.05$) por el nivel de remoción de capas (C0, C1 y C2), el tiempo de exposición (0, 10, 20 y 30 días),

ni la interacción de ambos factores (Tabla 9). Los valores registrados variaron entre 8.72 % y 11.17 % independientemente del nivel de eliminación de capas y el tiempo de exposición (Figura 60).

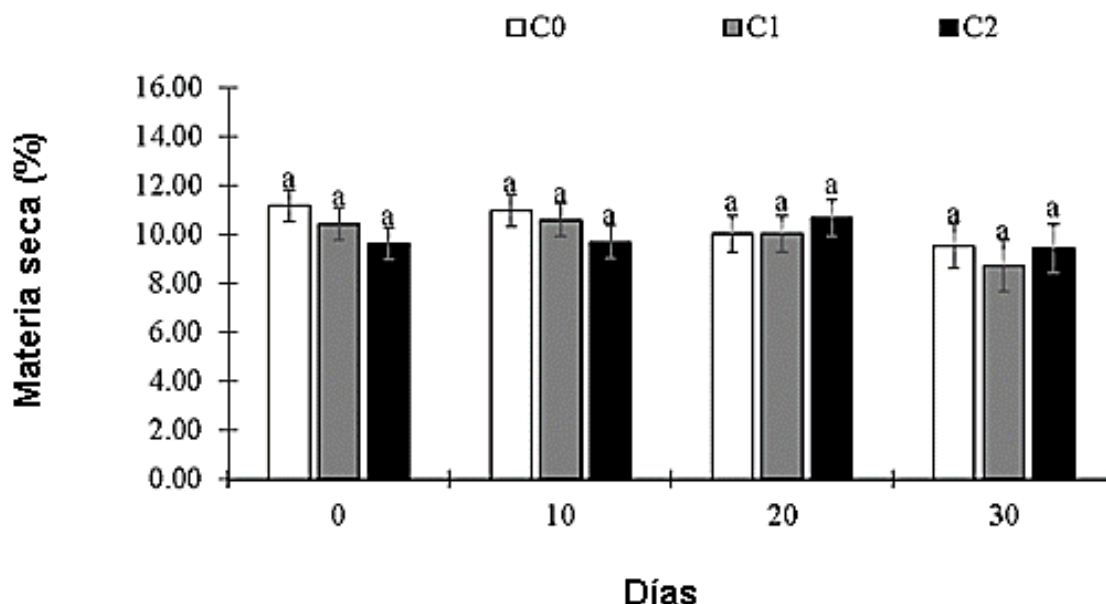


Figura 59. Porcentaje de materia seca de cebolla (*Allium cepa* L.) sin remoción de capas (C0), sin una capa (C1) y sin dos capas (C2) durante 0, 10, 20 y 30 días de exposición a condiciones ambientales (temperatura de 25 ± 5 °C y humedad relativa de $70\pm10\%$).

Se presentan daños mecánicos por remoción de capas externas a los 30 días, sin que ello generara un deterioro significativo en la cebolla, así como un consumo excesivo de reservas que pudieran afectar el porcentaje de materia seca.

En cultivares de cebollas Sunpower con alta capacidad de almacenamiento la disminución de materia seca fue lenta durante el almacenamiento a 22 ± 1 °C y humedad relativa de $70\pm10\%$ (Sharma *et al.*, 2015). Las variaciones en el contenido de materia seca de cebollas almacenadas se asocian principalmente a cambios fisiológicos, como el frenado de latencia y la brotación interna, más que al efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento (Sharma & Lee, 2016). De acuerdo con

Sharma *et al.* (2014), el deterioro posterior al almacenamiento de cebollas Sunpower (variedad de alta capacidad de almacenamiento) comenzó a las cuatro semanas en condiciones ambientales (20 a 25 °C y HR 60–80%), luego de un almacenamiento en frío (0±1 °C y HR 70–75%) por un período de 8 meses.

17.1.5. Color

La cromaticidad en la coloración del bulbo es un atributo que no varió por el nivel de remoción de capas, ni por efecto de la interacción de dicho factor con el tiempo de exposición (Tabla 9). Sin embargo, el valor de Chroma (C^*) fue alterado por el tiempo de exposición ($p < 0.01$) en condiciones ambientales (25±5 °C y HR 70±10%). El valor de croma se mantuvo estable entre 9.3 y 10.7 en los primeros 20 días de exposición, mientras que a los 30 días aumentó significativamente en un 48.98% con respecto al valor registrado a los 20 días (Figura 61).

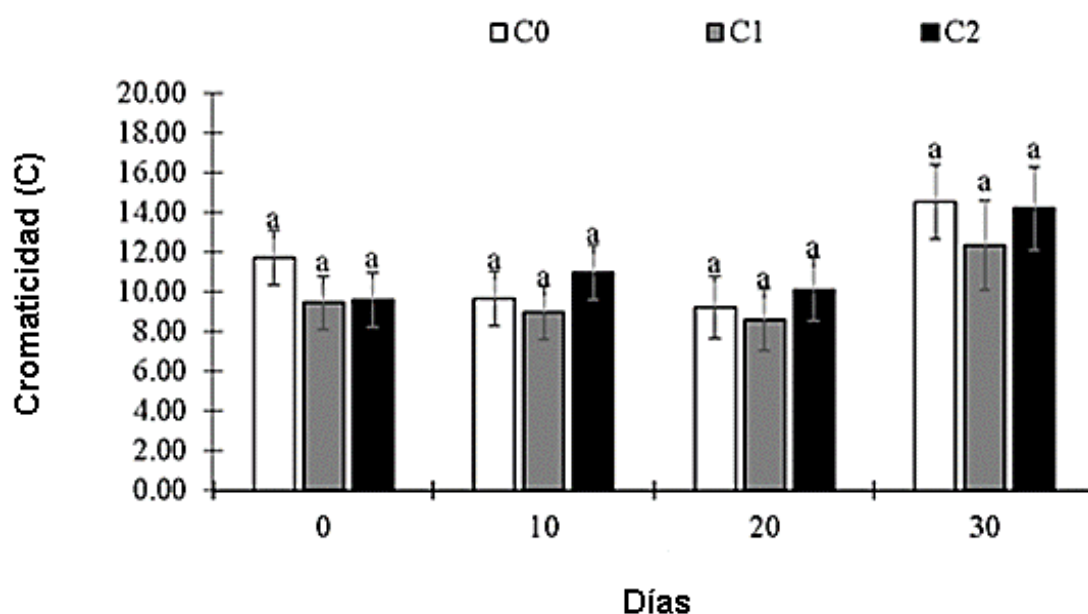


Figura 60. Cromaticidad de la coloración de cebolla (*Allium cepa* L.) sin remoción de capas (C0), sin una capa (C1) y sin dos capas (C2) durante 0, 10, 20 y 30 días de exposición a condiciones ambientales (temperatura de 25±5 °C y humedad relativa de 70±10%).

Este aumento indica que el color de la cebolla cambió de opaco a más saturado. Berno *et al.*, (2014) reportaron un aumento en el valor de croma 15 días después de almacenar cebollas moradas mínimamente procesadas a una temperatura de 0 °C. Sin embargo, el valor de saturación (C*) depende de la variedad (Petropoulos *et al.*, 2015) y la posición de las capas (Galsurker *et al.*, 2017).

La luminosidad expresada en valores de 1 a 100, donde 1 es oscuro y 100 claro, se encontró que los bulbos presentaron valores de 82.41 a 88.15 en un periodo de 30 días (Figura 62).

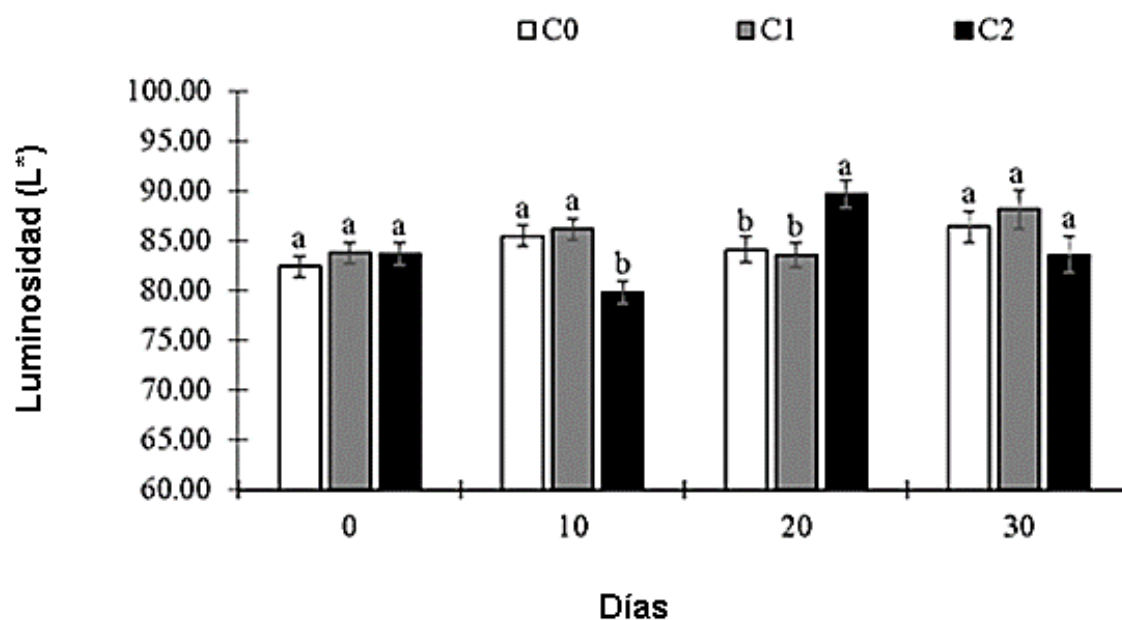


Figura 61. Luminosidad de la coloración de cebolla (*Allium cepa* L.) sin remoción de capas (C0), sin una capa (C1) y sin dos capas (C2) durante 0, 10, 20 y 30 días de exposición a condiciones ambientales (temperatura de 25±5 °C y humedad relativa de 70±10%).

La respuesta de los bulbos con y sin capas no mostró diferencias al inicio (0 días) y al final (30 días) del muestreo. El valor promedio registrado en los tratamientos al inicio del experimento fue de 83.29 y al final se incrementó en 3.30% (L= 86.04). Estas diferencias entre los valores indican que las cebollas son menos brillantes al principio y después de un período de 30 días, se vuelven más brillantes. En los periodos intermedios (10 y 20 días) de exposición, se encontró que la remoción de dos capas (C2) afectó significativamente el brillo en comparación con los demás tratamientos. Esta respuesta se debió a que C2 pasó de una condición hidratada al inicio, a una deshidratación en los siguientes 10 días, dando apariencia de un color blanco oscuro. Posteriormente a los 20 días se incrementó significativamente el brillo en C2 con respecto a los demás tratamientos. La condición de cebolla con capas (C0) y sin capas (C1), aunque registraron menor brillo a los 20 días, los valores fueron similares en los periodos evaluados, lo que indica estabilidad en la claridad del color con respecto a C2.

