

Efecto de diferentes tensiones del agua en el suelo sobre la absorción nutricional de macronutrientes en el cultivo de cebolla (*Allium cepa*) c.v. Álvara en ambiente protegido

Effect of different water tensions in the soil on the nutritional absorption of macronutrients in the cultivation onion (*Allium cepa*) c.v. Álvara in a protected environment

Adrián Enrique Chavarría-Vidal¹, Mario Morales-Sánchez², Freddy Soto-Bravo³

Fecha de recepción: 28 de enero, 2023
Fecha de aprobación: 17 de mayo, 2023

Chavarría-Vidal, A; Morales-Sánchez, M; Soto-Bravo, F. Efecto de diferentes tensiones del agua en el suelo sobre la absorción nutricional de macronutrientes en el cultivo de cebolla (*Allium cepa*) c.v. Álvara en ambiente protegido. *Tecnología en Marcha*. Vol. 37, N° 1. Enero-Marzo, 2024. Pág. 3-16.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v37i1.6428>

1 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Agrícola. Costa Rica. Correo electrónico: adchavarría@itcr.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0003-1647-8212>

2 Profesor Jubilado. Costa Rica. Correo electrónico: mario.morales@ucr.ac.cr

3 Universidad de Costa Rica, Estación Experimental. Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. Correo electrónico: freddy.sotobravo@ucr.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0003-1959-9597>

Palabras clave

Absorción mineral; retención de humedad; cebolla; riego.

Resumen

La humedad en el suelo se puede estudiar de varias maneras, pero una forma fundamental es la succión con que el agua es retenida. La retención que ejerce el suelo o sustrato de suelo en su espacio poroso sobre la humedad es una representación de la cantidad de presión negativa que debe ejercer la planta por medio de sus raíces para poder succionar el agua que se encuentra en el mismo. Si esta magnitud de succión es alta, entonces puede llegar a ser restrictiva para el crecimiento de la planta. El agua que se encuentra en el espacio poroso llamada usualmente solución del suelo, no se encuentra en estado puro, sino que se encuentra normalmente en disolución y posee elementos químicos que puede o no necesitar la planta para su crecimiento y desarrollo donde al absorber dicha agua, absorbe también los elementos químicos en disolución. Por estas razones se plantaron 4 tratamientos que consistieron en mantener el suelo en ámbitos de 5 – 15 kPa (kilo pascales), 15 – 25 kPa, 25 – 35 kPa y 35 – 45 kPa de retención de agua.

Con respecto a la absorción nutricional que se presentó en el sustrato de suelo, el nitrógeno (N) y el Fósforo (P) mostraron diferencia significativa ($Pvalue < 0,05$) en los ámbitos de succión de agua en el suelo de 5 – 15 kPa, 15 - 25 kPa, 25 – 35 kPa y 35 – 45 kPa y el Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S) mostraron diferencia significativa ($Pvalue < 0,05$) en los ámbitos de 5 – 15 kPa, 15 - 25 kPa, 25 – 35 kPa, pero no mostraron diferencia significativa ($Pvalue > 0,05$) en los ámbitos de 25 – 35 kPa y 35 – 45 kPa. Por lo anterior, se concluyó que si existe un efecto inverso del aumento de la succión de agua en el suelo en la disminución de la capacidad de absorción nutricional.

Keywords

Nutrient absorption; moisture retention; onion; irrigation.

Abstract

Moisture in the soil can be studied in several ways, but a fundamental way is the suction with which the water is retained. The retention exerted by the soil or soil substrate in its pore space on moisture is a representation of the amount of negative pressure that the plant must exert through its roots to suck the water found in it. If this magnitude of suction is high, then it can become restrictive to plant growth. The water found in the porous space, usually called soil solution, is not found in a pure state, but is normally found in solution and has chemical elements that the plant may or may not need for its growth and development, whereby absorbing said water, also absorbs the chemical elements in solution. For these reasons, 4 treatments were planted which consisted of maintaining the soil in ranges of 5 - 15 kPa, 15 - 25 kPa, 25 - 35 kPa and 35 - 45 kPa of water retention and quantifying the nutritional absorption. With respect to nutritional uptake which was present in the soil substrate, Nitrogen (N) and Phosphorus (P) showed significant difference ($Pvalue < 0,05$) in the soil water suction ranges of 5 - 15 kPa, 15 - 25 kPa, 25 - 35 kPa and 35 - 45 kPa and Potassium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg) and Sulfur (S) showed significant difference ($Pvalue < 0,05$) in the 5 - 15 kPa, 15 - 25 kPa, 25 - 35 kPa ranges but showed no significant difference ($Pvalue > 0,05$) in the 25 - 35 kPa and 35 - 45 kPa ranges. Therefore, it was concluded that there is an inverse effect of the increase of water suction in the soil on the decrease of nutritional absorption capacity.

Introducción

Los suelos retienen agua de acuerdo con sus propiedades físicas y a esta característica se le llama usualmente “Capacidad de Retención de Humedad”. El agua en el suelo es retenida principalmente por los fenómenos de adhesión, cohesión, la tensión superficial y las partículas retienen el agua de acuerdo con su área específica. La fuerza resultante con que estas partículas retienen el agua se denomina potencial mátrico del agua en el suelo y se expresa en unidades de presión (MPa*10⁻¹ (megapascuales), Cb (centibares) bar (bares) y otros. El término retención de humedad o retención de agua en el suelo está íntimamente ligado a la disponibilidad de agua para las plantas [1] [2] [3].

Se han supuesto puntos característicos de retención de humedad en el suelo (cuadro 1) los cuales son los siguientes:

1. Capacidad de campo: la capacidad de campo real (CCr), es el contenido máximo de humedad que un suelo puede retener en contra de la fuerza de la gravedad y la capacidad de campo equivalente (CCe) se determina en el laboratorio y corresponde a la humedad remanente después de haber sido sometido el suelo a una succión o tensión de 0,33 MPa*10⁻¹.
2. Punto de marchitez permanente: el punto de marchitez permanente real (PMPr) representa el contenido de humedad del suelo en el cual las plantas se marchitan irreversiblemente, aunque se le aplique agua a la planta; y el punto de marchitez permanente equivalente (PMPe) se determina en el laboratorio y corresponde al contenido de humedad remanente después de haber sido sometido el suelo a una succión o tensión de 15 MPa*10⁻¹.
3. Al ámbito del contenido de humedad entre capacidad de campo real y punto de marchitez permanente real se le denomina agua útil o agua aprovechable máxima (AUm) y al ámbito entre capacidad de campo equivalente y punto de marchitez permanente equivalente se le llama agua útil equivalente. El AUm es aquella cantidad de agua máxima que pueden utilizar las plantas en el suelo y el agua útil actual (AUa) es aquella correspondiente a la diferencia entre la humedad actual que existe en el suelo y el punto de marchitez permanente [4] [5] [2] [6].

