

Crecimiento vertical y parte del día para notarlo en tallos de plántulas de tomate

Leopoldo Partida Ruvalcaba¹, Tomás Díaz Valdés², Leidy Cortegaza Ávila², Norma D. Zazueta Torres¹, Luz L. Cázares Flores¹, Moisés G. Yáñez Juárez¹

¹Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, Carretera Culiacán-Eldorado, km 17.5, s/n, CP 80000. Culiacán, Sinaloa. México.

²Universidad Central del Este; Ave. Francisco Alberto Caamaño Deñó, San Pedro de Macorís, República Dominicana.

^{1,2}tdiaz@uce.edu.do

Recibido: 9 ene. 2023 Aceptado: 15 feb. 2023

RESUMEN

La investigación se hizo para determinar durante que parte del día ocurre la notoriedad del crecimiento del tallo y en qué cantidad se hace evidente en plántulas de tomate. La siembra se realizó el 03 de Septiembre de 2021 en macetas con capacidad de 20 kg de suelo de aluvión mezclado con arena en proporciones volumen: volumen (v:v) de 50/50. Se practicó aclareo y se dejaron dos plantas por maceta, pero sólo en una de ellas se llevó a cabo la toma de datos. Las medidas de altura del tallo se llevaron a cabo a partir de los 21 días después de la siembra para lo que en el suelo se introdujo un pequeño tutor con el extremo superior hasta la yema apical, de tal manera que a partir de ese punto se iniciaron las mediciones cada 2, 3 ó 4 días a las 8:00 a.m., ya que a las 24 horas fue muy difícil medir cuánto habían crecido las plántulas. Al total de mm que fueron determinados el día 27 de septiembre se le restaron los que las plantas habían crecido hasta el día 24 del mismo mes, y así sucesivamente. Con los datos recabados se estimó el promedio de crecimiento por día hasta la formación de la novena hoja y la segunda inflorescencia. El crecimiento en altura de plántulas de tomate del cultivar 'El Cid F₁', ocurrió principalmente antes del amanecer, pero se ralentizó en la etapa de hojas cotiledones hasta que se formó la primera hoja verdadera, y cada vez que emergió una inflorescencia sobre el tallo y ésta llegó a su madurez, después de lo cual la velocidad de crecimiento se volvió a intensificar hasta en un promedio poco superior a los 13 mm por día.

PALABRAS CLAVE: Elongación del tallo; Parte del día y alargamiento del tallo; Ralentización del crecimiento

ABSTRACT

Vertical growth and part of the day to notice it in stems of tomato seedlings. The research was carried out to determine during which part of the day the notoriety of stem growth occurs and in what quantity it becomes evident in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seedlings. The sowing was carried out on September 03, 2021 in pots with a capacity of 20 kg. of alluvial soil mixed with sand in volume: volume proportions of 50/50. Thinning was carried out and two plants per pot were left, but data collection was carried out on only one of them. The height measurements of the stem were carried out from 21 days after sowing, for which a small stake was introduced into the soil with the upper end reaching the apical bud, in such a way that from, that point, measurements were started every 2, 3 or 4 days at 8:00 a.m., since at 24 hours it was very difficult to measure how much the seedlings had grown. To the total of mm that were determined on September 27, those that the plants had grown until the 24th of the same month were subtracted, and so on. With the data collected, the average growth per day was estimated until the formation of the ninth leaf and the second inflorescence. Height growth of tomato seedlings of the cultivar 'El Cid F₁' occurred mainly before sunrise, but slowed at the cotyledonal leaf stage until the first true leaf was formed, and each time an inflorescence emerged on the stem and it reached maturity, after which the rate of growth intensified again up to an average of just over 13 mm per day.

KEYWORDS: Stem elongation; Day part and stem elongation; Growth slowdown; *Lycopersicon esculentum* Mill

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Salisbury y Ross (2000), el concepto de crecimiento se refiere al aumento de tamaño que ocurre en los organismos multicelulares, de tal manera que una vez que éstos crecen a partir del cigoto, aumentan en volumen, peso, altura, diámetro, área, número de células, cantidad de protoplasma y complejidad. Es decir, crecimiento implica a todas esas características que se pueden medir, como las antes mencionadas, aunque no siempre sean fáciles de medir.