El brillo de la cebolla está relacionado con la variedad y las condiciones de almacenamiento. Ríos *et al.*, (2018), señalan que la variedad Sierra Blanca registra valores de 93.92 a 98.91, mientras que la variedad Bola Precoce presenta valores de 67.26 (Cardoso *et al.*, 2016). En la presente investigación, los resultados fueron intermedios y variaron de 82.15 a 88.15 entre tratamientos.

La estabilidad del brillo de la cebolla durante el almacenamiento es una tendencia que se ha encontrado al utilizar atmósferas controladas por periodos de hasta 7 meses (Ríos *et al.*, 2018). En otro estudio se encontró que la luminosidad aumenta en las variedades Beta Cristal y Óptima cuando se almacenan a una temperatura de 5 °C y una humedad del 85% (Melo *et al.*, 2012). Mientras que en la variedad Bola Precoce, la luminosidad externa se mantuvo sin diferencia significativa con valores entre 59.86 y 61.88, al almacenarse en silo a temperatura de 30 °C durante 14 días (Rego *et al.*, 2019).

La coloración de la cebolla en base a los valores obtenidos del ángulo de tonalidad fue amarilla (84.31 a 103.39 °h) en los diferentes tratamientos durante los 30 días de exposición (Figura 63).

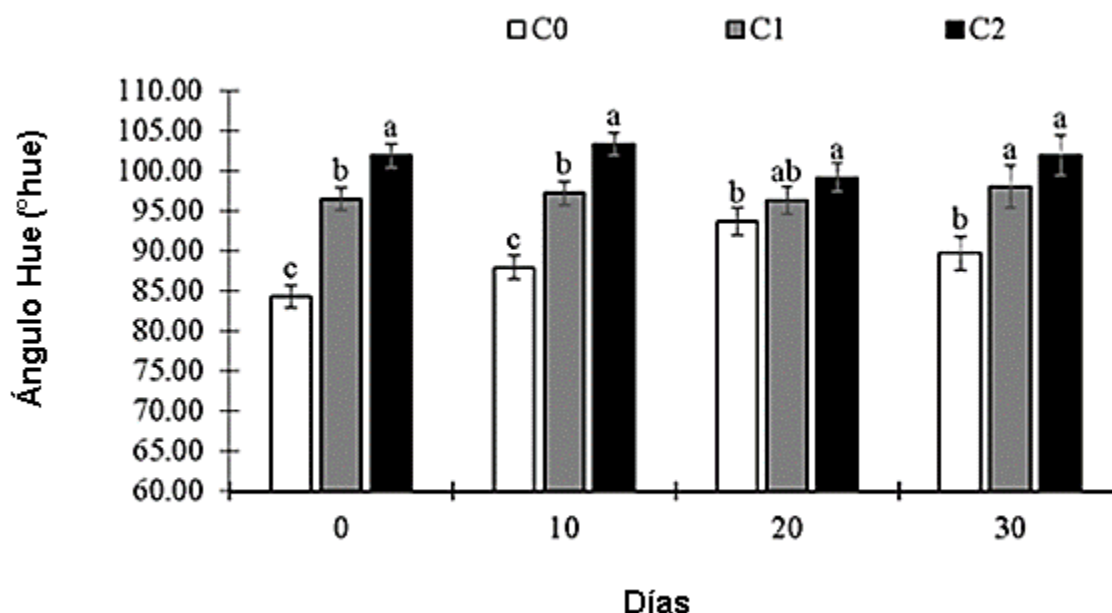


Figura 62. Tonalidad de la coloración de cebolla (*Allium cepa* L.) sin remoción de capas (C0), sin una capa (C1) y sin dos capas (C2) durante 0, 10, 20 y 30 días de exposición a condiciones ambientales (temperatura de 25 ± 5 °C y humedad relativa de $70 \pm 10\%$).

Los valores registrados sin remoción de capas (C0) fueron estadísticamente más bajos (84.31 a 93.65), lo que se interpreta como una tonalidad amarilla con una ligera tonalidad anaranjada. Los bulbos sin una (C1) y dos capas (C2), presentaron valores de tonalidad estadísticamente superiores a C0. La coloración amarilla de los bulbos C1 fue mayor (96.35 a 98.02), en comparación con C2 (99.19 a 101.91), donde la tonalidad amarilla se reduce hacia una tonalidad verde. El patrón de variación entre los tratamientos dentro de cada período evaluado fue consistente, mostrando un incremento en el ángulo de tonalidad con respecto al nivel de remoción de capas.

La presencia de tonos anaranjados amarillentos en cebollas que conservan sus capas, según Sharma & Lee (2016) se debe a la transformación de los glucósidos

de quercetina durante la formación de piel seca. Grzelak *et al.*, (2009) mencionan que el contenido de glucósidos de quercetina en cebolla es alto y se mantiene constante durante el almacenamiento. Sin embargo, dado que se encuentran principalmente en las escamas externas (Lee & Mitchell, 2011), su eliminación total resulta en una pérdida de aproximadamente el 50 % de los polifenoles (Grzelak *et al.*, 2009) al intentar mejorar la apariencia del bulbo. La exposición de bulbos sin capas externas a la luz durante la comercialización genera reverdecimiento debido a que carecen de la capa protectora generada en el curado (Grzelak *et al.*, 2009).

17.1.6. Firmeza

La firmeza de la cebolla fue una característica que no se vio afectada por C0, C1 y C2 ($p>0.05$), al igual que la interacción del nivel de remoción de escamas y los períodos de exposición ($p>0.05$) (Tabla 9). Sin embargo, luego de 10 días de exposición, existe una reducción del 5.77% en los diferentes niveles de eliminación de capas de cebolla (Figura 64).

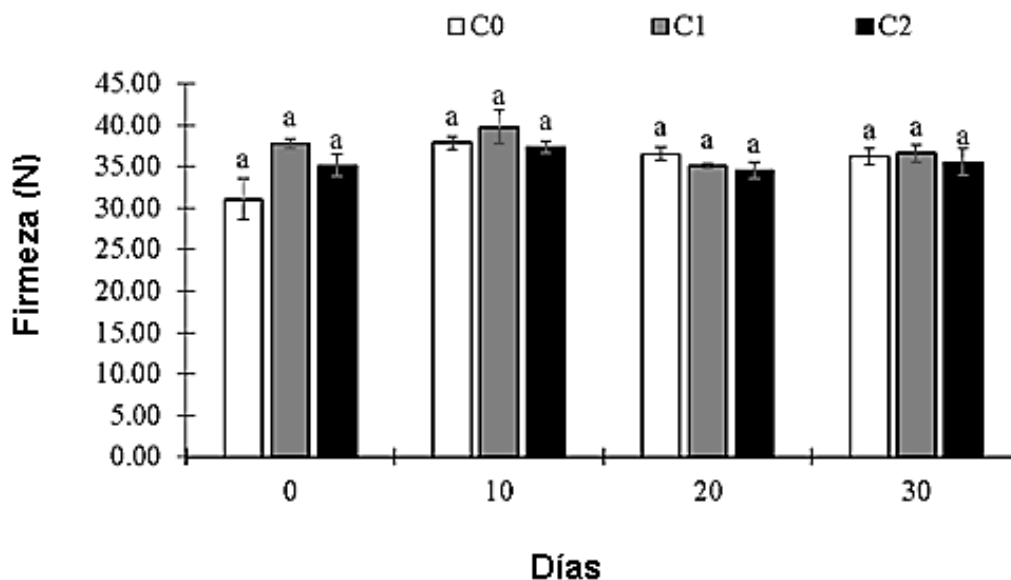


Figura 63. Firmeza de cebolla (*Allium cepa* L.) sin remoción de capas (C0), sin una capa (C1) y sin dos capas (C2) durante 0, 10, 20 y 30 días de exposición a condiciones ambientales (temperatura de 25 ± 5 °C y humedad relativa de $70\pm10\%$).

Se esperaba que la eliminación de capas de cebolla y el período de exposición provocaran la deshidratación de los bulbos y afectaran la firmeza. Sin embargo, estas condiciones no fueron suficientes para alterar este atributo a los 30 días de exposición. Coolong *et al.* (2008) observaron que en algunos cultivares de cebolla la pérdida progresiva de firmeza ocurre luego de cuatro semanas de almacenamiento a 6.6 ± 1.4 °C y HR $82 \pm 4.2\%$, mientras que en otras variedades ocurre luego de ocho semanas. Melo *et al.* (2012) señalan que la variedad Optima aumenta la firmeza del bulbo a medida que aumenta la pérdida de peso durante los 50 días de exposición a una temperatura de 5 °C y una humedad relativa del 60%. Sin embargo, este efecto puede variar dependiendo de la variedad. Islam *et al.* (2019) reportan una pérdida de firmeza a los 60 días después del almacenamiento en diferentes variedades. Se considera que las variaciones en la firmeza de la cebolla son el resultado de la interacción del genotipo, el tiempo de almacenamiento y la temperatura expuesta (Petropoulos *et al.*, 2016).

CONCLUSIONES

El régimen hídrico y dosis de fertilización nitrogenada influyen directamente en el crecimiento y producción del cultivo de la cebolla. En los bulbos, la calidad física, bioquímica y actividad antioxidante también es modificada por los factores de riego y fertilización.

El crecimiento de las plantas de cebolla (TAC y TRC) mantiene una relación directa con el incremento en los niveles de humedad y dosis de fertilizante de manera independiente, así como en la interacción de ambos factores dependiendo del periodo de crecimiento. La TAN, mantiene una relación inversa proporcional al incremento en los niveles de humedad aprovechable y dosis de fertilizante.

La calidad física de los bulbos es favorecida por el incremento en los niveles de humedad y por las dosis de nitrógeno, siendo mayor el efecto por el riego al registrarse mayor proporción de bulbos de tamaños de grande (20%) a colosal (78%).

La calidad bioquímica de los bulbos en contenido de ácido ascórbico, se aumenta por niveles de máximo riego (100% de humedad) y baja fertilización (100 kg N ha⁻¹). El ácido pirúvico aumenta su síntesis en condición de baja humedad (25% de humedad) y fertilización intermedia (200 kg N ha⁻¹). Los fenoles totales también se incrementaron a niveles bajos de humedad (25 % de humedad) y de baja a intermedia fertilización (100, 150 kg N ha⁻¹).