Cuadro 1. Humedad del suelo y presión de succión de agua en el suelo.

Tensión del agua en el suelo en términos de la altura de agua (cm)	Tensión del agua del suelo (MPa x10 ⁻¹)	Constantes de humedad
1	1/1000	Humedad de saturación
346	1/3	Capacidad de campo equivalente
15849	15	Punto de marchitez permanente equivalente

Tomado de: [3]

En condiciones de campo abierto se ha encontrado que la masa promedio de los bulbos de cebolla se relacionan de manera inversa con las mayores tensiones de agua en el suelo y de manera directa con las mayores láminas de riego aplicadas y se informa de un máximo de succión de agua posible en el suelo de -15 kPa [7]. También se afirma que para cultivos hortícolas cuando son irrigadas por medio del riego por goteo donde solamente se moja una fracción de suelo, el potencial matricial no debe ser menor a -40 kPa en el bulbo de riego [8].

Campos de cebolla sometidos a déficits hídricos moderados con tensiones entre -70 y -100 kPa reducen su producción de bulbos hasta un 30% y se recomienda realizar los riegos entre -7 y -15 kPa de tensión para suelos arenosos y de entre -20 y -40 kPa para suelos de texturas medias y finas [9] [10] [11]. Por otra parte, se recomienda para el cultivo de cebolla cuando se usa riego por goteo un ámbito de succión de -10 a -20 kPa donde se tiene un suelo con una condición de humedad y aireación adecuada para hortalizas altamente sensibles al déficit de agua a excepción de suelos livianos como los arenosos [12].

Sin embargo, en cultivos bajo protección de plástico se recomienda, para evitar la presencia de enfermedades fungosas y bacterianas y/o nemátodos, mantener el suelo con menor contenido de humedad y por ende, una mayor succión del agua en el suelo con tensiones máximas de -30 a -50 kPa para hortalizas sensibles [13]

La absorción de nutrientes puede ocurrir todos los días durante casi todo el ciclo de la planta o los diferentes procesos metabólicos que requieren de diferentes nutrientes tanto cualitativa como cuantitativamente en los diferentes tejidos y órganos y en las diferentes etapas de desarrollo [14] [15].

Los macroelementos más absorbidos por las plantas desde la solución del suelo son N, P, K, Ca, Mg y S y ante el cambio climático es necesario conocer el impacto que tiene la retención de agua sobre la absorción nutricional del cultivo de cebolla. Las cantidades de macronutrientes absorbidos por el cultivo de cebolla en todo su ciclo productivo son variables donde el N es de 55,6 a 154 kg ha⁻¹; P de 9,4 a 22 kg ha⁻¹; K de 78,9 a 177 kg ha⁻¹; Ca de 7,5 a 18 kg ha⁻¹; Mg de 6,3 a 18 kg ha⁻¹ y S de 34 a 48 kg ha⁻¹ [16]. Según los mismos autores manifiestan que esta variabilidad se presenta según la productividad, la variedad, tipo de suelo, luz, temperatura, presencia o disponibilidad de nutrimentos, densidad de plantas sembradas y disponibilidad de agua en el suelo.

Para una población de 320 000 plantas ha⁻¹ y una productividad de 78,9 ton ha⁻¹, al final del ciclo del cultivo 148 días después de la siembra (DDS) la cebolla cultivar 'Aquarius' extrajo 157,2 kg ha⁻¹ de N; 29,1 kg ha⁻¹ de P; 256,2 kg ha⁻¹ de K; 83,6 kg ha⁻¹ de Ca; 15,4 kg ha⁻¹ de Mg; 53,2 kg ha⁻¹ de S [17]. Para una población de 420 000 plantas ha⁻¹ y una productividad de 72 ton ha⁻¹ el híbrido de cebolla 'Optima' extrajo, al final del ciclo del cultivo (150 DDS): 61,22 kg ha⁻¹ de N; 8,74 kg ha⁻¹ de P; 106,18 kg ha⁻¹ de K; 59,45 kg ha⁻¹ de Ca; 11,56 kg ha⁻¹ de Mg y 31,55 kg ha⁻¹ de S [18].

Metodología

La metodología de esta investigación se describe con mayor amplitud en el artículo científico "Evapotranspiración de referencia, evapotranspiración real y el coeficiente de cultivo para el cultivo de cebolla (*Allium cepa*) c.v. Álvara promedio en invernadero" (en proceso de publicación en la revista Tecnología en Marcha).

La investigación se llevó a cabo en el cantón de Alvarado, distrito Pacayas, de la provincia de Cartago; específicamente en un invernadero ubicado en Patalillo (Barrio Fátima) con una altura de 1600 msnm, precipitación de 2299,8 mm al año en promedio, temperatura promedio de 16,5 °C, brillo solar promedio de 4,3 horas al día y humedad relativa promedio del 88 %. Se sembró en sustrato que se colocó en canastas de 35,0 cm de ancho; 55,0 cm de largo y 20,0 cm de alto y se llenaron con suelo franco de origen volcánico (andisol) mezclado con graba fina y arena con origen calcáreo. En las canastas se logró una altura de 20,00 a 23,00 cm para un volumen total de sustrato de 44,00 l. El riego se realizó con un sistema por goteo el cual dotó de 7,80 l h⁻¹ a cada canasta que contó con 12 plantas sembradas. Estos 7,80 l h⁻¹ se aplicó por medio de 6 goteros donde cada una de ella corresponde a un gotero de 1,30 l h⁻¹ distribuidas

uniformemente en cada una de las canastas. Se sembró el cultivo de cebolla (*Allium cepa*) c.v. Álvara para establecer el experimento de 4,50 meses de periodo del cultivo, para los cuales se contó con 4 tratamientos, a saber 4 diferentes ámbitos de succión de humedad del suelo (partiendo al inicio cuando se realiza el trasplante del cultivo de cebolla) del punto de capacidad de campo de la siguiente manera:

