



ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE UN GENOTIPO SILVESTRE DE *Carica papaya* L. CULTIVADO *EX SITU* Y CV. 'MARADOL ROJA'

Analysis of the growth in wild genotypes of *Carica papaya* L. grown *ex situ* and cv. 'Maradol Roja'

Jesús Rodríguez Cabello[✉], Yusnier Díaz Hernández, Aymara Pérez González, Luis R. Fundora y Pedro Rodríguez Hernández

ABSTRACT. *Carica papaya* L. specie is native from the American tropic and one the most important fruit trees grown at tropical and subtropical regions of the world. In Cuba, many problems affect production of this fruit tree where the most important is reduction of number of exploded commercial varieties and low genetic diversity in germoplasma's bench. However, wild genotypes constitute an important source of genes for improvement programs and local exploitation, which have not been characterized. Studies of growth analysis permit understanding his behavior in different planting periods and *ex situ* conditions and to identify initial growth characters which provoke more yield increase and favor improvement research works of the most productive genotypes. Due to before indicated, the aim of the present investigation was realized studies of the growth of the genotype wild papaya of the basin Almendares-Vento. The seeds for the experiments were obtained of fruits collected in situ. The direct measures in the plant were an area to foliate and dry weight. For the determination of the surface to foliate used a digital chamber and software. The analysis computarizado of the images of leaves obtained with the digital chamber allowed to estimate the area to foliate of simple, rapid and economic form. The major production of area to foliate of the wild genotype and similar behavior in the dry mass and rest of the evaluated indicators, indicates the availability of resources during the whole phase of growth, which associates with his performance.

Key words: physiology of the development,
Indexes of the growth, biomass

RESUMEN. La especie *Carica papaya* L., es nativa del trópico americano y uno de los frutales más cultivados a nivel mundial. En Cuba existen problemas que afectan la producción de este frutal, considerados los más importantes el reducido número de cultivares explotados comercialmente y la baja diversidad genética presente en el banco de germoplasma. Sin embargo, existen genotipos silvestres que constituyen una fuente importante de genes para los programas de mejoramiento y explotación local, los cuales aún no se han caracterizado. Estudios de análisis del crecimiento permiten comprender su comportamiento en diferentes periodos de siembra en condiciones *ex situ* e identificar caracteres de crecimiento inicial que posibiliten el aumento del rendimiento y favorezcan los trabajos de mejoramiento en busca de genotipos más productivos. Debido a lo antes señalado, el objetivo de la presente investigación fue realizar estudios del crecimiento del genotipo papaya silvestre de la cuenca Almendares-Vento. Las semillas para los experimentos se obtuvieron de frutos colectados *in situ*. Las medidas directas en la planta fueron área foliar y peso seco. Para la determinación de la superficie foliar se empleó una cámara digital y un software. El análisis computarizado de las imágenes de hojas obtenidas con la cámara digital permitió estimar el área foliar de forma simple, rápida y económica. La mayor producción de área foliar del genotipo silvestre y similar comportamiento en la masa seca y resto de los indicadores evaluados, indica la disponibilidad de recursos durante toda la fase de crecimiento, lo cual se asocia con su rendimiento.

Palabras clave: fisiología del desarrollo,
Índices de crecimiento, biomasa

INTRODUCCIÓN

La especie *Carica papaya* L., de la familia Caricaceae es nativa del trópico americano (1, 2) y uno de los frutales más cultivados en las regiones

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP 32 700.

✉ jesus@inca.edu.cu

tropicales y subtropicales del mundo para el consumo en fresco y por sus variados usos en la industria^A (3).

En Cuba se plantaron en el año 2011 alrededor de 7 920 ha con una producción de 135 700 t (4); sin embargo, el mal manejo del cultivo ha propiciado que el rendimiento sea bajo y los costos de producción altos^B. Otro de los problemas que afecta la producción de papaya es el reducido número de cultivares explotados comercialmente y la baja diversidad genética presente en el banco de germoplasma (5).