Esta característica se expresa después que las células del meristemo que está en el punto apical (yema) se dividen y luego las que van quedando atrás, que siguen multiplicándose hasta antes de llegar a la zona de elongación celular, se dividirán, agrandarán y elongarán para provocar el crecimiento vertical (altura) de las plantas (Ray, 1975). Esto significa que conforme se da el crecimiento, para la formación de tejidos y órganos, es necesaria la mitosis y citocinesis de las células meristemáticas para formar nuevas células, el agrandamiento y/o alargamiento de las mismas y su diferenciación final para formar vasos, células fotosintéticas, epidérmicas, xilemáticas, floemáticas, almacenadoras, etc., que harán su función durante el resto de su existencia, ya sea vivas o no, dependiendo del tipo de tejido u órgano que se esté formando. Las células diferenciadas ya no pueden seguir dividiéndose o reproducirse, así que el crecimiento posterior que ocurre sólo se da en las partes de las plantas en las que se conservan grupos o capas de células no diferenciadas (http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/48/html/sec_9.html, 2022).

Sin embargo, para que se dé la división y elongación celular es necesaria la metabolización de nutrimentos para que se formen sustancias como el ADN, ARN, aminoácidos, proteínas, enzimas, clorofila, etc., y a su vez el tiempo en que se realicen los hechos mencionados dependerá de las condiciones ambientales en que se encuentren las plantas, ya que cuando los nutrimentos escasean o no existen en el suelo la fotosíntesis no se lleva a cabo, como por ejemplo, cuando el nitrógeno no existe en cantidades suficientes para satisfacer la demanda de las plantas, éstas no podrán completar procesos metabólicos indispensables para su crecimiento y desarrollo; es decir, el nitrógeno juega un papel en la división celular y en muchos otros procesos, como la producción de clorofila, y sin ésta la fotosíntesis no es posible. Por esta razón, cuando la falta de nitrógeno es extrema y este nutrimento ya no se mueve de las hojas más viejas hacia las más nuevas y hacia las células de la zona meristemática ubicada en la yema apical, el crecimiento puede detenerse y las hojas más viejas se caen. A diferencia de lo anterior, cuando el nitrógeno está en exceso en el medio de cultivo de las plantas, éstas crecen exageradamente y disminuye el rendimiento de productos útiles para el ser humano (Vitra; SIMMYT, 2020).

Una sobreabundancia de nitrógeno intensifica el color verde de las hojas, haciéndolas de color verde oscuro, por lo que las plantas forman más follaje y menos raíces, estas son razones por las que en maíz es recomendable aplicar de 300 a 450 kg de N ha⁻¹ para evitar exceso de nitrógeno en el suelo e inducir buen rendimiento por hectárea, ya que con 600 kg de N ha⁻¹ se genera un excedente que ocasiona disminución del mismo carácter (Díaz *et al.*, 2014).

En otro cultivo como la fresa, es posible utilizar 231 kg ha⁻¹ para tener buena producción de materia seca y un ahorro de fertilizante nitrogenado en más de la mitad con respecto a otra dosis evaluada de 693 kg de N ha⁻¹, así como a las cantidades que actualmente aplica la mayoría de los agricultores en la zona productora de fresa en Zamora, Michoacán, México (Vázquez *et al.*, 2008).

Condiciones ambientales, como las mencionadas anteriormente en relación al nitrógeno, influyen para que determinados componentes del reloj circadiano limiten el crecimiento de las plantas hasta el final de la noche, esto es así porque el reloj interno está construido a partir de un conjunto de proteínas celulares cuya cantidad oscila en periodos de 24 horas, de tal manera que plantas como la *Arabidopsis thaliana* alargan el tallo justo antes del amanecer cuando los días son cortos (invierno), cuyo alargamiento del tallo en las plántulas jóvenes está controlado por proteínas PIF, y la acumulación de éstas en la célula depende de la luz solar. Por lo tanto, la luz promueve la degradación de las proteínas PIF durante el día, mientras que, por la

noche, las proteínas PIF se acumulan dentro de la célula y, justo antes del amanecer, promueven el crecimiento del tallo de la planta. Esto es así porque una proteína del reloj circadiano (TOC1 o PRR1) actúa como una puerta durante la noche, permitiendo que PIF actúe sólo al final de la noche. Otros componentes de la misma familia de proteínas PRR (PRR1, PRR5, PRR7 y PRR9) actúan secuencialmente durante el día y la mayor parte de la noche para suprimir la acción de las proteínas PIF. La cantidad de las diferentes proteínas PRR oscila secuencialmente en periodos de 24 horas. Al final de la noche, la cantidad total de proteínas PRR en la célula alcanza su mínimo, lo que permite la acción de las proteínas PIF, toda vez que en ausencia de luz están en su punto de máxima concentración (Europa Press, 2018). Las funciones biológicas de las proteínas PIF en *Brassica napus*, *Brassica rapa* y *Brassica oleracea* tienen que ver con patrones espaciotemporales de expresión de ciertos genes (BnaPIF) y están regulados por la calidad de la luz, los ritmos circadianos, el frío, el calor y la vernalización (Wenqian *et al.*, 2021).