1. Tratamiento 1 (con 4 repeticiones): mantenido en un ámbito de succión de 5 a 15 kilo Pascales (kPa).
2. Tratamiento 2 (con 3 repeticiones): mantenido en un ámbito de succión de 15 a 25 kilo Pascales (kPa).
3. Tratamiento 3 (con 4 repeticiones): mantenido en un ámbito de succión de 25 a 35 kilo Pascales (kPa).
4. Tratamiento 4 (con 3 repeticiones): mantenido en un ámbito de succión de 35 a 45 kilo Pascales (kPa).

Para el análisis de la absorción nutricional (kg ha^{-1}), al final del periodo del cultivo se llevaron las muestras de cada una de las repeticiones de cada tratamiento al laboratorio “Centro de Investigaciones Agronómicas” de la Universidad de Costa Rica para la estimación de las concentraciones nutricionales del cultivo de cebolla en los tejidos de hojas, raíces y bulbos.

Resultados

Los ámbitos de succión de agua en el suelo crecientes produjeron diferencias significativas ($P\text{-value}<0,05$) en la absorción nutricional de N como se observa en el cuadro 2.

Los valores de las medias poblacionales de absorción de N (figura. 1) se encontraron en los siguientes ámbitos, T1 (5-15) kPa de 117,46 a 140,69 kg ha^{-1} , T2 (15-25) kPa de 70,85 a 97,68 kg ha^{-1} , T3 (25-35) kPa de 40,73 a 63,96 kg ha^{-1} y T4 (35-45) kPa de 9,53 a 36,36 kg ha^{-1} .

Cuadro 2: Absorción nutricional de N ($\text{kg ha}_{\text{efectiva}}^{-1}$) según la succión de agua presente en el suelo (densidad 623 377 plantas $\text{ha}_{\text{efectiva}}^{-1}$)

Factor	Repeticiones	Media muestral	StDev	Signif-ican-cia	%CV
T1 (5-15) kPa	4	129,08	13,19	A	10,22
T2 (15-25) kPa	3	84,26	12,37	B	14,68
T3 (25-35) kPa	4	52,34	8,87	C	16,95
T4 (35-45) kPa	3	22,94	3,39	D	14,78

Medias que no presentan igual letra muestran diferencias significativas ($P\text{-value}<0,05$)

La absorción del N presentó un descenso continuo conforme aumenta la succión de agua en el suelo (Fig. 1) donde T2 (15-25) kPa descendió 34,72 % respecto al T1 (5-15) kPa, el T3 (25-35) kPa 37,88% respecto a T2 (15-25) kPa y el T4 (35-45) kPa 56,17% respecto al T3 (25-35) kPa.

Los ámbitos de succión de agua en el suelo crecientes mostraron diferencias significativas ($P\text{-value}<0,05$) en la absorción nutricional de P como se muestra en el cuadro 3.

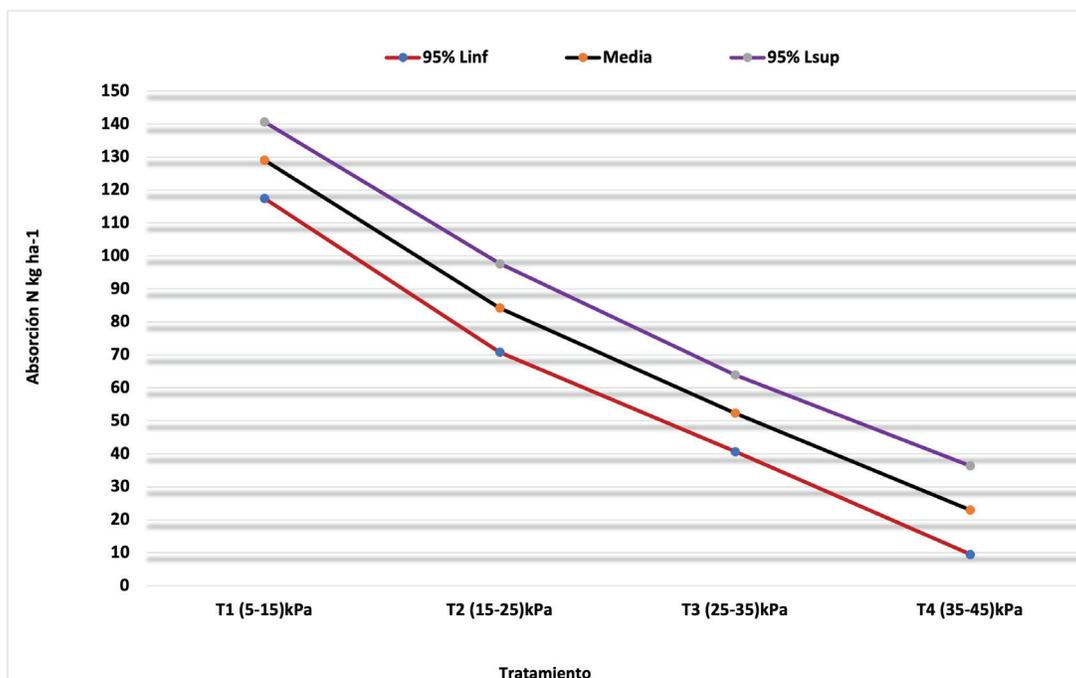


Figura 1. Absorción de N según los ámbitos de succión de humedad presente en el suelo en el cultivo de cebolla (*Allium cepa*) c.v. Álvara

Los valores de las medias poblacionales de absorción de P (Fig. 2) se encontraron en los siguientes ámbitos, T1 (5-15) kPa de 16,10 a 19,90 kg ha⁻¹, T2 (15-25) kPa de 9,45 a 13,84 kg ha⁻¹, T3 (25-35) kPa de 5,43 a 9,23 kg ha⁻¹ y T4 (35-45) kPa de 0,48 a 4,87 kg ha⁻¹.