En el archipiélago cubano existen genotipos de papaya silvestre que producen abundantes frutos de pequeño a mediano tamaño, los cuales son aprovechados por la población residente en sus áreas de origen (6). Estos constituyen una fuente importante de genes para los programas de mejoramiento y explotación local (7, 8). Sin embargo, la información que se tiene de estos genotipos es escasa por lo que se hace necesario realizar estudios de análisis del crecimiento. Los mismos se basan en métodos cuantitativos que describen todo el sistema de la planta con crecimiento bajo condiciones naturales, seminaturales o controladas (9), que permiten comprender su comportamiento en condiciones *ex situ* en diferentes periodos de siembra (10).

El análisis del crecimiento se utiliza como una alternativa para explicar diferencias en el crecimiento de origen genético o debido a modificaciones ambientales, lo cual constituye una herramienta eficiente para la identificación de materiales promisorios. Esto permite identificar características de crecimiento inicial que posibilitan el aumento del rendimiento de la planta adulta y favorecen los trabajos de mejoramiento en busca de genotipos más productivos (11, 12, 13). Para ello se recomienda cuantificar el material vegetal existente en la planta en relación con su sistema asimilador en intervalos de tiempo sucesivos (14).

A través del análisis del crecimiento se puede definir la época ideal de siembra y de trasplante de los cultivos. Además, se estudian las relaciones entre la fuente y sumidero. De las operaciones referidas se obtienen medidas directas, como masa seca (*W*), área foliar total (*AF*), tiempo (*t*) e índices derivados como la tasa relativa de crecimiento (*TRC*), índice de área foliar (*IAF*), tasa de asimilación neta (*TAN*), tasa de crecimiento del cultivo (*TCC*), entre otras, que se deben obtener por cálculos del análisis funcional (15).

^A Evan, E.A. y Balle, F.H. *Una mirada a la producción, el comercio y el consumo de papaya a nivel mundial* [en línea], [FE917], I Departamento Food and Resource Economics, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville, F, Florida, USA, 2013, [Consultado: 21 de agosto de 2015], Disponible en: <<https://edis.ifas.ufl.edu/fe917>>.

^B Statistics Division. *FAOSTAT* [en línea], 2012, [Consultado: 21 de agosto de 2015], Disponible en: <<http://faostat.fao.org/site/526/default.aspx>>.

El índice de área foliar es uno de los parámetros más útiles para caracterizar la vegetación^C.

El área foliar se asocia con muchos procesos agronómicos y fisiológicos que incluyen el crecimiento, fotosíntesis, transpiración, fotones entre la percepción y el balance de energía^D. Es por esto que las mediciones de los incrementos del área foliar y la masa seca son parámetros significativos en la evaluación del crecimiento de las plantas. Su adecuada determinación durante el ciclo del cultivo posibilita conocer su crecimiento y desarrollo, la eficiencia fotosintética y en consecuencia la producción total de la planta (16).

No obstante, a pesar de la abundante bibliografía existente acerca de los distintos métodos empleados para el cálculo del área foliar, su determinación no resulta fácil, de no contar con el equipamiento necesario para lograrlo de manera sencilla (17, 18). Sin embargo, con el desarrollo de la informática se abrieron nuevas posibilidades para la medición del área foliar (19). Algunos investigadores emplean el escáner de mesa y software para procesamiento de imágenes, como método efectivo, rápido y económico (20). A pesar de esto, cultivos como *Carica papaya* L. con hojas de más de 80 cm de diámetro y 50 cm de longitud (21), no pueden ser escaneadas, de modo que se necesitan modificaciones a estos métodos para lograr el propósito deseado.

Debido a lo antes señalado, el objetivo de la presente investigación fue determinar el área foliar a través de una cámara digital y un software libre para análisis de imágenes (ImageJ), que permita los análisis del crecimiento del genotipo papaya silvestre de la provincia Mayabeque, en comparación con el cultivar 'Maradol Roja'.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se realizaron en el Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), situado en el km 3 ½ de la carretera San José a Tapaste, municipio San José de las Lajas, provincia Mayabeque, ubicado a los 23°00' de latitud norte y 82°12' de longitud oeste y 138 m. s. n. m.

Para los experimentos *ex situ*, se emplearon semillas de frutos de plantas de papaya silvestre colectadas en las alturas del nacimiento de las cuencas Almendares-Vento y Noreste de la Habana. El área se encuentra enmarcada entre las coordenadas geográficas: 23° 00' 00" N y 23° 03' 27" S, 82° 01' 27"

^C Cifuentes Sánchez, V.J. y Navarro Cerrillo, R.M. *Determinación del índice de superficie foliar (leaf area index) en masas forestales usando imágenes landsat-tm. Conclusiones de un primer estudio en la sierra norte de Córdoba. Mapping*, 58, 1999.

