

## ***Nota de Investigación***

### **ESTIMADOS DE ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR Y RAZÓN DE ASIMILACIÓN NETA PARA APIO<sup>1,2</sup>**

David Matos-Mercado<sup>3</sup> y Carlos E. Ortiz<sup>4\*</sup>

J. Agric. Univ. P.R. 94(1-2):199-203 (2010)

El apio (*Arracacia xanthorrhiza*) en su estado natural es una planta herbácea perenne de la familia Umbelliferae que produce un cormo con raíces tuberosas de alto contenido de almidón (Mazón-Ortiz et al., 1996). En América del Sur al apio se le conoce comúnmente como arracacha y se cultiva por sus raíces tuberosas (Vietmeyer, 1986). En Puerto Rico el apio es una cosecha especial que se cultiva por su cormo engrosado, no por sus raíces tuberosas. En condiciones de cultivo, el apio rara vez completa su ciclo vegetativo, ya que se cosecha antes de la floración y se propaga vegetativamente. Ortiz et al. (2000a) indicaron que determinar el patrón de la acumulación del peso seco para el apio es esencial para establecer los efectos de prácticas de manejo. Un trabajo sobre fertilización suplementaria realizado en el Municipio de Barranquitas, Puerto Rico, demostró que el rendimiento del apio aumenta cuando se aumenta la fertilización nitrogenada (Del Valle et al., 1995). En este estudio, sin embargo, sólo se observó el rendimiento y no se incluyó la evaluación del crecimiento de las plantas. Para establecer el patrón general de crecimiento del apio, Ortiz et al. (2000a) utilizaron condiciones controladas en cajas sementeras con suelo de aluvión y riego por goteo. Se determinó que el peso seco del cormo y de la planta aumentan en forma lineal a medida que transcurre el tiempo en ciclo de cultivo. El estudio anterior, aunque importante para determinar el patrón general de crecimiento, se realizó fuera de la zona de producción comercial, en un suelo relativamente fértil y proveyendo riego suplementario. Estas últimas condiciones no representan aquellas en las que regularmente se cultiva el apio. Resultados experimentales de trabajos en América del Sur indican que como respuesta a condiciones edafoclimáticas diversas el apio varía su crecimiento y rendimiento (Jaimez et al., 2008). El objetivo de este estudio fue estimar el índice de área foliar y la razón de asimilación neta para apio bajo las condiciones ambientales y usando el sistema de manejo de la zona tradicional de producción.

Para los trabajos de campo se seleccionaron tres fincas comerciales en el Municipio de Barranquitas, todas con suelo de la serie Humatas (Typic Haplohumults). Una de las siembras se estableció en el Barrio Quebradillas, Sector Farallón, a una elevación de 787 m, con suelo de pH 4.2 y declive de 12 a 15%. La segunda siembra se estableció en el Barrio Palo Hincado, Sector La Torre, con elevación de 826 m, suelo

<sup>1</sup>Manuscrito sometido a la Junta Editorial el 20 de febrero de 2009.

<sup>2</sup>Este estudio se llevó a cabo con el auspicio de USDA-CSREES bajo el proyecto PR00373 (CRIS no. 0165248). Se reconoce la colaboración del Dr. Raúl E. Macchiavelli, Profesor de Biometría, Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez.

<sup>3</sup>Ex estudiante graduado. Departamento de Horticultura, Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez.

<sup>4</sup>Profesor. Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez. Estación Experimental Agrícola, PO Box. 1306, Gurabo, PR 00778. E-mail: carlos.ortiz35@uprm.edu. \*Autor para correspondencia.