La actividad antioxidante en los bulbos de cebolla se incrementa por condiciones de baja humedad aprovechable y dosis de fertilizante de baja a intermedia en el parámetro FRAP (25% humedad y 100 kg N ha⁻¹), DPPH (25% humedad y 150 kg N ha⁻¹), y ABTS (25% humedad y 100 kg N ha⁻¹). Por el contrario, el AAPH incrementa la expresión a 100% de humedad aprovechable y dosis de nitrógeno 200 kg N ha⁻¹, similar respuesta se obtuvo en el contenido de ácido ascórbico al combinar alto nivel de humedad (100%) y bajo nivel de fertilización (100 kg N ha⁻¹). El rendimiento de bulbo por hectárea se incrementa de manera significativa al combinar el 100% de humedad aprovechable y la máxima dosis de nitrógeno (250 kg de N ha⁻¹).

En la cebolla la eliminación de catáfilas o capas durante el mercadeo no afecta de manera significativas la materia seca, firmeza y saturación de color (C^*) a través del tiempo, a diferencia de las variables de color (ángulo hue, luminosidad L^*), sólidos solubles, acidez titulable y pH, que muestran interacción con el tiempo de exposición de la cebolla. La tonalidad de la coloración de la cebolla (hue), se incrementó en los tratamientos con mayor nivel de remoción de capas, manifestándose tonalidades hacia el color verde.

LITERATURA CITADA

- Abd El-Al FS, Shaheen AM, Rizk FA, Hafez MM (2010). Influence of irrigation intervals and potassium fertilization on productivity and quality of onion plant. *Int J Acad Res* 2(1):110–116
- Abdelkhalik, A., Pascual, B., Najera, I., Baixauli, C., Pascual S. N. (2019). Regulated deficit irrigation as a water-saving strategy for onion cultivation in Mediterranean Conditions. *Agronomy* 9 (9), 521. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090521>.
- Abdissa, Y., Tekalign, T., & Pant, L. M. (2011). Growth, bulb yield and quality of onion (*Allium cepa* L.) as influenced by nitrogen and phosphorus fertilization on vertisol I. growth attributes, biomass production and bulb yield. *African Journal of Agricultural Research*, 6(14), 3252-3258.
- Aboukhadrah, S. H., El-Alsayed, A. W. A. H., Sobhy, L., & Abdelmasieh, W. (2017). Response of onion yield and quality to different planting date, methods and density. *Egyptian Journal of Agronomy*, 39(2), 203-219.
- Agnieszka, S., Robert, P., Del, V. L., Silvano, S., & Gianluca, C. (2017). Interactions among genotype, environment and agronomic practices on production and quality of storage onion (*Allium cepa* L.)—A review. *Horticultural Science*, 44(1), 21-42.
- Ahmed AF, Yu H, Yang X, Jiang W. (2014). Deficit irrigation affects growth, yield, vitamin C content, and irrigation water use efficiency of hot pepper grown in soilless culture. *Hort Sci* 49: 722–728
- Alarcón Z. A., Muñoz A. O., Viltres R. R., Boicet F. T. & González G. G. (2018). Efecto de Enerplant® en el rendimiento y calidad de la cebolla. *Centro Agrícola*, 45(2), 12-20.

- Al-Fraihat, A. H. (2016). Impact of different fertilizer sources on vegetative growth, yield, quality and storability of onion. *International Invention Journal of Agricultural and Soil Science*, 4(1), 1-8.
- Al-Fraihat, A. H., & Ahmad, H. (2009). Effect of different nitrogen and sulphur fertilizer levels on growth, yield and quality of onion (*Allium cepa* L.). *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 5(2), 155-166.
- Almaroai, Y. A., & Eissa, M. A. (2020). Role of marine algae extracts in water stress resistance of onion under semiarid conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(3), 1092-1101.
- Amare, G. (2020). Review on Mineral Nutrition of Onion (). *The Open Biotechnology Journal*, 14(1).
- Andújar I, Recio MC, Giner RM, Cienfuegos Jovellanos E. (2011). Inhibition of ulcerative colitis in mice after oral administration of a polyphenol-enriched cocoa extract is mediated by the inhibition of STAT1 and STAT3 phosphorylation in colon cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59:6474-83.
- Anthon G. E. & Barret M. (2003). Modified method for the determination of pyruvic acid with dinitrophenyl hydrazine in the assessment of onion pungency. *J Sci Food Agric* 83:1210-1213.
- AOAC. (1998). Official Methods of Analysis. 16th ed. Association of official analytical Chemists. Guithersburg, USA.
- Apak, R., Özyürek, M., Güçlü, K., & Çapanoğlu, E. (2016). Antioxidant activity/capacity measurement. 1. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays. *Journal of agricultural and food chemistry*, 64(5), 997-1027.

- Asaduzzaman, M. D., Hasan, M. M., & Moniruzzaman, M. (2012). Quality seed production of onion (*Allium cepa* L.): an integrated approach of bulb size and plant spacing. *J. Agric. Res*, 50(1), 119-128.
- Aske V., Jain P.K., Laland N. and Shiurkar g. (2017). Effect of Micronutrients on Yield, Quality and Storability of Onion cv. Bhima Super. *Trends in Biosciences* 10(6):1354-1358.
- Bagali, A. N., Patil, H. B., Guled, M. B., & Patil, R. V. (2012). Effect of scheduling of drip irrigation on growth, yield and water use efficiency of onion (*Allium cepa* L.). *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 25(1).
- Bahnasawy, A. H., El-Haddad, Z. A., El-Ansary, M. Y., & Sorour, H. M. (2004). Physical and mechanical properties of some Egyptian onion cultivars. *Journal of Food Engineering*, 62(3), 255-261.
- Ballabh K., Rana D.K., Rawat S.S. (2013). Effects of foliar application of micronutrients on growth, yield and quality of onion. *Indian Journal of Horticulture* 70(2):260-265.
- Banerjee, R. (2007). " Hydrogen Atom Transfers in B, Enzymes," R. Banerjee, DG Truhlar, A. Dybala-Defratyka, P. Paneth, in *Hydrogen Transfer Reactions*, edited by JT Hynes, JP Klinman, H.-H. Limbach, and RL Schowen (Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 2007), Vol. 4, pp. 1473-1495.
- Barrios D., J. M., Castellanos R., J. Z., Franco M., O., Cruz R., W., Barrios D., B., & Vázquez H., G. (2014). Relaciones entre nitrógeno foliar, rendimiento de ajo y fertilización nitrogenada bajo diferentes sistemas de riego.
- Behrani, G. Q., Syed, R. N., Abro, M. A., Jiskani, M. M., & Khanzada, M. A. (2015). Pathogenicity and chemical control of basal rot of onion caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae*. *Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences*, 31(1), 60-70.

- Bellacomo, M. C., & Orden, L. (2014). Fertilización nitrogenada en el cultivo de cebolla. 8 § *Fiesta Provincial de la Cebolla. 2014.*
- Benzie I. F. F. & Strain J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*. 239:70-76. DOI: 10.1006/ abio.1996.0292.
- Berno, N. D., Tezotto-Uliana, J. V., dos Santos, D. C. T. and Kluge, R. A. (2014). Storage temperature and type of cut affect the biochemical and physiological characteristics of fresh-cut purple onions. *Postharvest Biology and Technology*. 93: 91-96.
- Bertino N.F.M., Grangeiro L.C., da Costa J.P.N., Costa R.M.C. Lacerda, R.R.A., Gomes V.E.C. (2022). Growth, nutrient accumulation and yield of onion as a function of micronutrient fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 26(2)126-134.
- Bhagyawant, R. G., Gorantiwar, S. D., Dheware, R. M. (2015). Yield and storability of onion (*Allium cepa* L.) as affected by deficit levels of irrigation. *J. Hortic.* 3 (1) <https://doi.org/10.4172/2376-0354.1000169>.
- Biswas P., Das S., Bar A., Maity T.K., Mandal A.R. (2020). Effect of Micronutrient Application on Vegetative Growth and Bulb Yield Attributes of Rabi Onion (*Allium cepa* L.).
- Biswas, S.K., Khair, A., Sarker, P.K., & Alom, M.S. (2010). Yield and storability of onion (*Allium cepa* L.) as affected by varying levels of irrigation. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 35, 247–255. doi:10.3329/bjar. v35i2.5887
- Boateng, C.O.; Schwartz, H.F.; Havey, M.J.; Otto, K. (2014). Evaluation of onion germplasm for resistance to Iris yellow spot (Iris yellow spot virus) and onion thrips, *Thrips tabaci*. *Southwest. Entomol.* 39, 237–260.

- Boots, Agnes W., Marjolein Drent, Vincent C. J. de Boer, Aalt Bast, and Guido R. M. M. Haenen. (2011). "Quercetin Reduces Markers of Oxidative Stress and Inflammation in Sarcoidosis." *Clinical Nutrition*.
- Bose U.S., Bisen A., Sharma R. K. and Dongre R. (2009). Effect of Micro Nutrients Along with Growth Regulator on Growth and Yield of Onion. *International Journal of Applied Agricultural Research* 4(3):267-271.
- Boyhan G.E., Torrance R.L. and Hill C.R. (2007). Effects of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Rates and Fertilizer Sources on Yield and Leaf Nutrient Status of Short-day Onions. *HORTSCIENCE* 42(3):653–660.
- Brewester J. L. (1987). The effect of temperature on the rate of sprout growth and development within stored onion Bulbs. *Ann. App. Biol.*, 111: 463-465.
- Brewster J.L. (2008). *Cebollas y otros vegetales Alliums*, CABI International.
- Brglez Mojzer, E.; Knez Hrncić, M.; Škerget, M.; Knez, Ž.; Bren, U. (2016). Polyphenols: Extraction methods, antioxidative action, bioavailability and anticarcinogenic effects. *Molecules* 21, 901.
- Bundinienė, O.; Zalatorius, V.; Viškelis, P.; Cigienė, A.; Mažeika, R. (2009). Influence of calcium and magnesium solution on onion yield and quality. *Sodininkystė ir Daržininkystė* 28(4):117-129.
- Camps, D. (2010). *Bioquímica del estrés oxidativo*. Lulu. com.
- Cardoso, D.S.C.P., Pereira, A.M., Correia, T.D. and Finger, F.L. (2016). Drying time and post-harvest quality of onion bulbs submitted to artificial curing. *Revista Ceres*. 63: 822-828.
- Casierra P. F. & Vargas P. N. J. (2015). Análisis del crecimiento en plantas de cebolla de bulbo.