^D Hernández, J.; Lomelí, N.; Santiago, M.A. y Arenas, E. *Estimación del área foliar en maíz*, 2012, p. 9.

E y 82° 08' 20" O. Se utilizó como control el cultivar 'Maradol Roja' proveniente de semillas certificadas, por ser de origen cubano y el de mayor importancia económica en Cuba y en países del área^E.

Para ubicar las plantas del genotipo silvestre *in situ*, se analizó la información de la bibliografía disponible y criterios de los pobladores locales acerca de estas poblaciones en el área. Para la prospección se organizaron expediciones y recorridos en los meses desde febrero hasta mayo de 2008. Participaron especialistas del Instituto de Ecología y Sistemática (IES), del INCA, de la Estación de Flora y Fauna "Escaleras de Jaruco" (EFFEJ) y campesinos o personas residentes permanentes en la zona de prospección. La metodología empleada consistió en ubicar en un mapa la región de interés y seleccionar las parcelas o cuadrantes, así como planificar los recorridos a seguir, de acuerdo a las características del área e información de la población local^F. El tamaño de los cuadrantes varió entre 100 y 1000 m² en dependencia del relieve (22).

Una vez ubicadas las plantas se les realizó un seguimiento a las que ya presentaban frutos (11 plantas) hasta su colecta, luego de que aparecieran tres o cuatro rayas amarillas en el mismo (5). Cuando el fruto cambió completamente el color se extrajeron las semillas, las cuales fueron colocadas a la sombra al aire libre. Una vez secas, se depositaron en un frasco con tapa y se conservaron a temperatura ambiente hasta la siembra.

Para las evaluaciones *ex situ* se emplearon dos períodos de siembra. Se tuvo presente que a pesar de que la siembra de papaya con garantía de riego se realiza todo el año, se recomiendan los meses donde los vectores tienen bajas poblaciones o el desarrollo de los virus es lento, lo cual coincide con los meses de bajas temperaturas y menos lluviosos (21). Para la siembra sin riego, los productores aprovechan las precipitaciones en las fases fenológicas de crecimiento y desarrollo que coinciden con los meses más lluviosos.

Por todo lo anterior, el primer período de siembra fue designado como "invierno", debido a que el tratamiento para la pregerminación de las semillas se realizó en el mes de diciembre y la siembra se efectuó en el mes de enero. Este período coincidió con los meses de menores temperaturas y precipitaciones, que comprende los meses desde noviembre hasta abril. El otro período de siembra se designó como "verano", debido a que la siembra se efectuó en el mes de mayo,

cuando las temperaturas comienzan a ascender, de modo que el trasplante y la fase de crecimiento y desarrollo, coincidió con los meses de temperaturas y precipitaciones máximas que comprende los meses desde junio hasta septiembre.

Para el estudio del crecimiento y desarrollo del cultivo se incluyeron cuatro índices de crecimiento: tasa de crecimiento relativo (TCR), tasa de asimilación neta (TAN), índice de área foliar (IAF) y tasa de crecimiento del cultivo (TCC) al trasplante, floración y fructificación, en invierno y verano del 2010, con el fin de aportar mayor conocimiento a este genotipo silvestre.

Las medidas directas obtenidas fueron área foliar y peso seco de las plantas. Para la determinación de la superficie foliar al momento del trasplante, floración y fructificación se evaluaron cinco plantas representativas por genotipos con el empleo de una cámara fotográfica y un software libre para análisis de imágenes (ImageJ), mostrada en la Figura 1.

La evaluación del crecimiento en la masa seca de los órganos de las plantas (hojas y tallo g planta⁻¹) se realizó mediante muestreos destructivos. Los órganos fueron pesados y luego secados en estufa a 80 °C hasta llegar a masa seca constante. Para calcular la masa seca total se sumaron las masas secas de los diferentes órganos.