Cuadro 3. Absorción nutricional de P (kg ha_{efectiva}⁻¹) según la succión de agua presente en el suelo (densidad 623 377 plantas ha_{efectiva}⁻¹).

Factor	Repeticiones	Media muestral	StDev	Significancia	%CV
T1 (5-15) kPa	4	18	2,82	A	15,67
T2 (15-25) kPa	3	11,643	0,491	B	4,22
T3 (25-35) kPa	4	7,329	1,252	C	17,08
T4 (35-45) kPa	3	2,671	0,225	D	8,42

Medias que no presentan igual letra muestran diferencias significativas (P-value<0,05)

La absorción del P presentó un descenso continuo conforme aumenta la succión de agua en el suelo (Fig. 2) donde T2 (15-25) kPa descendió 35,32 % respecto al T1 (5-15) kPa, el T3 (25-35) kPa 37,05% respecto a T2 (15-25) kPa y el T4 (35-45) kPa 63,56% respecto al T3 (25-35) kPa.

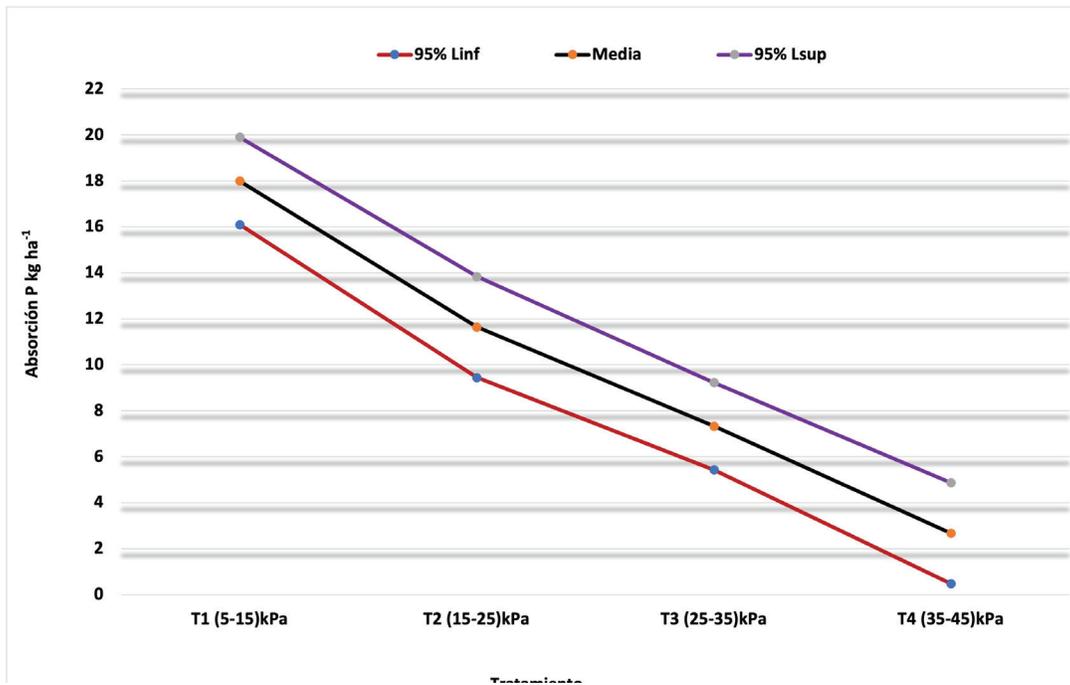


Figura 2. Absorción de P según los ámbitos de succión de humedad presente en el suelo en el cultivo de cebolla (*Allium cepa*) c.v. Álvara

Los ámbitos de succión de agua en el suelo crecientes mostraron diferencias significativas ($P\text{-value} < 0,05$) en la absorción nutricional del Ca como se muestra en el cuadro 4.

Los valores de las medias poblacionales de absorción de Ca (Fig. 3) se encontraron en los siguientes ámbitos, T1 (5-15) kPa de 49,80 a 58,23 kg ha⁻¹, T2 (15-25) kPa de 28,07 a 37,81 kg ha⁻¹, T3 (25-35) kPa de 10,13 a 18,57 kg ha⁻¹ y T4 (35-45) kPa de 4,79 a 14,53 kg ha⁻¹.

La absorción del Ca presentó un descenso continuo conforme aumenta la succión de agua en el suelo (Fig. 3) donde T2 (15-25) kPa descendió 39,01 % respecto al T1 (5-15) kPa, el T3 (25-35) kPa 56,43% respecto a T2 (15-25) kPa y el T4 (35-45) kPa 32,68% respecto al T3 (25-35) kPa.

Cuadro 4. Absorción nutricional de Ca (kg ha_{efectiva}⁻¹) según la succión de agua presente en el suelo (densidad 623 377 plantas ha_{efectiva}⁻¹)

Factor	Repeticiones	Media muestral	StDev	Significancia	%CV
T1 (5-15) kPa	4	54,01	5,61	A	10,39
T2 (15-25) kPa	3	32,94	4,16	B	12,63
T3 (25-35) kPa	4	14,35	1,732	C	12,07
T4 (35-45) kPa	3	9,66	1,626	C	16,83

Medias que no presentan igual letra muestran diferencias significativas ($P\text{-value} < 0,05$)