- Cely Reyes, G. E. (2010). *Determinación de parámetros de riego para el cultivo cebolla de bulbo en el Distrito de riego del Alto Chicamocha* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- Chandrashekar, S.Y. (2014). Physio-chemical changes during postharvest handling of onion (*Allium cepa* L.)-A review. *Agricultural Reviews*. 35: 225-232.
- Chatterjee C., Gupta Jyoti, Khurana Neena. (1999). Effect of sulphur deficiency on onion metabolism. *Indian Journal of Horticulture* 56(2):155-158.
- Chávez M. C., Vega G. M. O., Guevara A. A., Sánchez E., Alvarado G. M. & Flores C. M. A. (2016). EFFECT OF PROLONGED STORAGE IN CONTROLLED ATMOSPHERES ON THE CONSERVATION OF THE ONION (*ALLIUM CEPA* L) QUALITY. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 842-852.
- Cheng, A., Chen, X., Jin, Q., Wang, W., Shi, J., & Liu, Y. (2013). Comparison of phenolic content and antioxidant capacity of red and yellow onions. *Czech Journal of Food Sciences*, 31(5).
- Coca, A., Carranza, C. E., Miranda, D., & Rodríguez, M. H. (2012). Efecto del NaCl sobre los parámetros de crecimiento, rendimiento y calidad de la cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) bajo condiciones controladas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(2), 196-212.
- Colina C. C., González P. D., De Ancos, B., & Sánchez M. C. (2017). Dietary onion ameliorates antioxidant defence, inflammatory response, and cardiovascular risk biomarkers in hypercholesterolemic Wistar rats. *Journal of Functional Foods*, 36, 300–309. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2017.07.014>.
- Coolong, T.W.; Randle, W.M.; Wicker, L. (2008). Structural and chemical differences in the cell wall regions in relation to scale firmness of three onions (*Allium cepa* L.) selections at harvest and during storage. *J. Sci. Food Agric.* 88, 1277–1286.

- Córcoles, J. I., Ortega, J. F., Hernández, D., & Moreno, M. A. (2013). Estimation of leaf area index in onion (*Allium cepa* L.) using an unmanned aerial vehicle. *Biosystems engineering*, 115(1), 31-42.
- Corpas, F. J., & Barroso, J. B. (2013). Nitro-oxidative stress vs oxidative or nitrosative stress in higher plants. *New Phytologist*, 199(3), 633-635.
- Del Rio, L., Corpas, F., & Barroso, J. (2004). Nitric oxide and nitric oxide synthase activity in plants. *Phytochemistry*, 65, 783-792.
- Del-Toro-Sánchez C.L.; Rodríguez-Félix F., Cinco-Moroyoqui F.J., Juárez J., Ruiz-Cruz S., Wong-Corral F.J., Borboa-Flores J., Castro-Enríquez D.D., Barreras-Urbina C.G., Tapia-Hernández J.A. (2021). Recovery of phytochemical from three safflowers (*Carthamus tinctorius* L.) by-products: Antioxidant properties, protective effect of human erythrocytes and profile by UPLC-DAD-MS. *Journal of Food Processing and Preservation*. 45(9): e15765: 1-16. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15765>.
- Derajew, A. M., Fikreyohannes, G. M., & Kebede, W. (2017). Farmyard manure and intra-row spacing on yield and yield components of Adama Red onion (*Allium cepa* L.) cultivar under irrigation in Gewane District, Afar Region, Ethiopia. *Journal of horticulture and forestry*, 9(5), 40-48.
- Deshpande, A. N.; Dhage, A. R.; Bhalerao, V. P.; Bansal, S. K. (2013). Potassium nutrition for improving yield and quality of onion. *Indian Journal of Fertilisers* 9(10):14-21
- Di Benedetto, A., & Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 42(3), 258-282.
- Di Miceli, G., Farruggia, D., Iacuzzi, N., Bacarella, S., La Bella, S., & Consentino, B. (2022). Planting Date and Different N-Fertilization Rates Differently

Modulate Agronomic and Economic Traits of a Sicilian Onion Landrace and of a Commercial Variety. *Horticulturae*, 8(5), 454.

Dogliotti, S., Colnago, P., Galván, G. & Aldabe, L. (2011). Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo de los principales cultivos hortícolas. Tomate (*Lycopersicum sculentum*), papa (*Solanun tuberosum*) y cebolla (*Allium cepa*). Uruguay: Facultad de Agronomía, Universidad de la República. 85 p.

Doorenbos J, Kassam AH (1979) Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33, Rome, Italy, p. 193.

Downes, K., Chope, G. A., & Terry, L. A. (2009). Effect of curing at different temperatures on biochemical composition of onion (*Allium cepa* L.) skin from three freshly cured and cold stored UK-grown onion cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, 54(2), 80–86

Ebrahimi-Mameghani, M., Saghafi-Asl, M., Niafar, M., Asghari-Jafarabadi, M., & Mesgari-Abbasi, M. (2018). Raw red onion intake and insulin resistance markers in overweight or obese patients with polycystic ovary syndrome: a randomized controlled-clinical trial. *Progress in Nutrition*, 20(1- S), 199–208. <https://doi.org/10.23751/PN.V20I1- S.6109>.

Eissa, M. A., & Roshdy, N. M. K. (2018). Nitrogen fertilization: effect on Cd-phytoextraction by the halophytic plant quail bush [*Atriplex lentiformis* (Torr.) S. Wats]. *South African journal of botany*, 115, 126-131.

Eldeen, I. M. S., Seow, E. M., Abdullah, R., Sulaiman, S. F. (2011). *In vitro* antibacterial, antioxidant, total phenolic contents and anti-HIV-1 reverse transcriptase activities of extracts of seven *Phyllanthus* sp. *South African Journal of Botany*. 77: 75-79.

El-Mergawi R. A., Al-Redhaiman K. N. & Abouzienna H. F. (2014). Comparison of Antioxidant Activity and Antioxidant Components in Lettuce, Onion and

Tomato Obtained with Different Levels and Forms of Nitrogen Fertilization. Journal of Agricultural Science and Technology. A.4(7A).

Enchalew, B., Gebre, S. L., Rabo, M., Hindaye, B., Kedir, M., Musa, Y., & Shafi, A. (2016). Effect of deficit irrigation on water productivity of onion (*Allium cepal.*) under drip irrigation. *Irrigat Drainage Sys Eng*, 5(172), 2.

Enciso G. C. R., Vera O. P. A., Santacruz T. A. R., González V. J. D. (2019). Guía técnica cultivo de cebolla. San Lorenzo, Paraguay.

Enciso, J., Wiedenfeld, B., Jifon, J., & Nelson, S. (2009). Onion yield and quality response to two irrigation scheduling strategies. *Scientia horticulturae*, 120(3), 301-305

Enciso, J., Wiedenfeld, B., Jifon, J., & Nelson, S. (2009). Onion yield and quality response to two irrigation scheduling strategies. *Scientia horticulturae*, 120(3), 301-305.

Eshel, D.; Tepper-Bamnlker, P.; Vinokur, Y.; Saad, I.; Zutahy, Y. (2014). Fast-curing: a method to improve postharvest quality of onions in hot climate harvest. *Postharvest Biol. Tec.* 88, 34- 39.

Estrada P. W., Lescay B. E., Álvarez F. A. & Maceo R. Y. C. (2015). Niveles de humedad en el suelo en la producción de bulbos de cebolla. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1), 112-117.

Etana, M. B., Mohammed, A., & Nebiyu, A. (2019). Effects of Different Level of Nitrogen Fertilizer Application on Growth, Yield, Quality and Storage Life of Onion (*Allium cepa* L.) at Jimma, South Western Ethiopia. *Journal of Natural Sciences Research*, 9(10).

Fang Y. & Xiong L. (2014). General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cell Mol Life Sci* 1–17.

FAO (2013). Crop water information: Onion retrieved from http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_onions.html.

FAO (2019). Crop Production. data: <http://www.faostat.fao.org>. SIAP-SAGARPA, 2015

Fatideh, M. M., & Asil, M. H. (2012). Onion yield, quality and storability as affected with different soil moisture and nitrogen regimes. *South Western J. Hortic. Biol. Environ*, 3, 145-165.

Favati F, Lovelli S, Galgano F, Miccolis V, Di Tommaso T, Candido V (2009) Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling. *Sci Hortic-Amsterdam* 122: 562–571.

Fenn L.B., Taylor R.M., Binzel M.L., Burk C.M. (1991). Calcium Stimulation of Ammonium Absorption in Onion. *Agronomy Journal* 83(5):840-843.

Fernández, F. (1982). *Etapas de desarrollo de la planta de frijol común: guía de estudio*. CIAT.

Fohse D, Claassen N. and Jungk A. (1988). Phosphorus efficiency of plants. *Plant and Soil* 110, 101-109.

Fouda, K. F. (2016). Response of onion yield and Its chemical content to NPK fertilization and foliar application of some micronutrients. *Egyptian Journal of Soil Science*, 56(3), 549-561.

Fredotović, Ž., Soldo, B., Šprung, M., Marijanović, Z., Jerković, I., & Puizina, J. (2020). Comparison of Organosulfur and Amino Acid Composition between Triploid Onion *Allium cornutum* Clementi ex Visiani, 1842, and Common

Onion *Allium cepa* L., and Evidences for Antiproliferative Activity of Their Extracts. *Plants*, 9(1), 1–16. <https://doi.org/10.3390/PLANTS9010098>.

Fredotović, Ž., Šprung, M., Soldo, B., Ljubenkov, I., Budić-Leto, I., Bilušić, T., Čikeš-Čulić, V., & Puizina, J. (2017). Chemical Composition and Biological Activity of *Allium cepa* L. and *Allium × cornutum* (Clementi ex Visiani 1842) Methanolic Extracts. *Molecules* 2017, Vol. 22, Page 448, 22(3), 1–13. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES22030448>.

Fujiwara, Y., Horlad, H., Shiraishi, D., Tsuboki, J., Kudo, R., Ikeda, T., Nohara, T., Takeya, M., & Komohara, Y. (2016). Onionin A, a sulfur containing compound isolated from onions, impairs tumor development and lung metastasis by inhibiting the protumoral and immunosuppressive functions of myeloid cells. *Molecular Nutrition & Food Research*, 60(11), 2467–2480. <https://doi.org/10.1002/MNFR.201500995>

Galdon, B. R., Rodriguez, C. T., Rodriguez, E. R., Ronero, C. D. (2008). Organic acid contents in onion cultivars (*Allium cepa* L.). *J. Agric. Food Chem.* 56 (15), 6512–6519.

Gallina, P. M., Cabassi, G., Maggioni, A., Natalini, A., Ferrante, A. (2012). Changes in the pyruvic acid content correlates with phenotype traits in onion clones. *Austral. J. Crop. Sci.* 6 (1), 36–40.

Galsurker, O., Doron-Faigenboim, A., Teper-Bamnolker, P., Daus, A., Fridman, Y., Lers, A. and Eshel, D. (2017). Cellular and molecular changes associated with onion skin formation suggest involvement of programmed cell death. *Front. Plant Sciences*. 7: 2031.

Galsurker, O., Doron-Faigenboim, A., Teper-Bamnolker, P., Daus, A., Lers, A., & Eshel, D. (2018). Differential response to heat stress in outer and inner onion bulb scales. *Journal of experimental botany*, 69(16), 4047–4064.

- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gateri, M. W. (2019). *Onion (Allium cepa L.) Growth, Yield And Storability As Influenced By Rate And Time Of Nitrogen Application* (Doctoral dissertation, University of Nairobi).
- Gateri, M.W., Nyankanga, R., Ambuko, J., & Muriuki, A. W. (2018). Growth, yield and quality of onion (*Allium cepa* L.) as influenced by nitrogen and time of topdressing. *International Journal of Plant & Soil Science*, 23, 1– 13. doi:10.9734/IJPSS/2018/42135.
- Gawlik-Dziki, Urszula, Michał Świeca, Danuta Sugier & Joanna Cichocka. (2011). "Comparison of in Vitro Lipoxygenase, Xanthine Oxidase Inhibitory and Antioxidant Activity of Arnica Montana and Arnica Chamissonis Tinctures." *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*.
- Gebeyehu, B., Shumiye, T., & Awoke, T. (2021). Review on: The Effect NPS Fertilizer Rate on Phenology, Growth and Yield Parameters of Food Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Agriculture, Forestry and Fisheries*, 10(1), 36.
- Gebretsadik, K. & Dechassa, N. (2018). Response of Onion (*Allium cepa* L.) to nitrogen fertilizer rates and spacing under rain fed condition at Tahtay Koraro. Ethiopia. *Sci Rep*. 8 (9495), 1–8.
- Gessesew, W. S., Woldetsadik, K., & Mohammed, W. (2015). Growth parameters of onion (*Allium cepa* L. var. cepa) as affected by nitrogen fertilizer rates and intra-row spacing under irrigation in Gode, South-Eastern Ethiopia. *Agriculture, Forestry and Fisheries*, 4(6), 239-245.
- Ghodke, P.H., Andhale, P.S., Gijare, U.M., Thangasamy, A., Khade, Y.P., Majan, V., Singh, M. (2018). Physiological and biochemical responses in onion crop to

drought stress. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 7 (1), 2054–2062.
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.701.247>.

Ghorbanli, M., Gafarabad, M., Amirkian, T. A. N. N. A. Z., & ALLAHVERDI, M. B. (2013). Investigation of proline, total protein, chlorophyll, ascorbate and dehydroascorbate changes under drought stress in Akria and Mobil tomato cultivars.

Gill SS, Tuteja N (2010) Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiol Biochem* 48:909–930.

Golubkina, N., & Caruso, G. (2020). Onion. In *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables* (pp. 73-87). Academic Press.

Golubkina, N., Amalfitano, C., Sekara, A., Tallarita, A., Pokluda, R., Stoleru, V., ... & Caruso, G. (2022). Yield and bulb quality of storage onion cultivars as affected by farming system and nitrogen dose. *Scientia Horticulturae*, 293, 110751.

Gonçalves, F. D. C., Grangeiro, L. C., de Sousa, V. D. F., Santos, J. P. D., Souza, F. I. D., & da Silva, L. R. (2019). Yield and quality of densely cultivated onion cultivars as function of nitrogen fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23, 847-851.

Gorinstein, S., Leontowicz, H., Leontowicz, M., Namiesnik, J., Najman, K., Drzewiecki, J., ... & Trakhtenberg, S. (2008). Comparison of the main bioactive compounds and antioxidant activities in garlic and white and red onions after treatment protocols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(12), 4418-4426.

Gorreapti, K., Thangasamy, A., Bhagat, Y., & Murkute, A. A. (2017). Curing of onion: a review. *Indian Horticulture Journal*, 7(1), 8-14.

- Goyal R. Uike V., Verma H. (2017). Effect of foliar application of micronutrients on growth and yield of onion (*Allium cepa* L.). *Agricultural Science Digest* 37(2):160-162.
- Grzelak, K., Milala, J., Król, B., Adamicki, F., & Badełek, E. (2009). Content of quercetin glycosides and fructooligosaccharides in onion stored in a cold room. *European Food Research and Technology*, 228(6), 1001–1007.
- Gülcin, I. (2012). Antioxidant activity of food constituents: an overview. *Archives of toxicology*, 86(3), 345-391.
- Halvorson, A.D., Bartolo, M.E., Reule, C.A., Berrada, A. (2008). Nitrogen effects on onion yield under drip and furrow irrigation. *Agron. J.* 100, 1062–1069.
- Halvorson, A.D., Follet, R.F., Bartolo, M.E. & Schweissing, F.C. (2002). Nitrogen fertilizer use efficiency of furrow-irrigated onion and corn *Agron. J.* 94 442 449.
- Hanci F, Cebeci E. (2019). Improvement of abiotic stress tolerance in onion: selection studies under salinity conditions. *Int J Eng Sci*,7(9):54–58.
- Hasan, M. K., & Uddin, M. Z. (2011). Marketing and Post-Harvest Practices of Onion in Some Selected Areas of Bangladesh. *J. Agrofor. Environ*, 5(1), 67-72.
- Hegde, D. M. (1986). Growth analysis of onion (*Allium cepa* L.) in relation to irrigation and nitrogen fertilization. *Journal of agronomy and crop science*, 157(4), 227-234.
- Ibrahim M. H., Jaafar H. Z., Rahmat A & Rahman Z.A. (2011). Effects of Nitrogen Fertilization on Synthesis of Primary and Secondary Metabolites in Three Varieties of Kacip Fatimah (*Labisia Pumila* Blume). *International Journal of Molecular Sciences* 12: 5238–5254.

- Ibrahim, M. H., Jaafar, H. Z., Rahmat, A., & Rahman, Z. A. (2012). Involvement of nitrogen on flavonoids, glutathione, anthocyanin, ascorbic acid and antioxidant activities of Malaysian medicinal plant *Labisia pumila* Blume (Kacip Fatimah). *International Journal of Molecular Sciences*, 13(1), 393-408.
- Ibrahim, M.H., Jaafar, H.Z.E., Karimi, E., Ghasemzadeh, A. (2013). Impact of organic and inorganic fertilizers application on the phytochemical and antioxidant activity of kacip fatimah (*Labisia pumila* Benth). *Molecules* 18, 10973–10988. [https://doi.org/ 10.3390/molecules180910973](https://doi.org/10.3390/molecules180910973).
- Islam, M. A. (1999). Growth and yield response of onion to different sources of potassium and application methods. II. Yield attributes and potassium uptake. *Thai-Journal of Agric. Sci.*, 32: 443-452.
- Islam, M.N., Wang, A., Pedersen, J.S., Sorensen, J.N., Korner, O. and Edelenbos, M. (2019). Online measurement of temperature and relative humidity as marker tools for quality changes in onion bulbs during storage. *PLoS One*. 14: e0210577.
- Jahan, M. A.; Hossain, M. M.; Yesmin, S.; Islam, M. S. (2010). Effect of nitrogen and potassium on growth, yield and nutrient concentration of onion. *International Journal of Sustainable Agricultural Technology* 6(5):1-6.
- Jha A.K., Pal N., Singh N. (2000). Phosphorus uptake and its utilization by onion varieties at different stages of growth. *Indian Journal of Horticulture* 57(4): 347-350.
- Jilani M. S. (2004). Studies on the management strategies for bulb & seed production of different cultivars of onion (*Allium cepa* L.). PhD thesis, Gomal University, Dera Ismail Khan.

- Jilani, M. S., Ghaffoor, A., Waseem, K. A. S. H. I. F., & Farooqi, J. I. (2004). Effect of different levels of nitrogen on growth and yield of three onion varieties. *Int. J. Agri. Biol*, 6(3), 507-510.
- Kader A. A. (2011). Tecnología-Postcosecha de cultivos hortofruticolaas. UCANR Publications.
- Kang, H., Pichiah, P., Abinaya, R., Sohn, H., & Cha, Y. (2016). Hypocholesterolemic effect of quercetin rich onion peel extract in C57BL/6J mice fed with high cholesterol diet. *Food Science and Biotechnology*, 25(3), 855–860. <https://doi.org/10.1007/S10068-016-0141-4>.
- Khadijah, K., Jayali, A. M., Umar, S., & Sasmita, I. (2017). Penentuan total fenolik dan aktivitas antioksidan ekstrak etanolik daun samama (*Anthocephalus macrophyllus*) asal Ternate, Maluku Utara. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 15(1), 11-18.
- Khan, N. A., Samiullah, Singh, S., & Nazar, R. (2007). Activities of antioxidative enzymes, sulphur assimilation, photosynthetic activity and growth of wheat (*Triticum aestivum*) cultivars differing in yield potential under cadmium stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193(6), 435-444.
- Khokhar, K. M. (2018). A Short Review on" Water Management in Onion". *Trends in Technical & Scientific Research*, 2(1), 21-22.
- Khokhar, K. M. (2019). Mineral nutrient management for onion bulb crops—a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 94(6), 703-717.
- Kim, S., Kim, D. B., Jin, W., Park, J., Yoon, W., Lee, Y., ... & Yoo, M. (2018). Comparative studies of bioactive organosulphur compounds and antioxidant activities in garlic (*Allium sativum* L.), elephant garlic (*Allium ampeloprasum* L.) and onion (*Allium cepa* L.). *Natural product research*, 32(10), 1193-1197.

- Kimura, Y.; Okazaki, K.; Yanagida, D.; Muro, T. (2014.) Cultivar and regional differences in the metabolite composition of onion (*Allium cepa* L.). *Scientia Horticulturae*, v.168, p.1-8, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.01.019>.
- Kiran B., Chetti M.B. (2009). Influence of sulphur and magnesium on bulb yield and biochemical parameters in onion. *Indian Journal of Horticulture* 66(2):215-219.
- Kleiber T., Golcz A. & Krzesiński W. (2012). Effect of magnesium nutrition of onion (*Allium cepa* L.). Part I. Yielding and nutrient status. *Ecological Chemistry and Engineering*. 19(1):97-105.
- Klunklin, W., Savage, G. (2017). Effect on quality characteristics of tomatoes grown under well-watered and drought stress conditions. *Foods* 6 (8), 1–10. <https://doi.org/10.3390/foods6080056>, 56.
- Kumar S, Imtiyaz M, Kumar A, Singh R (2007a) Response of onion (*Allium cepa* L.) to different levels of irrigation water. *Agric Water Manag* 89:161–166.
- Kumar S., Singh M.K., Kumar M., Kumar V., Lodhi S.K. and Singh S.P. (2021). Effect of micronutrients on yield and quality of onion (*Allium cepa* L.). *The Pharma Innovation Journal* 10(10): 2261-2264
- Kumar S., Sushant, Tiwari C.P., Singh V. (2006). Bulb yield and quality of onion (*Allium cepa* L.) as affected by application rates of nitrogen and potassium fertilizer. *Agricultural Science Digest* 26: 11-14.
- Kumar, S., Imtiyaz, M. and Kumar, A. (2007b). Effect of differential soil moisture and nutrient regimes on postharvest attributes of onion (*Allium cepa* L.). *Scientia Horticulturae* 112(2):121–129.