A partir de las medidas directas, se utilizaron las fórmulas propuestas (23), con el fin de calcular los índices de crecimiento mediante las derivadas siguientes:

$$TCR = (\ln W_2 - \ln W_1) / (T_2 - T_1), (g \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1})$$

$$TAN = (W_2 - W_1) / (T_2 - T_1) * (\ln AF_2 - \ln AF_1) / (AF_2 - AF_1), (g \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1})$$

$$TCC = (1/AS) * (W_2 - W_1) / (T_2 - T_1), (g \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1})$$

$$IAF = AF / AS, (\text{Adimensional})$$

Donde: IAF: índice de área foliar; AF: área foliar; AS: área de suelo; TCR: tasa de crecimiento relativo; W: peso seco; T: tiempo; TCC: tasa de crecimiento del cultivo; TAN: tasa de asimilación neta.

El análisis estadístico consistió en Intervalos de Confianza con significación de $p < 0,05$. El procesamiento de los datos se realizó con el empleo del paquete de programas SPSS v. 21 (24), para verificar diferencias entre muestreos, bajo un diseño experimental completamente al azar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VARIABLES E INDICADORES DEL CRECIMIENTO Y DESARROLLO

La acumulación de biomasa de la parte aérea de la planta (hojas y tallo) y área foliar en las etapas tempranas de crecimiento, trasplante, floración y fructificación, exhibieron similar tendencia, con los mayores valores en la fase reproductiva (Tabla I).

^E Trujillo, I. y Cubillas, D. *Crecimiento de plántulas de papaya (Carica papaya L.) en contenedores cuadrados y cilíndricos puestos sobre un lecho de sustrato y plástico [T.E.R.]*, Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas, 2011, p. 44.

^F Matos, J. *Manual de Manejo de flora Silvestre, para especialistas y técnicos de áreas protegidas*, Empresa Nacional para la Protección de la Flora y la Fauna, 2006, p. 242.

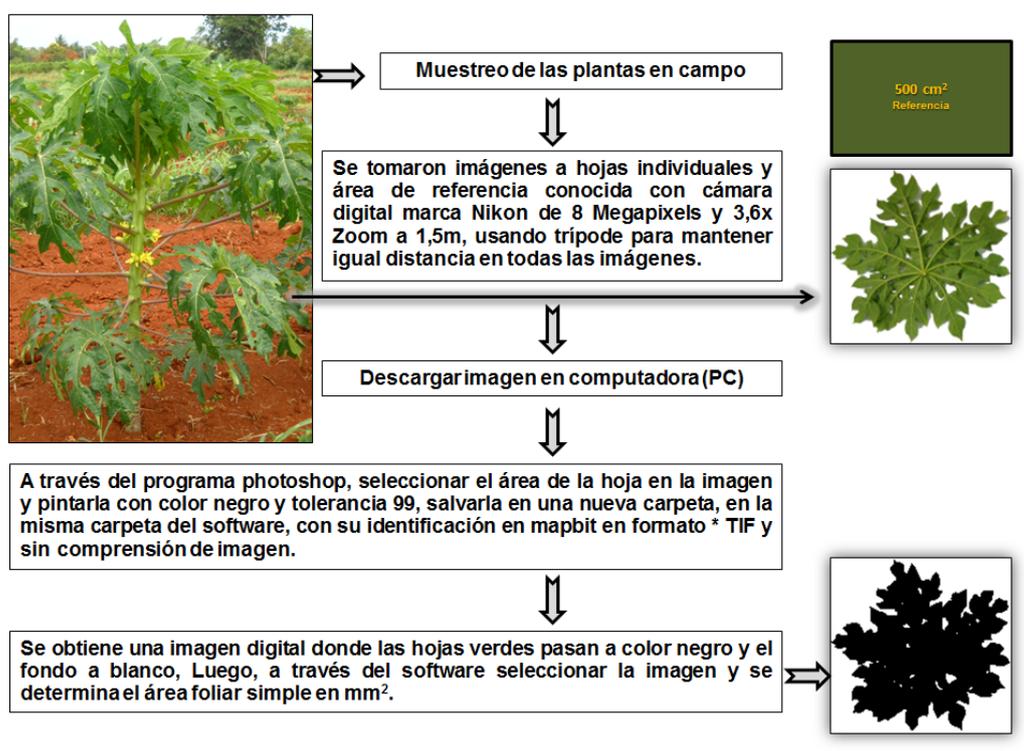


Figura 1. Metodología para estimar el área foliar en *Carica papaya* L. mediante métodos morfométricos.