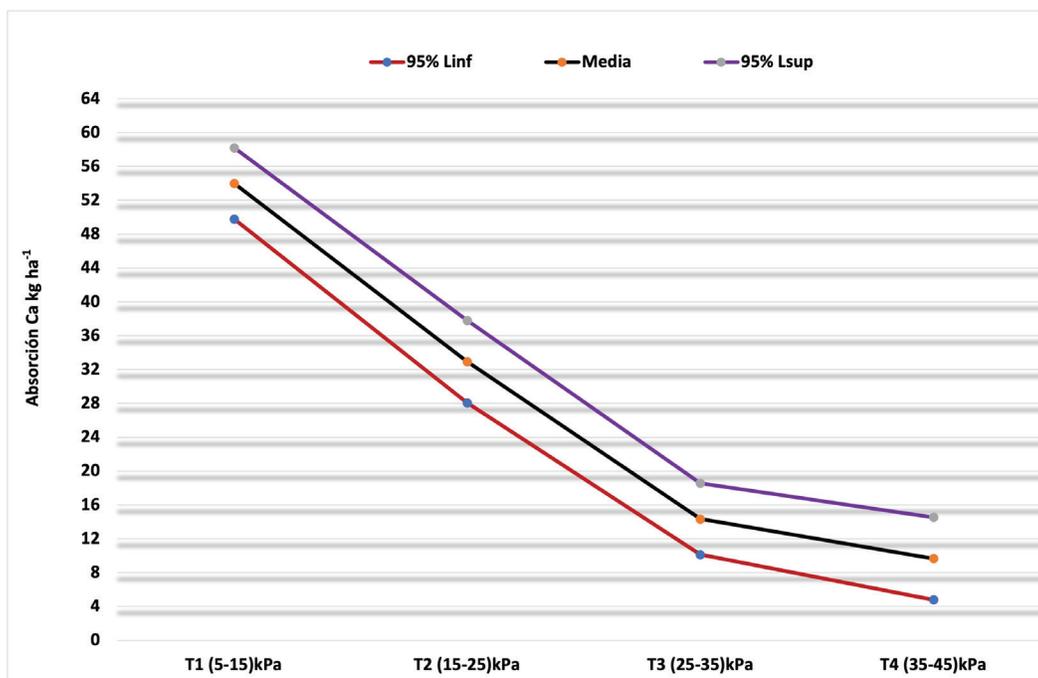


Figura 3. Absorción de Ca según los ámbitos de succión de humedad presente en el suelo en el cultivo de cebolla (*Allium cepa*) c.v. Álvara

Los ámbitos de succión de agua en el suelo crecientes mostraron diferencias significativas en la absorción nutricional del Mg como se muestra en el cuadro 5.

Los valores de las medias poblacionales de absorción de Mg (figura 4) se encontraron en los siguientes ámbitos, T1 (5-15) kPa de 11,38 a 14,21 kg ha⁻¹, T2 (15-25) kPa de 6,38 a 9,64 kg ha⁻¹, T3 (25-35) kPa de 2,90 a 5,73 kg ha⁻¹ y T4 (35-45) kPa de 0,58 a 3,54 kg ha⁻¹.

La absorción del Mg presentó un descenso continuo conforme aumenta la succión de agua en el suelo (figura 4) donde T2 (15-25) kPa descendió 37,15 % respecto al T1 (5-15) kPa, el T3 (25-35) kPa 46,16% respecto a T2 (15-25) kPa y el T4 (35-45) kPa 48,82% respecto al T3 (25-35) kPa.

Cuadro 5. Absorción nutricional de Mg (kg ha_{efectiva}⁻¹) según la succión de agua presente en el suelo (densidad 623 377 plantas ha_{efectiva}⁻¹)

Factor	Repeticiones	Media muestral	StDev	Significancia	%CV
T1 (5-15) kPa	4	12,75	2,03	A	15,92
T2 (15-25) kPa	3	8,013	1,146	B	14,30
T3 (25-35) kPa	4	4,314	0,495	C	11,47
T4 (35-45) kPa	3	2,208	0,408	C	18,48

Medias que no presentan igual letra muestran diferencias significativas (P-value<0,05)

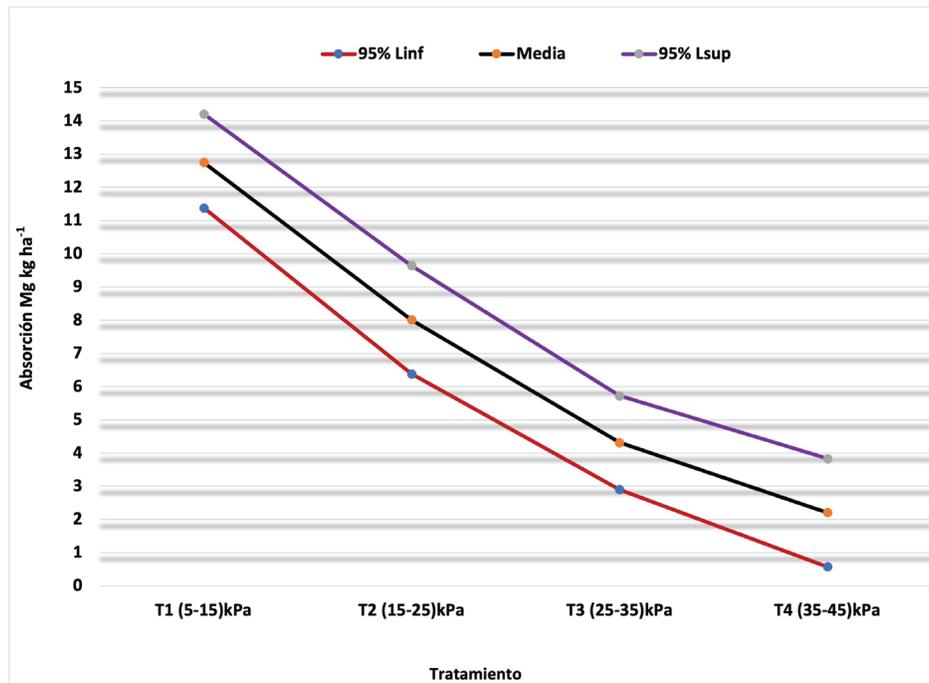


Figura 4. Absorción de Mg según los ámbitos de succión de humedad presente en el suelo en el cultivo de cebolla (*Allium cepa*) c.v. Álvara

Los ámbitos de succión de agua en el suelo crecientes mostraron diferencias significativas ($P\text{-value} < 0,05$) en la absorción nutricional del K como se muestra en el cuadro 6.

Los valores de las medias poblacionales de absorción de K (figura 5) se encontraron en los siguientes ámbitos, T1 (5-15) kPa de 133,30 a 164,4 kg ha⁻¹, T2 (15-25) kPa de 73,71 a 109,61 kg ha⁻¹, T3 (25-35) kPa de 41,02 a 72,12 kg ha⁻¹ y T4 (35-45) kPa de 8,30 a 44,20 kg ha⁻¹.