- Kumar, V., Behl, R. K., & Narula, N. (2001). Establishment of phosphate-solubilizing strains of *Azotobacter chroococcum* in the rhizosphere and their effect on wheat cultivars under greenhouse conditions. *Microbiological research*, 156(1), 87-93.
- Kumawat, L., & Raheman, H. (2022). Mechanization in Onion Harvesting and its Performance: A Review and a Conceptual Design of Onion Harvester from Indian Perspective. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 1-10.
- Lai, W., Li, C., Chen, H., & Shaik, S. (2012). Hydrogen-abstraction reactivity patterns from A to Y: The valence bond way. *Angewandte Chemie International Edition*, 51(23), 5556-5578.
- Lee, J. & Mitchell, A.E. (2011). Quercetin and isorhamnetin glycosides in onion (*Allium cepa* L.): varietal comparison, physical distribution, coproduct evaluation, and long-term storage stability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59: 857-863.
- Lee, J., Hwang, S., Ha, I., Min, B., Hwang, H., & Lee, S. (2015). Comparison of bulb and leaf quality, and antioxidant compounds of intermediate-day onion from organic and conventional systems. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 56(4), 427-436.
- León A, W. D. (2017). Manejo de la fertilización de maíz (*Zea mays* L.) en el Valle Santa Catalina.
- Leskovar DI, Agehara S, Yoo K, Pascual-Seva N (2012) Crop coefficient-based deficit irrigation and planting density for onion: growth, yield, and bulb quality. *HortScience* 47(1):31–37.

- Li, L., Huang, W., Wang, Z., Liu, S., He, X., & Fan, S. (2022). Calibration transfer between developed portable Vis/NIR devices for detection of soluble solids contents in apple. *Postharvest Biology and Technology*, 183, 111720.
- Liu, R. H. (2013). Health-Promoting Components of Fruits and Vegetables in the Diet. *Advances in Nutrition*, 4(3), 384S-392S. <https://doi.org/10.3945/AN.112.003517>.
- Liu, Y., Yan, J., Han, X., & Hu, W. (2015). Garlic derived compound S-allylmercaptocysteine (SAMC) is active against anaplastic thyroid cancer cell line 8305C (HPACC). *Technology and Health Care*, 23(s1), S89–S93. <https://doi.org/10.3233/THC-150936>.
- Londoño Londoño, J. A. (2012). Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad. In *Desarrollo y transversalidad serie Lasallista Investigación y Ciencia*. Corporación Universitaria Lasallista.
- López Quintana, Y., Velázquez Ceballos, D., Santana Baños, Y., Gonzales Breijo, F., Ponce Ceballos, F., Carrodegua Díaz, S., & Morejón García, M. (2020). Desarrollo vegetativo y rendimiento de cinco cultivares de cebolla en Sandino, Pinar del Río. *Centro Agrícola*, 47(3), 59-65.
- López-Martínez, L. X., Aguilar Cisneros, L. M., & Dublán-García, O. (2014). Actividad antioxidante e inhibidora de α -glucosidasa y α -amilasa de tres variedades de cebolla (*Allium cepa* L.). *Nova scientia*, 6(12), 234-347.
- Lu, J., Jin, Y., Liu, G., Zhu, N., Gui, M., Yu, A., & Li, X. (2010). Flavonoids from the leaves of *Actinidia kolomikta*. *Chemistry of Natural Compounds*, 46(2), 205-208.
- Magalhaes, L. M.; Segundo, M. A.; Reis, S.; Lima, J. L. F. C. (2008). Methodological aspects about in vitro evaluation of antioxidant properties. *Anal. Chim. Acta* . 613, 1–19.

- Maier, N. A; Dahlenburg, A. P; Twigden, T. K. (1990). *Effect of nitrogen on the yield and quality of irrigated onions (<i>Allium cepa</i> L.) cv. Cream Gold grown on siliceous sands. Australian Journal of Experimental Agriculture*, 30(6), 845–. doi:10.1071/EA9900845
- Mallor G. C., Carravedo F. M., Estopañán M. G. & Mallor G. F. (2011). Characterization of genetic resources of onion (*Allium cepa* L.) from the Spanish secondary centre of diversity. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2011, 9 (1). Págs. 144-155.
- Mallor, C., Alcells, M.B., Mallor, F., Ales, E.S. (2011). Genetic variation for bulb size, soluble solids content and pungency in the Spanish sweet onion variety Fuentes de Ebro. Response to selection for low pungency. *Plant Breed.* 130, 55–59. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2009.01737.x>
- Manna D. (2014). Growth, yield and bulb quality of onion (*Allium cepa* L.) in response to foliar application of boron and zinc. *SAARC J Agric*, 11: 149-153.
- Manohar CM, Xue J, Murayyan A, Neethirajan S, Shi J. (2017). Antioxidant activity of polyphenols from Ontario grown onion varieties using pressurized low polarity water technology. *J Funct Foods*. 31:52– 62. doi: 10.1016/j.jff.2017.01.037.
- Manohar CM, Xue J, Murayyan A, Neethirajan S, Shi J. (2017). Antioxidant activity of polyphenols from Ontario grown onion varieties using pressurized low polarity water technology. *J Funct Foods*. 31:52– 62. doi: 10.1016/j.jff.2017.01.037.
- Marinozzi, M., Sardella, R., Scorzoni, S., Ianni, F., Lisanti, A., & Natalini, B. (2014). Validated pungency assessment of three italian onion (*Allium Cepa* L.) cultivars. *Journal of International Scientific Publications: Agriculture & Food*, 2, 532-541.

- Marrocos S.T., Grangeiro L.C., Sousa, B.F.L., Ribeiro R.M.P., Cordeiro C.J. (2018). Potassium fertilization for optimization of onion production. *Rev. Caatinga*, 31(2):379-384.
- Martono, Y., Yanuarsih, F. F., Aminu, N. R., & Muninggar, J. (2019), August). Fractionation and determination of phenolic and flavonoid compound from *Moringa oleifera* leaves. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1307, No. 1, p. 012014). IOP Publishing.
- Mata V. H., Patishtán P. J., Vázquez G. E., & Ramírez M. M. (2011). Fertilización del Cultivo de Cebolla con Riego por Goteo en el Sur de Tamaulipas.
- Mayer, J. M. (2011). Understanding hydrogen atom transfer: from bond strengths to Marcus theory. *Accounts of Chemical Research*, 44(1), 36-46.
- Mebrahtu, Y., Tamiru, H., & Mohammed, A. (2019). Determination of Optimal Irrigation Scheduling for Onion (*Allium cepa* L.) in Raya Valley, Northern Ethiopia. *Results of Natural Resources Management Research*.
- Meena, R. N., Verma, V. K., & Singh, K. (2014). Effect of organic nitrogen management on yield, quality, economics and nutrient uptake of onion (*Allium cepa* L.). *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(12), 18323-18331.
- Melo, C. O., Moretti, C. L., Machado, C. M. M., Mattos, L. M. and Muniz, L. B. (2012). Alterações físicas e químicas em cebolas armazenadas sob refrigeração. *Ciência Rural*. 42: 2078-2084.
- Mendoza, A. B. (2002). *Ecofisiología y bioquímica del estrés en plantas*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

- Mendoza, A. C. (2015). Manejo agronómico del cultivo de cebolla (*Allium cepa*.L) var camaneja en truz bajo-chepen, la libertad. Universidad nacional de Trujillo. 6 p.
- Mengel K. (2007). Phosphorus. En A.V. Barker & D.J. Pilbean (Eds.), Handbook of plant nutrition. (91-120). Taylor & Francis.
- Merhaut D.J. (2007). En A.V. Barker & D.J. Pilbean (Eds.), Handbook of plant nutrition. (145-181). Taylor & Francis.
- Messele, B. (2016). Effects of nitrogen and phosphorus rates on growth, yield, and quality of onion (*Allium cepa* L.) at Menschen Für Menschen Demonstration Site, Harar, Ethiopia. *Agric Res Tech*, 1(3), 555-563.
- Mexicana, N. O. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-253-SSA1-2012, PARA LA DISPOSICION DE SANGRE HUMANA Y SUS COMPONENTES CON FINES TERAPEUTICOS PREFACIO.
- Miah S., Taheri R.H., Rabbani G., Karim R. (2020). Effects of Different Application Methods of Zinc and Boron on Growth and Yield of Onion. *International Journal of Biosciences* 17(4):126-133.
- Mishra, P., Sarkar, C., Vishwajith, K. P., Dhekale, B. S., & Sahu, P. K. (2013). Instability and forecasting using ARIMA model in area, production and productivity of onion in India. *Journal of Crop and Weed*, 9(2), 96-101.
- Mishra, R. K., Jaiswal, R. K., Kumar, D., Saabale, P. R., & Singh, A. (2014). Management of major diseases and insect pests of onion and garlic: A comprehensive review. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 6(11), 160-170.

- Misra, K., Dhillon, G. S., Brar, S. K., & Verma, M. (2014). Antioxidants. In *Biotransformation of waste biomass into high value biochemicals* (pp. 117-138). Springer, New York, NY.
- Mogren, L. M., Olsson, M. E. and Gertsson, U. E. (2007a). Effects of cultivar, lifting time and nitrogen fertiliser level on quercetin content in onion (*Allium cepa* L.) at lifting. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87: 470-476.
- Mogren, L. M., Olsson, M. E. and Gertsson, U. E. (2007b). Quercetin content in stored onions (*Allium cepa* L.): effects of storage conditions, cultivar, lifting time and nitrogen fertilizer level. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87: 1595-1602.
- Molyneux, P. (2004). The use of the stable radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH). for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin Journal of Science Technology*, 26(2): 211-219.
- Mondal S. Ghosh G. K. & Mandal J. (2020). Effect of Graded Levels of Sulphur as Magnesium Sulphate on Yield and Quality of Onion (*Allium cepa* L.) in Red and Lateritic Soils of West Bengal, India. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci* 9(4): 2858-2866.
- Munteanu, I. G., & Apetrei, C. (2021). Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3380.
- Mur, L. A., Mandon, J., Persijn, S., Cristescu, S. M., Moshkov, I. E., Novikova, G. V., ... & Gupta, K. J. (2013). Nitric oxide in plants: an assessment of the current state of knowledge. *AoB plants*, 5.
- Murayyan, A. I., Manohar, C. M., Hayward, G., & Neethirajan, S. (2017). Antiproliferative activity of Ontario grown onions against colorectal

adenocarcinoma cells. *Food Research International*, 96, 12–18.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2017.03.017>.