Tabla I. Variables utilizadas para determinar los indicadores del crecimiento y desarrollo en el genotipo de papaya silvestre y cultivar 'Maradol Roja'.

Periodo	Fase	Número de hojas		Órganos	Masa seca (g)		Área foliar (cm ²)	
		Papaya silvestre	'Maradol Roja'		Papaya silvestre	'Maradol Roja'	Papaya silvestre	'Maradol Roja'
Invierno 2010	Trasplante	11,3±0,8	10,6±0,6	Hoja	0,35 ± 0,10	0,41 ± 0,08	107,2 ± 30,4	115,2±18,8
				Tallo	0,18 ± 0,04	0,16 ± 0,03		
				Total	0,53 ± 0,14	0,58 ± 0,09		
	Floración	35,7±2,4	33,2±1,1	Hoja	111,8±14,7	97,1±17,5	12 444,0±860,2	10 404,3±1 099,6
				Tallo	94,6±13,7	74,7 ± 15,5		
				Total	206,4 ± 28,2	171,7 ±32,9		
Fructificación	39,9±2,3	38,2±1,6	Hoja	139,9 ± 19,1	130,9±14,5	14 929,8±902,8	13 175,1±839,1	
			Tallo	103,0 ± 21,8	101,7±16,4			
			Total	243,0 ± 38,8	232,6±30,1			
Verano 2010	Trasplante	11,1±,0,5	10,8±0,4	Hoja	0,36 ± 0,07	0,48 ± 0,12	116,3±34,8	128,8±20,9
				Tallo	0,23 ± 0,09	0,20 ± 0,10		
				Total	0,59 ± 0,18	0,68 ± 0,22		
	Floración	28,8±0,86	26,4±0,9	Hoja	74,7 ±13,7	68,1 ± 13,6	9 732,9±715,2	8 281,7±721,1
				Tallo	51,6±16,7	43,6 ± 11,8		
				Total	126,3 ±30,4	111,6±14,7		
Fructificación	33,2±1,04	31,8±1,1	Hoja	98,7 ±11,5	100,3±16,1	12 904,7±893,7	11 146,6±773,6	
			Tallo	75,7 ± 9,9	69,86 ± 14,5			
			Total	174,4±21,0	170,2 ±29,7			

Datos de valores promedio. La significación representa intervalo de confianza al 95 %.

Esto pudiera deberse a que en las etapas vegetativas de las especies anuales la planta produce biomasa de manera eficiente y sostenida en respuesta a la capacidad fotosintética.

Las hojas fueron los órganos aéreos que tendieron a acumular mayor biomasa, lo cual se relaciona con el hecho de que estas aumentan su complejidad y funcionalidad a lo largo del ciclo del cultivo (25). Además, las hojas son el principal órgano de la planta en esta etapa y a su formación y crecimiento se dedica la mayor parte de los fotoasimilados resultantes del metabolismo vegetal (26).

No se apreció diferencias entre los genotipos en el trasplante, en ninguna de las variables. El área foliar osciló entre 107,2 cm² en el genotipo silvestre y 128,8 cm² en el cultivar 'Maradol Roja'. Estos valores son ligeramente inferiores a los obtenidos previamente en plantas de 40 días de germinadas las semillas para este cultivar^E, donde se encontraron valores promedio en el área foliar entre 144,3 y 154,2 cm².

Luego del trasplante en ambos genotipos hubo un incremento acelerado de las variables del crecimiento hasta la floración, que continuó hasta la fructificación. Esto se debió a que durante los primeros estadios de la planta, se favorece notablemente su crecimiento vegetativo y en consecuencia, el aumento del área foliar es directamente proporcional al aumento de la masa en este órgano. Los especialistas reconocen en la intensidad de esa etapa de expansión del área foliar, la eficiencia vegetal en términos de aprovechamiento de la radiación solar (27). Además, el tiempo entre el trasplante y la fase fenológica de la floración es más prolongada que el resto de las fases evaluadas, lo cual propició mayor acumulación de radiación solar que influyó sobre la disminución en la velocidad de la tasa de crecimiento y temperatura, como condicionantes fundamentales del desarrollo.