con pH 5.8 y declive de 15%. Estas siembras se realizaron en mayo de 1996. La tercera siembra se estableció en agosto 1997 en el Barrio Quebradillas, Sector La Ermita, con elevación de 760 m, declive de 12% y suelo con pH de 4.3. La preparación del suelo fue mediante el sistema tradicional de arado con bueyes. Se utilizó la variedad Criolla (Del Valle et al., 1989). Se uniformó el tamaño de la semilla y la profundidad de siembra, características que influcionan significativamente el tamaño de la planta (Ortiz, et al., 2000b). Para la siembra se seleccionaron semillas (yemas apicales del cormo) de tamaño relativamente uniforme cuyo peso fresco fluctuó entre 45 a 50 g, y visualmente libres de daños y enfermedades. Se establecieron parcelas de 13.93 m<sup>2</sup> que a su vez se dividieron en cuatro subparcelas para los muestreos de materia seca y área foliar. Se sembró usando el sistema de ahoyado a una profundidad promedio de 10.8 cm. La distancia entre plantas en las hileras y entre hileras fue 0.61 m. Hubo tres repeticiones. Las malezas se controlaron mecánicamente. En este estudio no se utilizó riego suplementario, siguiendo el sistema tradicional de manejo. A los 40 días después de la siembra se establecieron tratamientos de fertilización nitrogenada (de 0 a 150 kg/ha de N a intervalos de 25 kg/ha). Estos tratamientos no afectaron significativamente el crecimiento de las plantas, por lo que se reporta la evaluación de acumulación de materia seca y área foliar.

Para determinar el aumento de peso seco se realizaron cuatro muestreos a intervalos de 28 días a partir de los 90 días después de la siembra. Para cada muestreo se escogieron dos plantas al azar por subparcela, en total 14 plantas por repetición. Las plantas muestreadas se arrancaron del suelo con ayuda de palas; se eliminaron las hojas secas y las senescentes (color amarillo); se lavaron para eliminar el exceso de suelo y se colocaron en un lugar aireado por 24 h para reducir su humedad superficial. Según experiencias previas (Ortiz et al., 2000a), es difícil extraer la totalidad de las raíces del suelo, por lo que éstas no se consideraron en este estudio. Se dividió cada planta en las láminas de hojas, peciolo de hojas y cormo. Las láminas de las hojas se desprendieron del peciolo y para determinar el área foliar se usó un medidor fotoeléctrico<sup>5</sup>. Luego las muestras se colocaron en un horno a 54° C para determinar el peso seco. Los cormos y los peciolo de las hojas se cortaron en pedazos y se secaron para determinar su peso seco.

El índice de área foliar y la razón de asimilación neta se calcularon con los resultados de peso seco y de área foliar. El índice de área foliar expresa la relación entre el área de las láminas foliares y el área que ocupa la planta en la superficie de suelo (Gardner et al., 1985). La razón de asimilación neta es una medida de la eficiencia fotosintética y consiste en la razón de aumento en materia seca por unidad de área foliar y tiempo (Vernon y Allison, 1963). Los cálculos para la razón de asimilación neta (RAN) se realizaron utilizando la fórmula provista por Gardner et al. (1985):  $RAN = (W_2 - W_1) / (T_2 - T_1) \cdot (\ln LA_2 - \ln LA_1) / (LA_2 - LA_1) = g/cm^2/d$ , en donde, Ln es el logaritmo natural; LA, área foliar; W, peso seco; y T, tiempo en días.

Se determinó que la variabilidad entre las localidades fue muy alta por lo que se realizó el análisis estadístico por localidad. Las plantas evaluadas en este estudio estuvieron sujetas a eventos imprevistos de precipitación pluvial. Las siembras de Farrallón y de La Torre estuvieron sujetas a una temperatura promedio de 23° C y recibieron 1,028 mm de lluvia durante los primeros seis meses del ciclo de cultivo. Un solo evento de lluvia provocó que 475 mm (19 pulgadas) de precipitación se registrara en un mes. Para la siembra en La Ermita la temperatura promedio fue también 23° C

<sup>5</sup>Se utilizó un medidor de área LICOR LI300. El uso de marcas comerciales se realiza para proveer información específica sin que represente endoso por la Universidad de Puerto Rico (UPR), el Recinto de Mayagüez de la UPR, ni por la Estación Experimental Agrícola-UPR, ni de los autores.

y el total de precipitación para los primeros seis meses fue de 698 mm, con unos 353 mm (14 pulgadas) registradas en un mes. A estos eventos de lluvia se le atribuye, en parte, el reducido crecimiento de las plantas en este estudio y la ausencia de efecto de la fertilización nitrogenada.