Naqash, S., Naik, H. R., Dar, B. N., & Makroo, H. A. (2021). Different methods for curing of bulb crops: Principle, mechanism and effects on crop quality and its storage. *Scientia Horticulturae*, 289, 110483.

Nasreen, S; Haque, MM; Hossain, MA; Farid, ATM (2008). *Nutrient uptake and yield of onion as influenced by nitrogen and sulphur fertilization. Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 32(3), –. doi:10.3329/bjar. v32i3.543.

Ncayiyana M.; Maboko M. M; Bertling I. (2017). *Yield and nutritional quality of different short-day onion cultivars as affected by nitrogen application. South African Journal of Plant and Soil*, (), 1–7. doi:10.1080/02571862.2017.1345016

Nega, G., Mohammed, A., & Menamo, T. (2015). Effect of curing and top removal time on quality and shelf life of onions (*Allium cepa* L.). *Global Journal of Science Frontier Research: D Agriculture and Veterinary*, 15(8), 27-36.

Neill, S., Desikan, R., & Hancock, J. (2003). Nitric signalling in plants. *New Phytologist*, 159, 11-59.

Niki, E. (1991). Action of ascorbic acid as a scavenger of active and stable oxygen radicals. *The American journal of clinical nutrition*, 54(6), 1119S-1124S.

Nikus, O., & Mulugeta, F. (2010). Onion seed production techniques. *A Manual for Extension Agents and Seed Producers. FAO. Crop Diversification and Marketing Development Project. Asella, Ethiopia*.

NORMA Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2012, Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria. Criterios para

brindar orientación. <https://www.cndh.org.mx/DocTR/2016/JUR/A70/01/JUR-20170331-NOR37.pdf>

Nourbakhsh, S. S., & Cramer, C. S. (2022). Onion Plant Size Measurements as Predictors for Onion Bulb Size. *Horticulturae*, 8(8), 682.

Ohashil, Y., Saneoka, H., Fujita, K. (2000). Effect of water stress on growth, photosynthesis, and photoassimilate translocation in soybean and tropical pasture legume siratro. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46 (2), 417–425. <https://doi.org/10.1080/00380768.2000.10408795>.

Olson, S.M., Stall, W.M., Peres, N.A. & Webb, S.E. (2011). Onion, leek, and chive production in Florida, p. 167–179. In: S.M. Olson and B. Santos (eds.). *Vegetable production handbook for Florida*. Univ. Florida, Inst. Food Agr. Sci., Gainesville, FL.

Orta, A. H., & Ener, M. (2001). Irrigation scheduling of onion in Tekirdağ province of Turkey. *J. Appl. Hort*, 3(2), 75-77.

Ortola, M.P., Knox, J.W. (2014). Water relations and irrigation requirements of onion (*Allium cepa* L.): a review of yield and quality impacts. *Exp. Agric.* 1–22. <https://doi.org/10.1017/S0014479714000234>

Ou B, Hampsch-Woodill M, Prior RL (2001) Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. *J Agric Food Chem* 49:4619–4626.

Özyürek, M., Güçlü, K., & Apak, R. (2011). The main and modified CUPRAC methods of antioxidant measurement. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 30(4), 652-664.

- Paciolla, C., Paradiso, A., & De Pinto, M. C. (2016). Cellular redox homeostasis as central modulator in plant stress response. In *Redox state as a central regulator of plant-cell stress responses* (pp. 1-23). Springer, Cham.
- Patanè C. Tringali S & Sortino O. (2011). Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. *Scientia Horticulturae*, 129(4), 590-596.
- Patel, N. E. E. L. A. M., & Rajput, T. B. S. (2013). Effect of deficit irrigation on crop growth, yield and quality of onion in subsurface drip irrigation. *International Journal of Plant Production*, 7(3), 417-436.
- Pedroso, M., & Durzan, D. (2000). Effect of different gravity environments on DNA fragmentation and cell death in Kalanchoe leaves. *Annals of Botany*, 86, 983-994.
- Peil, R. M. & Gálvez, J. L. (2005). Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Revista Brasileira de Agrociência* 11(1), 5-11.
- Pejic, B., Gajic, B., Bosnjak, D. J., Stricevic, R., Mackic, K., & Kresovic, B. (2014). Effects of water stress on water use and yield of onion. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20(2), 297-302.
- Pejic, B., Gvozdanovi, J., Mili, S., Ignjatovi, A. and Krsti, D. (2011). Effect of irrigation schedules on yield and water use of onion (*Allium cepa* L.). *African Journal of Biotechnology* 10(14):2644–2652.
- Pérez G. M. R, Regueiro J., González B. R., Rial O. R., Simal G. J. (2011). Changes in antioxidant flavonoids during freeze-drying of red onions and subsequent storage. *Food Control*. 22:1108–1113.

- Pérez, G. M. R., Regueiro, J., Simal G. J., Rodrigues, A. S., & Almeida, D. P. F. (2014). Increasing the added-value of onions as a source of antioxidant flavonoids: a critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(8), 1050-1062.
- Petropoulos, S. A., Ntatsi, G., & Ferreira, I. C. F. R. (2017). Long-term storage of onion and the factors that affect its quality: A critical review. *Food Reviews International*, 33(1), 62-83.
- Petropoulos, S. A., Ntatsi, G., Fernandes, Â., Barros, L., Barreira, J. C. M., Ferreira, I. C., & Antoniadis, V. (2016). Long-term storage effect on chemical composition, nutritional value and quality of Greek onion landrace “Vatikiotiko”. *Food chemistry*, 201, 168-176.
- Petropoulos, S.A.; Fernandes, Â.; Barros, L.; Ferreira, I.C.; Ntatsi, G. (2015). Morphological, nutritional and chemical description of “Vatikiotiko”, an onion local landrace from Greece. *Food Chem.* 182, 156–163.
- Pilbeam D.J., Morley P.S. (2007). Calcium. En A.V. Barker & D.J. Pilbeam (Eds.), *Handbook of plant nutrition*. (121-144). Taylor & Francis.
- Piri, H., & Naserin, A. (2020). Effect of different levels of water, applied nitrogen and irrigation methods on yield, yield components and IWUE of onion. *Scientia Horticulturae*, 268, 109361.
- Pramanik K, Tripathy P., Mandal P., Pradhan M. and Biswal M. (2018). Effect of micronutrients on quality of onion (*Allium cepa* L.). *International Journal of Chemical Studies* 6(6): 1324-1327.
- Pulido, R., Bravo, L., & Saura-Calixto, F. (2000). Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. *Journal of agricultural and food chemistry*, 48(8), 3396-3402.

- Putnik, P., Gabrić, D., Roohinejad, S., Barba, F. J., Granato, D., Mallikarjunan, K., ... & Kovačević, D. B. (2019). An overview of organosulfur compounds from *Allium* spp.: From processing and preservation to evaluation of their bioavailability, antimicrobial, and anti-inflammatory properties. *Food chemistry*, 276, 680-691. Inflammatory properties. *Food chemistry*, 276, 680-691.
- Randle, W. M. (2000). Increasing nitrogen concentration in hydroponic solutions affects onion flavor and bulb quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125: 254-259.
- Rao, N. K. (2016). Onion. In *Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops* (pp. 133-149). Springer, New Delhi.
- Razavi, B. M., & Hosseinzadeh, H. (2014). A review of the effects of *Nigella sativa* L. and its constituent, thymoquinone, in metabolic syndrome. *Journal of Endocrinological Investigation*, 37(11), 1031-1040.
- Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A, Yang M., Rice E. C. (1999). Antioxidant activity applying and improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*. 26:1231-1237. DOI: 10.1016/S0891-5849(98)00315-3.
- Rego, E. R., Ferreira, A. P. S., Pereira, D. M., Pereira, A. M., Pereira, O. L. & Finger, F. L. (2019). Artificially cooling of onion bulbs stored in brickworkpatterned vertical silos. *Horticultura Brasileira*. 37: 234-238.
- Retsky, K. L., Freeman, M. W., & Frei, B. (1993). Ascorbic acid oxidation product (s) protect human low density lipoprotein against atherogenic modification. Anti- rather than prooxidant activity of vitamin C in the presence of transition metal ions. *Journal of Biological Chemistry*, 268(2), 1304-1309.

- Reveles H. M.; Velásquez V., R.; Reveles T. L. R. y Cid R. J. A. (2014). Guía para producción de cebolla en Zacatecas. Folleto Técnico No. 62 Campo Experimental Zacatecas, CIRONOCINIFAP. Calera, Zacatecas, México. 40 p.
- Ríos I. J., Guevara A., A., Sida A. J. P., Sánchez, E., Ronquillo A. J.O., Alvarado G. M. & Chávez M. C. (2018). Effect of controlled atmospheres on the quality of white onion (*Allium cepa* L.). *Journal Food Science and Technology*. 55: 3564-3574.
- Ritsema T. & Smeekens, S. (2003). Fructans: beneficial for plants and humans. *Current opinion in plant biology*. 6:223-230.
- Robles, J. E. A., & García, E. F. M. (2012). Crecimiento de cebolla (*Allium cepa* L.) var.“Roja Arequipeña” en función de la fertilización NxK. *Scientia Agropecuaria*, 3(1), 7-14.
- Rodrigo R, Miranda A, Vergara L. (2011). Modulation of endogenous antioxidant system by wine polyphenols in human disease. *Clinica Chimica Acta*. 412:410-424.
- Rodríguez, G.B., Tascon, R.C., Rodríguez, E.R. and Romero, C.D. (2008). Organic acid contents in onion cultivars (*Allium cepa* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56: 6512-6519.
- Roginsky V. & Lissi E. A. (2005). Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food. *Food Chemistry*. 2005;92(2):235-254. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.08.004.
- Romero, P. M. C., Perazzolli, M., Zago, E. D., & Delledonne, M. (2004). Nitric oxide signalling functions in plant–pathogen interactions. *Cellular microbiology*, 6(9), 795-803.