Al comparar la masa seca total en el momento de floración y fructificación, no se apreciaron diferencias entre genotipos y sí entre periodos de siembra. En papaya silvestre el acumulado fue de 206,4 g en invierno y 126,3 g en verano, mientras que 'Maradol Roja' acumuló 171,7 g y 111,6 g en iguales periodos de siembra. Esto confirmó que el potencial genético de las plantas y las condiciones ambientales afectan la velocidad del crecimiento vegetal. Este resultado coincidió con otros autores quienes señalaron que la temperatura es uno de los factores físicos de mayor importancia que influye directamente en el crecimiento y longitud de la planta durante su ciclo vegetativo (28).

La producción de masa seca total es el resultado de la eficiencia del follaje del cultivo en la intercepción y utilización de la radiación solar disponible durante el ciclo de crecimiento (29). Sin embargo, esta eficiencia puede estar influenciada por la cantidad de radiación solar, la habilidad de las hojas para fotosintetizar, el índice de área foliar, la arquitectura de la planta, la

respiración, entre otros, lo que se resume en factores internos de crecimiento relacionados con el genotipo y factores externos relacionados con el ambiente y las prácticas de manejo utilizadas durante el ciclo (30, 31).

En contraste con la masa seca, el área foliar en la floración y fructificación, además de la diferencia entre periodos de siembra, mostró diferencias entre genotipos en los dos periodos, lo cual indicó mayor intercepción de la radiación solar en el genotipo silvestre. Un incremento del área foliar, también aumenta la masa seca, pero solo hasta el punto donde se encuentre el índice de área foliar óptimo (32).

Los resultados referidos revelaron que las hojas del genotipo silvestre y del cultivar 'Maradol Roja' pudieran ser de formas diferentes. También cabe la posibilidad de que el limbo del cultivar comercial sea más grueso que el del genotipo silvestre, de modo que influye más en la masa seca que en el área foliar. Esto estaría dado por estar el cultivar comercial adaptado al riego abundante, mientras el genotipo silvestre tiende a acumular menos agua en sus hojas al no disponer de riego en sus áreas naturales, lo que se pudiera ver reflejado en el menor grosor del limbo. Las diferencias en el área foliar entre invierno y verano en la floración y fructificación, se debieron a que en invierno las plantas acumularon más hojas que en verano, al necesitar más tiempo para florecer, producto de la precocidad en la floración en verano respecto al invierno^G.

TASA DEL CRECIMIENTO RELATIVO (TCR)

El índice TCR se muestra en la Figura 2. Se apreció similar comportamiento entre los genotipos en los dos periodos y diferentes momentos de evaluación. La tendencia de la TCR fue ascendente durante la fase de vivero, con valores entre 0,2030 gg⁻¹d⁻¹ y 0,2306 gg⁻¹d⁻¹ al trasplante en 'Maradol Roja' y en el genotipo silvestre, respectivamente. Este resultado fue producto del aumento en la masa seca foliar en este período, pues la TCR depende de la masa seca en el tiempo, equivalente a la actividad de la demanda (33). Valores inferiores a estos fueron obtenidos en plantas evaluadas en la etapa de vivero en los cultivares 'Maradol Roja' y 'Tainung-1' (34).

Luego del trasplante se produjo un retardo o disminución en la velocidad del crecimiento abrupto hasta la floración. El mismo continuó de forma menos acelerada durante la antesis, con los valores más bajos en la fructificación, donde se encontró 0,0896 gg⁻¹d⁻¹ y 0,0950 gg⁻¹d⁻¹ en invierno-2010, mientras en verano-2010 se obtuvo 0,0871 gg⁻¹d⁻¹ y 0,0990 gg⁻¹d⁻¹ en papaya silvestre y 'Maradol Roja', respectivamente.

^G Rancel, J.; Lobo, J. y Rodríguez, P. *Estudio sobre la fenología y pos-cosecha de la papaya (Carica papaya, L.) en los cultivares «Sunset», «Baixinho de Santa Amalia» y «BH-65», bajo invernadero de malla en la vertiente sur de Tenerife* [Trabajo (Fin de Carrera)], Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria, Universidad de La Laguna, Tenerife, 2006, p. 377.

Esto se debió a que al incrementarse la masa seca, la respiración de mantenimiento (R_m) se hizo mayor que en la etapa anterior y por tanto disminuyó la TCR.