En la localidad Farallón el peso seco combinado y peso seco del cormo aumentaron significativamente hasta los 146 días después de la siembra; luego el peso se redujo (Cuadro 1). El patrón de crecimiento de la planta de apio es uno de aumento lineal de peso seco total a través del tiempo en el ciclo de cultivo (Ortiz et al., 2000a). La reducción en peso que se observó en Farallón a los 174 días se asocia a la variabilidad que hubo en el crecimiento de las plantas. Los máximos pesos secos de los peciolos y láminas de hojas se observaron a los 118 días después de la siembra con una disminución significativa más tarde en el ciclo de cultivo (Cuadro 1). La tendencia de una reducción en el peso seco al final del ciclo de cultivo ha sido observada en condiciones controladas (Ortiz et al., 2000a). Sin embargo, en nuestro estudio la disminución en peso seco ocurrió más temprano en el ciclo que la reportada previamente.

En la localidad de La Torre, los pesos secos de las partes de la planta aumentaron a través del ciclo del cultivo con excepción a los de la lámina de las hojas. En esta localidad las plantas fueron más efectivas acumulando peso seco por unidad de tiempo, y en promedio estuvieron más desarrolladas que en las otras dos localidades (Cuadro 1). En La

CUADRO 1. *Peso seco de partes de la planta de apio en diferentes días después de la siembra en tres localidades.*

Localidades	Días después de la siembra	Peso Seco				Índice de área foliar
		Hoja		Cormo	Combinado	
		Lámina	Peciolos			
----- g/planta -----						
Farallón	90	10.7 b <sup>1</sup>	23.7 b	49.2 c	83.6 c	0.54 b
	118	18.6 a	33.2 a	104.0 b	115.6 b	0.40 c
	146	11.0 b	21.1 bc	190.0 a	222.1 a	0.59 b
	174	10.3 b	17.6 c	115.2 b	143.1 b	0.74 a
DMS (0.05)	—	3.1	5.2	37.7	43.6	0.10
La Torre	90	19.5	40.7 a	58.7 c	118.9 c	0.47
	118	20.4	31.3 b	112.9 b	164.6 b	0.43
	146	17.3	32.1 b	121.7 a	171.1 b	0.33
	174	18.9	37.9 a	193.7 a	250.5 a	0.34
DMS (0.05)	—	NS	4.8	23.8	45.7	NS
La Ermita	90	2.0 c	2.8 c	3.4 c	6.2 c	0.17 c
	118	4.3 c	7.4 b	20.3 b	32.0 b	0.25 c
	146	7.9 b	11.4 b	22.2 b	41.5 b	0.44 b
	174	23.6 a	32.5 a	59.2 a	115.3 a	0.90 a
DMS (0.05)	—	3.0	4.3	10.1	26.2	0.14

<sup>1</sup>Promedios con letras iguales en la misma columna para cada localidad no son significativamente diferentes conforme con su DMS.

CUADRO 2. Razón de asimilación neta para plantas de apio en tres intervalos después de la siembra y tres localidades.

Días después de la siembra	Localidad		
	Farallón	La Torre	La Ermita
	----- g /cm <sup>2</sup> d -----		
90-118	0.010 a <sup>1</sup>	0.010 a	0.005 b
118-146	0.008 b	0.007 b	0.033 a
146-174	0.006 b	0.007 b	0.002 b
DMS <sub>(0.05)</sub>	0.002	0.003	0.004

<sup>1</sup>Promedios con letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes conforme con su DMS.

Ermita las plantas no alcanzaron el peso seco esperado para un cultivo comercial (Cuadro 1). Sin embargo, para cada una de las partes de la planta la tendencia fue de aumento de peso a través del ciclo de cultivo. Los resultados de La Ermita ilustran lo relativamente susceptible que es el desarrollo del apio a las condiciones ambientales adversas.