Cuando las plántulas germinan bajo tierra en condiciones de oscuridad, éstas no pueden llevar a cabo la fotosíntesis para producir los azúcares necesarios para impulsar su crecimiento. En su lugar, éstas utilizan lípidos de reserva de la semilla y los degradan en azúcares. Una vez que las plántulas avanzan a través del suelo y emergen a la superficie (nacimiento), estas sufren toda una serie de cambios fisiológicos para iniciar la fotosíntesis. Sin embargo, mientras aún están en condiciones de oscuridad, estos cambios son reprimidos por las proteínas conocidas como factores de transcripción bHLH que interactúan con los fitocromos (PIF). Las proteínas PIF realizan esta acción mediante la represión de los factores necesarios para la fotosíntesis. Tras la exposición a la luz, estas proteínas se degradan, revirtiendo su represión y permitiendo el crecimiento inducido por la luz (European Union, 2022). El objetivo de esta investigación fue determinar durante qué parte del día (noche o antes del amanecer) ocurre la notoriedad del crecimiento en altura del tallo, y en qué cantidad por día se hace evidente en plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.).

METODOLOGÍA

El experimento se realizó en condiciones de macetas en el invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, ubicada a 24° 37' 24" latitud norte y 107° 26' 36" longitud oeste, con 38.54 msnm en Sinaloa, México. Se sembraron semillas de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. del cultivar 'El Cid F₁' del lote G65882 de Harris Moran Seed Company. La siembra se realizó el 03 de Septiembre de 2021 en macetas con capacidad de 20 kg de suelo de aluvión mezclado con arena en proporciones volumen: volumen (v:v) de 50/50. Se practicó aclareo y se dejaron dos plantas por maceta, pero en sólo una de ellas por maceta se midió el agrandamiento promedio del tallo por día.

Las medidas de altura del tallo se llevaron a cabo a partir de los 21 días después de la siembra (dds), para lo que en el suelo se introdujo un pequeño tutor con el extremo superior hasta la yema apical, de tal manera que a partir de esa altura se iniciaron las mediciones cada 2, 3 ó 4 días a las 8:00 a.m., para esperar la expresión del incremento en crecimiento vertical que ocurre horas antes del amanecer debido a la acción de las proteínas PIF (Factor de Interacción de Fitocromo), porque durante el día y gran parte de la noche son inhibidas por las proteínas PRR (Receptores de Reconocimiento de Patrones). Durante los primeros días se vigiló si ocurría alargamiento del tallo en el horario de 12:00-4:00 a.m., lo cual no fue evidente hasta esa hora, y con esa información se decidió tomar las lecturas hasta las 8:00 a.m. El hacer las mediciones al cabo de los periodos referidos y en la hora antes mencionada permitió tomar medidas con más facilidad y precisión, puesto que ya era muy notorio el estiramiento del tallo en las cuatro plantas que sirvieron para este estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de la germinación (emergencia de radícula a través de la testa de la semilla) ocurre la nacimiento de la plántula (emergencia de la plántula sobre la superficie del suelo), lo cual sucedió seis o siete días después de la siembra, y durante seis días la plántula ralentizó su crecimiento en altura, lo que significa que sobrevivió debido a sustancias de reserva y a la fotosíntesis que se llevó a cabo en las dos hojas