Los resultados mostrados en la Figura 2 se atribuyen, en primer lugar, a que los momentos de evaluación no se realizaron con similar frecuencia de tiempo, de modo que existió mayor diferencia en días entre la evaluación realizada desde el trasplante hasta la floración. Precisamente esta etapa coincidió con la recuperación de las plantas luego del estrés sufrido al trasplante en el periodo seco.

La tendencia decreciente de la TCR coincidió con la obtenida en estudios realizados en uchuva (*Physalis peruviana*), con lo cual se concluyó que la TCR es un parámetro de crecimiento muy sensible a las condiciones climáticas donde se desarrolló el cultivo (35). Un aspecto importante a tener en cuenta, es que en la fase fenológica de desarrollo de la planta, los órganos reproductivos son más activos y demandan mayor cantidad de biomasa, lo cual influyó desfavorablemente en el ritmo de crecimiento de las nuevas hojas y del tallo.

Esto corrobora lo señalado acerca de la correlación existente entre el proceso de crecimiento y desarrollo de diversas partes de la planta (25). Cuanto más activo es el crecimiento de una parte de la planta, más demandará materiales disponibles y tanto más se restringirá el crecimiento en otras partes.

El incremento en la masa seca total de la planta en función del tiempo en cada intervalo analizado, estuvo en correspondencia con la TRC en ambos genotipos, lo cual reveló la eficiencia de las mismas como productor de nuevo material, en dependencia de la fotosíntesis total y de la respiración.

TASA DE ASIMILACIÓN NETA (TAN)

En la tasa de asimilación neta (TAN) mostrada en la Figura 3, se encontró similar comportamiento a los análisis de la TCR. No se apreció diferencias entre el genotipo silvestre y el cv 'Maradol Roja' en los diferentes momentos de evaluación, lo que indicó que la eficiencia fotosintética fue similar en ambos genotipos.

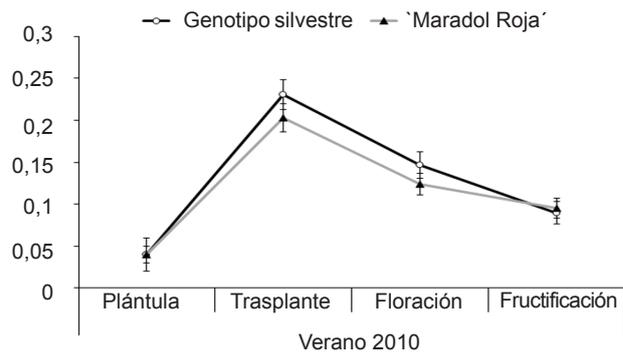
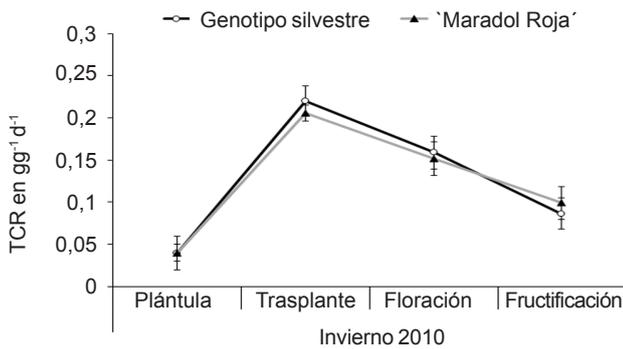


Figura 2. Tasa de crecimiento relativo del área foliar del genotipo papaya silvestre y cultivar 'Maradol Roja' evaluados en dos periodos de siembra.