- Rubio, C. P., Hernández R., J., Martínez S., S., Tvarijonaviciute, A., Ceron, J. J. (2016). Spectrophotometric assays for total antioxidant capacity (TAC) in dog serum: an update. *BMC Veterinary Research*. 12(1): 166.
- Rutherford, P. P. & Whittle, R. (1982). The carbohydrate composition of onions during long term cold storage. *Journal of Horticultural Sciences*. 57:349-356.
- Sánchez C.A. (2007). Phosphorus. En A.V. Barker & D.J. Pilbean (Eds,), *Handbook of plant nutrition*. (51-90). Taylor & Francis.
- Santos S. N. F., Salas C. R., Villanueva C. C., & Hernández C. B. (2019). Antioxidant compounds and their antioxidant mechanism. *Antioxidants*, 10, 1-29.
- SAS Institute (2018). *SAS 9.4 language reference: Concepts*. SAS Institute.
- Satyendra K.; Imtiyaz M.; Ashwani K. (2007). *Effect of differential soil moisture and nutrient regimes on postharvest attributes of onion (Allium cepa L.)*, 112(2), 0–129. doi: 10.1016/j.scienta.2006.12.024
- Seeram N. P, Aviram M., Zhang Y, Henning S. M, Feng L, Dreher, M. *et al.* (2008). Comparison of antioxidant potency of commonly consumed polyphenol-rich beverages in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56(4):1415-1422. DOI: 10.1021/ jf073035s
- Sejati, A. D. (2012). Penetapan kadar flavonoid dan fenolik ekstrak air jinten hitam (*Nigella sativa* L.) dan uji sitotoksik pada sel kanker payudara mcf-7 dari tiga daerah: habasyah, india dan indonesia (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Shaheen A.M., Rizk F.A., El-Tanahy A.M.M. and Abd El-Samad E.H. (2011). Vegetative Growth and Chemical Parameters of Onion as Influenced by Potassium as Major and Stimufol as Minor Fertilizers. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(11): 518-525.

- Sharma, K. & Lee, Y. R. (2016). Effect of different storage temperature on chemical composition of onion (*Allium cepa* L.) and its enzymes. *Journal Food Science and Technology*. 53: 1620-1632.
- Sharma, K., Assefa, A.D., Kim, S., Ko, E.Y. and Park S.W. (2014). Change in chemical composition of onion (*Allium cepa* L. cv. Sunpower) during post-storage under ambient conditions. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 42: 87-98.
- Sharma, K., Awraris, A., Ko, E.S., Lee, E.-T. and Park, S. W. (2015). Quantitative analysis of flavonoids, sugars, phenylalanine and tryptophan in onion scales during storage under ambient conditions. *Journal Food Science and Technology*. 52: 2157-2165.
- SIAP-SAGARPA. (2015). Agricultura producción anual. <http://www.siap.gob.mx/> (enero de 2015).
- Siliquini, O. A. (2009). Evolución de algunos parámetros fisiológicos y productivos en cebolla (*Allium cepa* L.) sembrada en forma directa a dos densidades y dosis de nitrógeno.
- Siliquini, O. A., Orioli, G. A., & Lobartini, J. C. (2015). Onion yield as affected by plant density, nitrogen level and loss of leaf area.
- Singh J.V., Kumar A., Singh C. (2000). Influence of phosphorus on growth and yield of onion (*Allium cepa* L). *Indian J. Agric. Res.*, 34(1): 51-54.
- Singh S.P. & Verma A.B. (2001). Response of onion (*Allium cepa* L.) to potassium application. *Indian Journal of Agronomy* 46:182-185.
- Sinkovič, L.; Škof, M.; Ugrinovič, K. (2019). Fertilization influenced physico-chemical parameters of different onion cultivars (*Allium cepa* L.). In *Proceedings of the Novi Izzivi V Agron, Laško, Slovenia*, 31; pp. 215–221.

- Sohany, M., Sarker, M. and Mahomud, M. (2016). Physiological changes in red onion bulbs at different storage temperature. *World Journal of Engineering and Technology*. 4: 261-266.
- Srinivasa Rao, N.K., Laxman, R.H., & Bhatt, R.M. (2010). Extent of impact of flooding and water stress on growth and yield of onion and tomato. In P.K. Aggarwal (Ed.),
- Srinivasa, N. K. (2016). Onion. In *Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops* (pp. 133-149). Springer, New Delhi.
- Sullivan, D. M. D. M., Feibert, E. B. G., Pelter, G. Q., Brown, B. D., Shock, C. C., Horneck, D. A., & Stevens, R. G. (2001). Nutrient management for sweet spanish onions in the Pacific Northwest.
- Taha N, Abd-Elrahman S. H & Hashem F. A. (2019). Improving yield and quality of garlic (*Allium sativum* L.) under water stress conditions. *Middle East journal of Agriculture Research*, 8(1), 330-346.
- Tehulie N.S., Endeg S., Hunegnaw A. and Kebede A. (2021). Review on the effect of nitrogen and phosphorus fertilizer rates on seed yield of onion (*Allium cepa* L.). *International Journal of Horticulture and Food Science* 3(1): 13-16.
- Tekeste N., Dechassa N., Woldetsadik K., Dessalegne L., Takele A. (2018). Influence of Nitrogen and Phosphorus Application on Bulb Yield and Yield Components of Onion (*Allium cepa* L.). *The Open Agriculture Journal* 12: 194-206.
- Timpson, N. J., Forouhi, N. G., Brion, M. J., Harbord, R. M., Cook, D. G., Johnson, P., ... & Davey Smith, G. (2010). Genetic variation at the SLC23A1 locus is associated with circulating concentrations of L-ascorbic acid (vitamin C): evidence from 5 independent studies with > 15,000 participants. *The American journal of clinical nutrition*, 92(2), 375-382.

- Toscano, S., Trivellini, A., Cocetta, G., Bulgari, R., Francini, A., Romano, D., Ferrante, A. (2019). Effect of pre-harvest abiotic stresses on the accumulation of bioactive compounds in horticultural produce. *Front. Plant Sci.* 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01212>.
- Triantaphylidès, C., & Havaux, M. (2009). Singlet oxygen in plants: production, detoxification and signaling. *Trends in plant science*, 14(4), 219-228.
- Tripathi, P. C., & Lawande, K. E. (2019). Onion storage in tropical region—a review. *Current Horticulture*, 7(2), 15-27.
- Tuladhar, P., Sasidharan, S., & Saudagar, P. (2021). Role of phenols and polyphenols in plant defense response to biotic and abiotic stresses. In *Biocontrol Agents and Secondary Metabolites* (pp. 419–441). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822919-4.00017-X>.
- Vauzour D, Rodríguez-Mateos A, Corona G, Oruna Concha MJ, Spencer JP. (2010). Polyphenols and human health: prevention of disease and mechanisms of action. *Nutrients*. 2:1106-1131 (Wayner *et al.* 1985).
- Venâncio, J. B., da Silva Dias, N., de Medeiros, J. F., de Moraes, P. L. D., do Nascimento, C. W. A., de Sousa Neto, O. N., & da Silva Sá, F. V. (2022). Yield and Morphophysiology of Onion Grown under Salinity and Fertilization with Silicon. *Scientia Horticulturae*, 301, 111095.
- Vidya, V.M., Osman, B.P., Riazunnisa, K., (2019). Evaluation of biochemical responses to onion (*Allium cepa* L.) seedlings under drought stress. *Int. J. Recent Sci. Res.* 10 (04), 31924–31927. <https://doi.org/10.24327/ijrsr.2019.1004.3364>.
- Voss, E. R. 1979. Onion production in California. Publication 4097. Cooperative Extension. University of California, Davis. 6-8 pp.

- Wakchaure, G. C., Minhas, P. S., Kumar, S., Khapte, P. S., Meena, K. K., Rane, J., & Pathak, H. (2021). Quantification of water stress impacts on canopy traits, yield, quality and water productivity of onion (*Allium cepa* L.) cultivars in a shallow basaltic soil of water scarce zone. *Agricultural Water Management*, 249, 106824.
- Walag, A. M. P., Ahmed, O., Jeevanandam, J., Akram, M., Ephraim-Emmanuel, B. C., Egbuna, C., Semwal, P., Iqbal, M., Hassan, S., & Uba, J. O. (2020). Health Benefits of Organosulfur Compounds. In *Functional Foods and Nutraceuticals* (pp. 445–472). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42319-3_21
- Wayner D. D. M., Burton G. W., Ingold K.U., Locke S. (1985). Quantitative measurement of the total peroxyl radical trapping antioxidant capability of human blood plasma by controlled peroxidation. The important contribution made by plasma proteins. *FEBS Letters*. 187(1):33-37. DOI: 10.1016/0014-5793(85)81208-4 Winston *et al.*, 1998.
- Wichrowska, D., Wojdyła, T., Rolbiecki, S., Rolbiecki, R., Czop, P., Jagosz, B., & Ptach, W. (2017). Effect of nitrogen fertilisation on the marketable yield and nutritive value of onion. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 16(5), 125-133.
- Wilson, R. G., Orloff, S. B., & Taylor, A. G. (2015). Evaluation of insecticides and application methods to protect onions from onion maggot, *Delia antiqua*, and seedcorn maggot, *Delia platura*, damage. *Crop Protection*, 67, 102-108.
- Winston G. W., Regoli F., Dugas A. J. J., Fong J. H., Blanchard K. A. (1998). A rapid gas chromatographic assay for determining oxyradical scavenging capacity of antioxidants and biological fluids. *Free Radical Biology & Medicine*. 24(3):480-493. DOI: 10.1016/ S0891-5849(97)00277-3.

- Woldetsadik, K., Gertsson, U., Ascard, J. (2003): Shallot yield quality and storability as affected by irrigation and nitrogen. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 78: 549-553.
- Wright, J. S., Johnson, E. R., & DiLabio, G. A. (2001). Predicting the activity of phenolic antioxidants: theoretical method, analysis of substituent effects, and application to major families of antioxidants. *Journal of the American Chemical Society*, 123(6), 1173-1183.
- Yoo, K. S., Leskovar, D., Patil, B. S., & Lee, E. J. (2019). Effects of leaf cutting on bulb weight and pungency of short-day onions after lifting the plants. *Scientia Horticulturae*, 257, 108720.
- Yoo, K. S.; Lee, E. J.; Patil, B. S. (2012). Changes in flavor precursors, pungency, and sugar content in short-day onion bulbs during 5-month storage at various temperatures or in controlled atmospheres. *J. Food Sci.* 2012, 77, 216-221.
- Youssef, E. A., & Taha, S. S. (2016). Effect of Moisture Stress and Magnetized Water on Growth Parameters and Yield Characteristics of Onion Plants. *International Journal of Pharm Technology Research*, 9(9), 104-111.
- Yu, M., Lamattina, L., Spoel, S., & Loake, G. (2014). Nitric oxide function in plant biology: a redox cue in deconvolution. *New Phytologist*, 202, 1142-1156.
- Zayton AM (2007). Effect of soil-water stress on onion yield and quality in sandy soil. *J. Agric. Eng.* 24(1):141-160.
- Zhao, X. X., Lin, F. J., Li, H., Li, H. B., Wu, D. T., Geng, F., ... & Gan, R. Y. (2021). Recent advances in bioactive compounds, health functions, and safety concerns of onion (*Allium cepa* L.). *Frontiers in Nutrition*, 8.
- Zheng, J., Huang, G., Wang, J., Huang, Q., Pereira, L. S., Xu, X., & Liu, H. (2013). Effects of water deficits on growth, yield and water productivity of drip-irrigated

onion (*Allium cepa* L.) in an arid region of Northwest China. *Irrigation Science*, 31(5), 995-1008.