La absorción del K presentó un descenso continuo conforme aumenta la succión de agua en el suelo (figura 5) donde T2 (15-25) kPa descendió 38,40 % respecto al T1 (5-15) kPa, el T3 (25-35) kPa 38,28% respecto a T2 (15-25) kPa y el T4 (35-45) kPa 53,59% respecto al T3 (25-35) kPa.

Los ámbitos de succión de agua en el suelo crecientes mostraron diferencias significativas ($P\text{-value} < 0,05$) en la absorción nutricional del S como se muestra en el cuadro 7.

Cuadro 6. Absorción nutricional de K (kg ha_{efectiva}⁻¹) según la succión de agua presente en el suelo (densidad 623 377 plantas ha_{efectiva}⁻¹).

Factor	Repeticiones	Media muestral	StDev	Significancia	%CV
T1 (5-15) kPa	4	148,8	20,6	A	13,84
T2 (15-25) kPa	3	91,66	16,24	B	17,72
T3 (25-35) kPa	4	56,57	6,1	C	10,78
T4 (35-45) kPa	3	26,25	4,02	C	15,31

Medias que no presentan igual letra muestran diferencias significativas ($P\text{-value} < 0,05$)

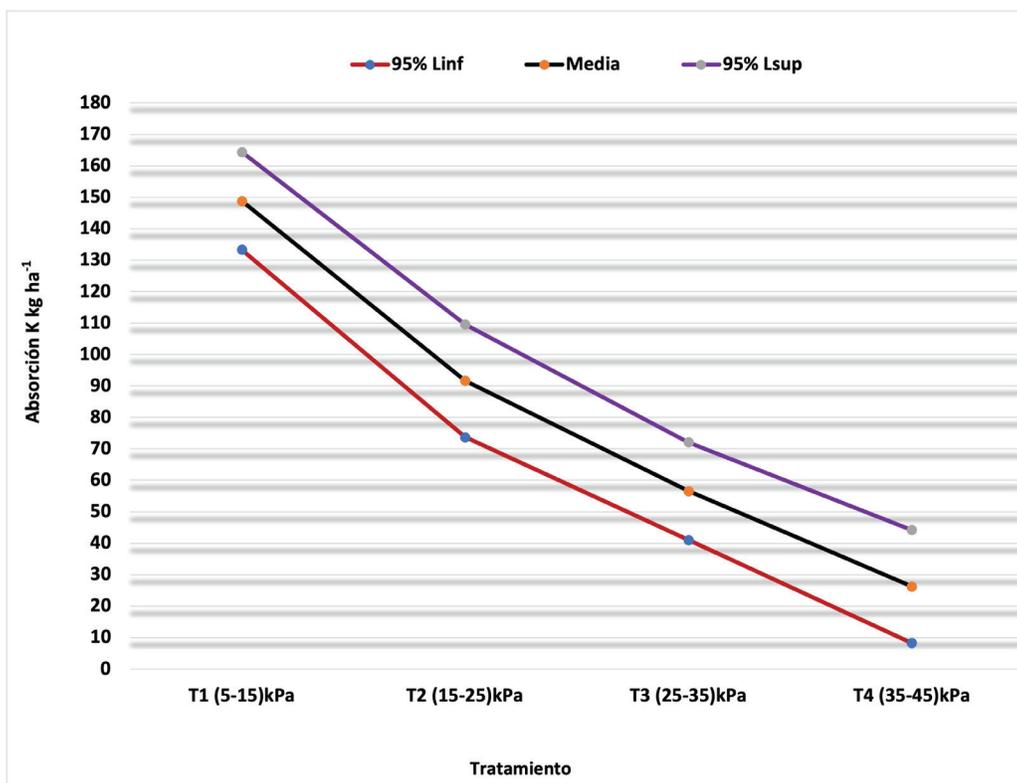


Figura 5. Absorción de K según los ámbitos de succión de humedad presente en el suelo en el cultivo de cebolla (*Allium cepa*) c.v. Álvara

Cuadro 7. Absorción nutricional de S ($\text{kg ha}_{\text{efectiva}}^{-1}$) según la succión de agua presente en el suelo (densidad 623 377 plantas $\text{ha}_{\text{efectiva}}^{-1}$)

Factor	Repeticiones	Media muestral	StDev	Significancia	%CV
T1 (5-15) kPa	4	22,68	2,32	A	10,23
T2 (15-25) kPa	3	13,24	3,07	B	23,19
T3 (25-35) kPa	4	7,78	1,53	C	19,67
T4 (35-45) kPa	3	3,61	0,674	C	18,67

Medias que no presentan igual letra muestran diferencias significativas (P-value<0,05)

La absorción del S presentó un descenso continuo conforme aumenta la succión de agua en el suelo (figura. 6) donde T2 (15-25) kPa descendió 41,62 % respecto al T1 (5-15) kPa, el T3 (25-35) kPa 41,24% respecto a T2 (15-25) kPa y el T4 (35-45) kPa 53,60% respecto al T3 (25-35) kPa.