cotiledonales, para sintetizar y acumular fotosintatos y formar completamente la primera hoja verdadera, y a partir de que se definió con claridad dicha hoja verdadera, se empezó a notar que continuó el crecimiento en altura del tallo, quizás como resultado del incremento en la síntesis de fotosintatos y acumulación de los mismos para formar nuevas células que, al aumentar en número y tamaño, provocaron el referido crecimiento de la plántula y mayor área de la primera hoja verdadera. El crecimiento continuó hasta que a partir de los 21 días después de la siembra (dds) la plántula creció un promedio de 7.5 a 10.0 mm por cada 24 horas, y así llegó a alcanzar la altura de 17.5 a 30 cm y apareció la primera inflorescencia (racimo de flores), justo a los 31 dds. Después de esta etapa fenológica el crecimiento en altura del tallo volvió a ser muy lento, hasta que la inflorescencia maduró y se definieron claramente sus flores, de tal forma que cuatro días después de su aparición el crecimiento del tallo continuó con más notoriedad. A los 37 dds la planta ya tuvo de 7-9 hojas bien definidas, con longitud de 13-17 cm, y surgió la segunda inflorescencia que ocasionó otra ralentización en el alargamiento del tallo. Quizás la interrupción de la elongación del tallo fue total, pero sólo durante el tiempo que tardó la división y multiplicación de todas aquellas nuevas células en el punto de crecimiento (meristemo) implicadas en el posterior estiramiento del tallo, ya que una vez que éstas crecieron, tanto en longitud como en diámetro y volumen, provocaron la notoriedad del alargamiento del tallo.

En el Cuadro 1 se puede observar que en todos los casos de las plantas utilizadas para estimar el estiramiento por día transcurrido, éste no fue igual y durante todos los días la planta uno siempre creció menos que las demás, mientras que las otras tres crecieron en promedios muy cercanos entre sí; es decir, que en el transcurso de los días 21-24 la planta cuatro creció 33.3% más que la número uno, y las número dos y tres superaron en 16.7% a la misma planta; sin embargo, entre la dos y tres el promedio fue igual, pero con respecto a la cuatro se vieron superadas en 14.3%. Para el día 27/09/2021 la planta número uno creció otros 7.10 mm por día, pero las otras tres incrementaron 9.3 mm más la longitud de su tallo, como se puede ver en el mismo cuadro, lo cual a su vez representó un incremento de 31.0% con respecto a la número uno. Durante los días 28 y 29 de septiembre de 2021 la planta uno tuvo el incremento promedio/día más que se indica en el Cuadro 1, de tal manera que la número tres acumuló el 100% más de crecimiento en comparación a la número uno, en tanto que las otras dos acumularon el 33.3%. Del 30 de septiembre al 01 de octubre la planta uno acumuló otro promedio de 6.5 mm por día, pero dicha media fue superada en 138.5, 146.1 y 130.8%, respectivamente, por las plantas 2, 3 y 4. Finalmente para el día 05/10/2021 la planta uno creció 6.75 mm más por día, en tanto que las demás lo hicieron con los respectivos 81.5, 103.7 y 103.7% más en comparación a la primera.

Planta	mm por día 24/09/2021	mm por día 27/09/2021	mm por día 29/09/2021	mm por día 01/10/2021	mm por día 05/10/2021
1	7.50	7.10	7.50	6.50	6.75
2	8.75	9.30	10.00	15.50	12.25
3	8.75	9.30	15.00	16.00	13.75
4	10.0	9.30	10.00	15.00	13.75
Promedio	8.75	8.75	10.62	13.25	11.62

Tabla 1: Incremento promedio por día de la altura del tallo de plántulas de tomate cultivadas en macetas

Los resultados de esta investigación acerca de que es antes del amanecer cuando se hizo evidente el crecimiento vertical del tallo, coincide con lo publicado por Europa Press (2018), ya que en esta publicación científica se menciona que cierto tipo de proteínas del reloj circadiano limitan el crecimiento de las plantas hasta el final de la noche, porque el reloj interno está construido a partir de un conjunto de proteínas celulares cuya cantidad oscila en periodos de 24 horas, así que plantas como *Arabidopsis*

thaliana alargan su tallo justo antes del amanecer en días cortos (invierno), y que dicho alargamiento en las plántulas jóvenes está controlado por proteínas PIF, mismas que en horas luz se degradan y por la noche se acumulan dentro de la célula y, justo antes del amanecer, promueven el crecimiento del tallo de la planta, porque la proteína TOC1 o PRR1 del reloj circadiano actúa como una puerta durante la noche, permitiendo que PIF actúe sólo al final de la noche. Asimismo, que otras proteínas de la familia PRR (PRR1, PRR5, PRR7 y PRR9) actúan secuencialmente durante el día y la mayor parte de la noche para impedir la función de las proteínas PIF. De tal manera que al final de la noche la cantidad total de proteínas PRR alcanza su mínimo en la célula, y de esta forma pueden actuar las proteínas PIF (Europa Press, 2018).