La literatura es escasa en cuanto a reportar un estimado del índice de área foliar para apio. Estudios realizados en Venezuela, sin embargo, reportan que el área foliar específica (la relación área foliar de la hoja y su peso seco) es máxima a los 124 días después de la siembra y decrece gradualmente durante el ciclo de cultivo (Jaimez et al., 2008). En este estudio el índice de área foliar varió dependiendo de la localización y de las fechas de muestreo en el ciclo de cultivo y todos los índices obtenidos fueron menores a una unidad (Cuadro 1). Una unidad de índice de área foliar es, en teoría, la necesaria para interceptar toda la radiación solar que incide sobre un cultivo si se asume que las hojas se arreglan horizontalmente al suelo (Gardner et al., 1985). Un índice de área foliar menor de una unidad al inicio y durante etapas tempranas del ciclo de cultivo se asocia regularmente a poco desarrollo de las plantas e interferencias por malezas (Lugo et al., 1997). Los índices de área foliar en este trabajo están por debajo de lo esperado, tomando en consideración experiencias previas en el campo.

La eficiencia fotosintética del apio, medida como la razón de asimilación neta, fue significativamente más alta relativamente temprano en el ciclo de cultivo (Cuadro 2). La máxima acumulación de peso fue de 0.033 g/cm<sup>2</sup> de área foliar por día. La tendencia de reducir la eficiencia fotosintética según se avanza en el periodo de cultivo ha sido previamente señalada para otros cultivos de la familia Umbelliferae (Sharma et al., 2008). La misma tendencia se ha reportado para otros tubérculos andinos además del apio (Condori et al., 2008). Dada la susceptibilidad del apio a las condiciones meteorológicas, los productores deben tomar medidas cautelares con el propósito de evitar pérdidas económicas. La reducción en crecimiento asociada a condiciones meteorológicas adversas se refleja en los parámetros de crecimiento de las plantas.

#### LITERATURA CITADA

Condori, B., P. Mamani, R. Botello, F. Patiño, A. Devaux y J. F. Ledent, 2008. Agrophysiological characterization and parametrisation of Andean tubers: Potato (*Solanum* sp.), oca (*Oxalis tuberosa*), isaño (*Tropaeolum tuberosum*) and papalisa (*Ullucus tuberosus*). *European J. Agron.* 28(4):526-540.

- Del Valle, R., C. E. Ortiz y M. Santiago-Córdova, 1995. Fertilization of arracacha in an Ultisol. *J. Agric. Univ. P.R.* 79(3-4):183-185.
- Del Valle-González, R., I. B. de Caloni y M. Santiago-Córdova, 1989. Sensory evaluation of arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) cultivars in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. P.R.* 73(3):291-292.
- Gardner, F. P., R. B. Pearce y R. L. Mitchell, 1985. Physiology of crop plants. The Iowa State University Press. 326 pp.
- Jaimez, R. E., N. Santos, B. Añez, J. Vásquez y W. Espinoza, 2008. Photosynthesis of field-grown arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) cultivars in relation to root-yield. *Scientia Horticulturae* 118:100-105.
- Lugo, M. de L., C. E. Ortiz y A. González, 1997. Leaf area index related to weed suppression in upland taro. *J. Agric. Univ. P.R.* 81(3-4):219-221.
- Mazón-Ortiz, N., R. Castillo-Torres, M. Hermann y P. Espinosa, 1996. La arracacha o zanahoria blanca en Ecuador. Publicación Miscelánea no 67. DENEREF Inst. Nac. Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Quito, Ecuador. pp 41.
- Ortiz, C. E., A. Acosta y E. Orengo-Santiago, 2000a. Dry weight accumulation in arracacha plant parts. *J. Agric. Univ. P.R.* 84(1-2):87-90.
- Ortiz, C. E., E. Orengo-Santiago y A. Acosta, 2000b. Influence of sett size and depth of planting on performance of arracacha. *J. Agric. Univ. P. R.* 84(3-4):143-151.
- Sharma, R. K., M. Agrawal y S. B. Agrawal, 2008. Interactive effects of cadmium and zinc on carrots: Growth and Biomass Accumulation *J. Plant Nut.* 31 (1):19- 34.
- Vernon, A. y J. C. S. Allison, 1963. A method of calculating net assimilation rate. *Nature* 200:814.
- Vietmeyer, N. D., 1986. Lesser-known plants of potential use in agriculture and forestry. *Science* 232:1379-1384.