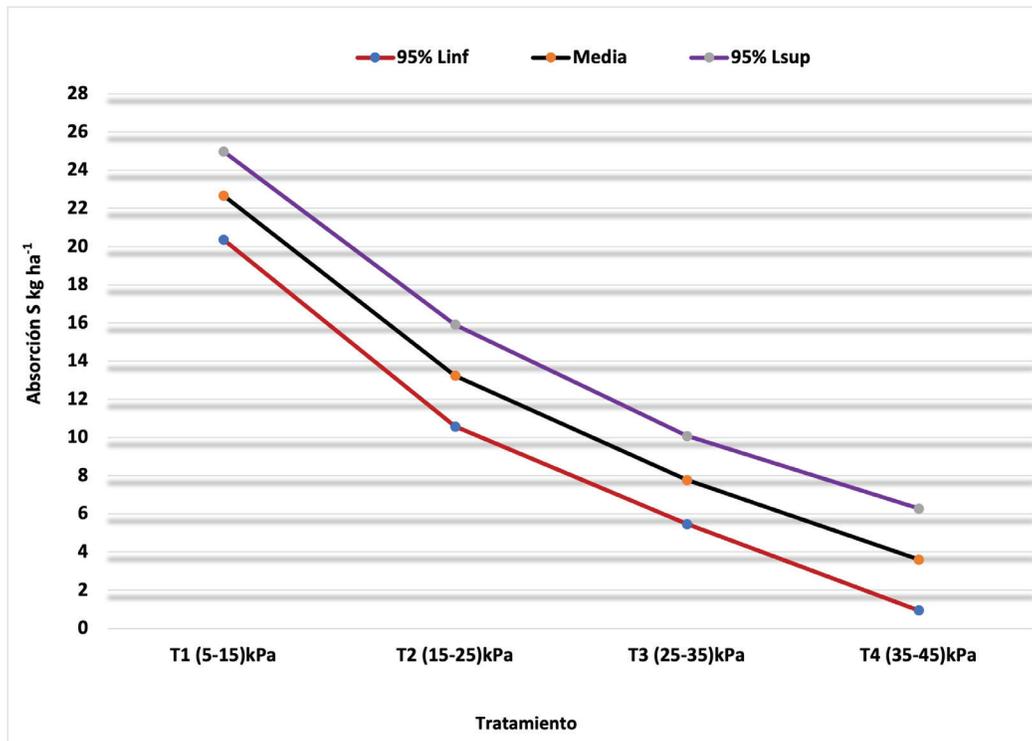


Figura 6. Absorción de S según los ámbitos de succión de humedad presente en el suelo en el cultivo de cebolla (*Allium cepa*) c.v. Álvara

Los valores de las medias poblacionales de absorción de S (Fig. 6) se encontraron en los siguientes ámbitos, T1 (5-15) kPa de 20,37 a 24,99 kg ha⁻¹, T2 (15-25) kPa de 10,58 a 15,91 kg ha⁻¹, T3 (25-35) kPa de 5,47 a 10,09 kg ha⁻¹ y T4 (35-45) kPa de 0,95 a 6,28 kg ha⁻¹.

La desviación con respecto a su promedio en la absorción de N, Ca, Mg y K que puede absorber el cultivo de cebolla mostró un descenso constante conforme aumentó la succión de agua en el suelo lo cual nos indica que a mayor succión la amplitud de la absorción de N, Ca, Mg y K para cada tratamiento es menor debido posiblemente a que el factor tensión de humedad se va haciendo cada vez más restrictivo conforme aumenta respecto a todos los demás factores que generan variabilidad.

Los resultados reportados por Fernandes y otros, sobre los ámbitos de macronutrientes absorbidos por el cultivo de cebolla con respecto a los resultados de la presente investigación, mostró que el N, P, K y el Mg se encuentran dentro de dichos ámbitos en los valores más bajos. El Ca fue mayor, el S fue menor a los ámbitos mencionados tomando en cuenta el número de plantas por área establecida.

Tomando en cuenta el tratamiento T1 (5 - 15) kPa que mostró mayor absorción de N, P, K, Ca, Mg y S y el número de plantas establecidas; los resultados de Moraes y otros presentó menor absorción de N en 29,61% y el P en 27,93 % y se absorbió en mayor cantidad el K en 5,91%, Ca en 63,37%, el Mg en 34,57% y el S en 106,47%. Además, los resultados de Pôrto y otros presentó que absorbió en mayor cantidad todos los macroelementos donde el N fue en 137,24%, el P en 214,94%, el K en 235,41%, el Ca en 201,53%, el Mg en 135,29% y el S en 356,95%.

En el agua que absorbe la planta por las raíces lleva los nutrimentos en solución y esa agua en su gran mayoría, es liberada de la planta por medio de los estomas en forma de vapor donde usualmente a mayor agua transpirada mayor absorción nutricional, siempre y cuando exista una buena disponibilidad de éstos.

Al verse afectada la absorción nutricional manifestado en las menores cantidades de nutrimentos absorbidos por el efecto creciente de la retención de humedad en el suelo, nos sugiere una alta posibilidad que la tasa de transpiración disminuyó y como tal, como un efecto directo en consecuencia y también con una alta posibilidad, la tasa de fotosíntesis también disminuyó.

No obstante, los ámbitos de succión de agua en el suelo de 5 – 35 kPa usualmente se han considerado como “no restrictivos” para la absorción de la solución del suelo para las plantas, pero la presente investigación encontró que en el caso del cultivo de cebolla sembrado en el sustrato-suelo, si presentó restricciones en estos ámbitos de succión de agua en el suelo.

Por otro lado, también nos indica el hecho de que las plantas posiblemente consumieron mayor energía al hacer un mayor esfuerzo para absorber la solución del suelo conforme se presentó mayor succión de agua y esto conllevó, a tener menor disponibilidad de asimilados para la formación de tejidos expresado en hojas, raíces y bulbos.

Conclusiones

La absorción de N, P, K, Ca, Mg y S en el cultivo de cebolla (*Allium cepa*) c.v. Álvara presentó un efecto de disminución de absorción de cada uno de ellos debido al aumento de la succión con que es retinada el agua en el suelo (P-value < 0,05).

El tratamiento con el ámbito de menor succión T1 (5-15) kPa presentó la mayor productividad y concuerda con los valores encontrados en Brasil por la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

Capacidad de campo equivalente (cuadro 1) está ubicado en la presente investigación en el ámbito de succión de 25 – 35 kPa donde en todos los casos de los macro nutrimentos, la absorción disminuyó (P-value < 0,05) respecto al tratamiento que presentó el ámbito de menor succión T1 (5 - 15) kPa; lo cual nos indica que se debe de ajustar la tensión de agua en el suelo para procurar las mayores producciones según tipo de suelo o sustrato, variables ambientales sean estas controladas o abiertas y la variedad o hibridación del cultivo.

Agradecimientos

Se agradece a las siguientes personas físicas y jurídicas por sus aportes al desarrollo de la presente investigación.

1. Comisión de Manejo y Ordenamiento de la Cuenca Alta Río Reventazón (COMCURE) (<https://sites.google.com/site/comcurecr/Home>)
2. Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) (<https://www.tec.ac.cr/>)
3. Productor Allen Aguilar Chacón
4. Fromak S. A.