Estos resultados también son evidencia de que en realidad el crecimiento no se detuvo, sino que sólo se ralentizó, ya que para formar hojas y ocasionar alargamiento del tallo debieron formarse células que luego se alargaron para incrementar la altura del tallo, mayor área foliar y flores más grandes. Esto se puede comprender mejor si se toma en cuenta que el crecimiento puede darse en altura, diámetro, área, peso, volumen y densidad, así que cuando el carácter en cuestión se ralentiza, realmente si está ocurriendo crecimiento, por ejemplo, en peso porque se han formado más células, mismas que cuando se alargan porque otras sustancias han sido introducidas y algunas sirven para que se sinteticen otras dentro de las células, de las cuales cierto tipo se puede utilizar para formar la placa celular y agrandar la membrana y la pared de las células que resultan, para que éstas se puedan elongar y de este modo ocasionen el crecimiento en cualquier modalidad, conforme se da la acción de las proteínas PRR durante las horas luz y gran parte de la noche, así como de las proteínas PIF que se acumulan durante la noche y son degradadas durante el día.

CONCLUSIONES

El crecimiento en altura de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) del cultivar 'El Cid F₁', fue notorio principalmente antes del amanecer, pero se ralentizó en la etapa de hojas cotiledonales hasta que se formó la primera hoja verdadera, y cada vez que emergió una inflorescencia sobre el tallo y ésta llegó a su madurez, después de lo cual la velocidad de crecimiento del tallo se volvió a intensificar hasta en un promedio poco mayor a los 13 mm por día.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Biblioteca digital. (2022). Breve Introducción al Crecimiento de las Plantas. Recuperado el 13 de Julio de 2022. Disponible en: [http://Biblioteca digital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/48/html/sec_9.html](http://Biblioteca%20digital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/48/html/sec_9.html)
2. CIMMYT. (2020). El nitrógeno en la agricultura. El nutriente más esencial en la producción mundial de cultivos es también uno de los más difíciles de manejar. Recuperado el 14 de Julio de 2022. Disponible en: <https://www.cimmyt.org/es/noticias/el-nitrogeno-en-la-agricultura/>
3. Díaz, V. T., Partida R. L., Suárez F. Y., Lizárraga J. R. y López L. A. (2014). Uso eficiente del agua y producción óptima en maíz, con el uso de cuatro dosis de nitrógeno. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 23(1): 32-36.
4. Europa Press (2018). El reloj circadiano limita crecer a la planta hasta el fin de la noche. Recuperado el 27 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://www.europapress.es/ciencia/laboratorio/noticia-reloj-circadiano-limita-crecer-planta-fin-noche-20180111184239.html>
5. European Union. (2016). Regulation of Seed Storage Oil Mobilization (SOM) by the PhytochromeInteracting bHLH Transcription Factors PIFs. Recuperado el 06 de Julio de 2022. Disponible en: <https://cordis.europa.eu/article/id/175076-how-seedlings-grow-in-the-dark/es>
6. Ray, P. M. (1975). La Planta Viviente. Compañía Editorial Continental, S. A., México. Capítulo 8: Crecimiento y Desarrollo de las Plantas. Páginas 169-209.
7. Salisbury, F. B. y Ross C. W. (2000). Fisiología de las Plantas. Editorial Paraninfo Thomson Learning, Madrid, España. 988 p.
8. Vázquez, G. G., Cárdenas N. R. y Lobit P. (2008). Efecto del nitrógeno sobre el crecimiento y rendimiento de fresa regada por goteo y gravedad. Revista Agricultura Técnica en México 34(2): 235-241.

9. Vitra al Servicio de la Agricultura. (2020). La gran importancia del nitrógeno en las plantas. Recuperado el 14 de Julio de 2022. Disponible en: <https://www.agrovitra.com/wp/wp-content/uploads/2020/10/Importancia-del-Nitr%C3%B3geno-en-las-plantas-Fernanda-Habit.pdf>
10. Wenqian, L., Yan L., Weiping W., Juncen L., Mingyao Y., Mei G., Chunyun G. y Xin H. (2021). Phytochrome-interacting factor (PIF) in rapeseed (*Brassica napus* L.): Genome-wide identification, evolution and expression analyses during abiotic stress, light quality and vernalization. International Journal of Biological Macromolecules 180: 14-27. Recuperado el 20 de Julio de 2022 en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813021005742>