Referencias

- [1] L. Rossato, *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: Dissertação de Mestrado em Meteorologia orientada pela Dra Regina Célia dos Santos*, São José dod Campos, 2001, p. 147.

- [2] R. Rojas, «Las relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera en planificación, diseño y manejo de proyectos de aguas y tierras,» (sf). [En línea]. Available: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/rojas.r/RASPA.PDF>. [Último acceso: 24 07 2016].
- [3] A. Chavarría, Manual de prácticas del curso Relación Suelo Agua Planta, Cartago, Cartago, 2013.
- [4] E. J. DE SOUZA, F. FRANÇA DA CUNHA, F. FAGNER MAGALHÃES, T. RAMOS DA SILVA, M. C. REZENDE ZUFFO BORGES y C. GARCIA ROQUE, «MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA UMIDADE DO SOLO NA CAPACIDADE DE CAMPO,» *Revista de Ciências Agro- Revista de Ciências Agro-Ambientais, Alta Floresta Ambientais, Alta Floresta Ambientais, Alta Floresta-MT*, vol. 11, nº 1, pp. 43 - 50, 2013.
- [5] A. . C. Saraiva da Costa, M. R. Nanni y E. Jeske, «DETERMINAÇÃO DA UMIDADE NA CAPACIDADE DE CAMPO E PONTO DE MURCHAMENTO PERMANENTE POR DIFERENTES METODOLOGIAS,» *UNIMAR*, vol. 19, nº 3, pp. 827 - 844, 22 08 1997.
- [6] L. Santos , J. Valero, M. Picornell y J. Tarjuelo, El riego y sus tecnologías, Albacete: Europa-América, 2010.
- [7] R. Vilas Boas, G. Pereira, R. de Sousa y R. Consoni, «Desempenho de cultivares de cebola em função do manejo da irrigação por gotejamento,» *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 15, nº 2, pp. 117 - 124, 27 04 2011.
- [8] G. Libório, S. Oliveira, C. Aragao, N. Duarte y C. Fernandes, «DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE CEBOLA SOB DIFERENTES MANEJOS DE IRRIGAÇÃO NO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO,» *Irriga*, vol. 18, nº 1, pp. 73 - 84, janeiro-março 2013.
- [9] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Sistemas de produção, 3: Cultivo da cebola no Nordeste, G. M. d. R. Nivaldo Duarte Costa, Ed., 2007, p. 90.
- [10] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), «Embrapa Hortaliças,» [En línea]. Available: <https://www.embrapa.br/hortalicas/cebola/como-plantar>. [Último acceso: 24 12 2019].
- [11] Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Agrometeorologia dos Cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola, 1ra ed., Brasilia, 2009, p. 530.
- [12] Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasil, «Embrapa hortaliças: Circular técnica 57,» 2008.
- [13] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças, «Circular técnica de Embrapa hortaliças,» 1997.
- [14] Azofeifa, A.; Moreira, M., *Agronomía Costarricense*, vol. 29, San José,, 2005, pp. 77 - 84.
- [15] Azofeifa, A.; Moreira, M., *Agronomía Costarricense*, vol. 31, San José, , 2008, pp. 19 - 29.
- [16] E. Fernandes, D. Fernandes, J. Silva y T. Bull, *XXXI Congreso Brasileiro de Ciência do Solo*, Río Grande del Sur, 2007, p. 4.
- [17] C. Moraes, H. de Araujo, T. Factor y L. Purquerio, «Fenologia e acumulação de nutrientes por cebola de dia curto em sementeira direta (Phenology and nutrient accumulation by short-day onion in direct seeding),» *Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal*, vol. 39, nº 2, pp. 281 - 290, Setiembre 2016.
- [18] D. Pôrto, A. Cecílio, A. May y J. Barbosa, «Acúmulo de macronutrientes pela cebola 'Optima' estabelecida por sementeira direta,» *Horticultura Brasileira*, vol. 24, nº 4, pp. 470 - 475, Octubre - Diciembre 2006.
- [19] R. Salazar-Moreno, A. Rojano-Aguilar y I. López-Cruz, «La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada,» *Tecnología y Ciencias del agua*, vol. 1, nº 2, pp. 177 - 183, 04 2014.
- [20] J. L. Ríos-Flores, M. Torres-Moreno, M. A. Torres-Moreno y J. E. Cantú Brito, «Eficiencia y productividad del cultivo de frijos en un sistema de por bombeo en Zacatecas, México,» *Ciencia Naturales y Agropecuarias*, vol. 24, nº 2, pp. 152 - 163, 10 2017.
- [21] G. Rocca da Cunha, A. Santi, A. Pasinato, G. A. Dalmago, J. L. Fernandes Pires y J. A. de Gouvêa, «Gestão da produtividade da água em agricultura: o desafio de elevar o rendimento dos cultivos em ambientes com restrição hídrica,» *Plantio Direto*, vol. 144, pp. 27 - 31, S.f.
- [22] V. P. da S. Paz, J. A. Frizzone, T. A. Botrel y M. V. Folegatti, «Otimização do uso da água em sistemas de irrigação por aspersão,» *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 6, nº 3, pp. 404 - 408, 2002.
- [23] R. da Costa Ferreira, *Universidade Federal de Campin Grande: Programa de Pós- graduação em Meteorologia*, Campina Grande, Paraíba, 2014.
- [24] E. de Oliveira Feitosa, A. F. Batista Araújo, F. Bezerra Lopes, E. Maia Andrade y F. M. Lima Bezerra, «ANÁLISE DE CUSTOS E RENTABILIDADE NA PRODUÇÃO DE MAMÃO IRRIGADO NO SEMIÁRIDO,» *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, vol. 12, nº 1, pp. 2293 - 2304, 01 - 02 2018.

- [25] F. González Robaina, J. Herrera Puebla, T. López Seijas y G. Cid Lazo, «Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba,» *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 23, nº 4, pp. 21 - 27, 12 2014.
- [26] Instituto Nacional de Meteorología (INMET), *Agrometeorología dos cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola*, Brasília - DF, 2009, p. 530.
- [27] R. Testezlaf, *Universidade Estadual de Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola.*, São Paulo, Sf..
- [28] E. d. J. Montenegro-Hernández, Cartago, Cartago, 2018, p. 507.