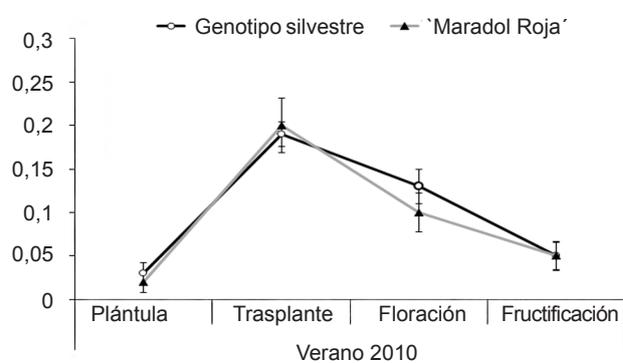
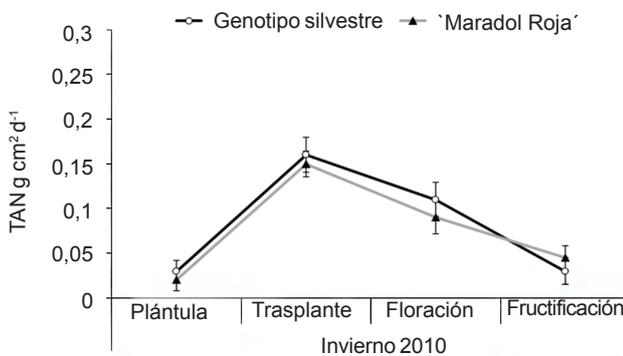


Figura 3. Tasa de asimilación neta del área foliar del genotipo papaya silvestre y cultivar 'Maradol Roja' evaluados en dos periodos de siembra.

La eficiencia de las plantas como sistema asimilatorio se observó durante la fase de vivero, con tendencia ascendente hasta el trasplante, lo que reveló mayor eficiencia fotosintética promedio al aumentar la ganancia de masa seca por unidad de tejido asimilatorio y por unidad de tiempo, como fue previamente planteado (25).

La TAN disminuyó en el tiempo en ambos genotipos hasta la fructificación, debido a que la eficiencia de absorción de radiación tiende a disminuir conforme la planta aumenta el área foliar y en general el tamaño. Por tanto, la arquitectura del follaje en la absorción de radiación y en el subsiguiente crecimiento vegetal será cada vez más relevante, porque a medida que una planta crece y emite mayor número de hojas, aumenta el autosombreado entre ellas. Esto crea un ambiente lumínico muy heterogéneo entre las unidades del follaje que genera a su vez, una gran variabilidad en el rendimiento fotosintético de las distintas hojas individuales (36).

En consecuencia, la relación entre crecimiento y área foliar será menos directa para las plantas más grandes y con follajes más complejos, respecto a la comúnmente observada en los estudios con plantas pequeñas. En cultivares de papaya se demostró que para el desarrollo de las plantas en el vivero, el efecto de la intensidad de luz, la temperatura y en parte el autosombreamiento foliar permitieron explicar el 40 % de las diferencias obtenidas en la eficiencia fotosintética de las plantas (37).

ÍNDICE DEL ÁREA FOLIAR (IAF)

Los resultados del IAF se muestran en la Figura 4. Se apreció que en ambos genotipos el comportamiento en los dos periodos y momentos de evaluación fue similar. 'Maradol Roja' alcanzó valores extremos entre 2,11 en las plantas al trasplante en invierno y 2,60 en la fructificación del verano.

La pronunciada ascendencia del IAF al trasplante fue provocada por el rápido crecimiento de las plantas en corto tiempo en la fase de vivero. Además, el área de suelo en las bolsas es muy reducida con relación al área foliar, que en la papaya presenta hojas de mayores dimensiones en correspondencia con su altura.

La acumulación de asimilados responde de manera directa a la expansión y duración del área foliar, por lo que al incrementarse esta, la respiración de mantenimiento (R_m) se incrementa, de modo que se necesita más eficiencia del sistema fotosintético y de la raíz para enviar los fotoasimilados y nutrientes hacia los vertederos (34).

Sin embargo, luego del trasplante y con un marco de plantación más amplio, se incrementó la masa seca foliar y el área foliar. Esto evidenció mayor correspondencia entre el área foliar y el área de suelo con influencia en la reducción del IAF en la floración con relación al trasplante, con valores entre 0,19 en verano para 'Maradol Roja' y 0,41 en invierno para el genotipo silvestre.

Desde la floración y durante la antesis y fructificación, el IAF tendió a incrementarse ligeramente. Se corroboró así, lo señalado acerca de que la expansión y duración del área foliar es lenta durante los primeros estadios, para luego aumentar durante los periodos de antesis y desarrollo del fruto (38). El desarrollo foliar favorece la radiación solar, que es uno de los factores clave para las plantas por su implicación en el proceso fotosintético, de modo que diferencias en la capacidad de absorción de luz pueden determinar también importantes diferencias en crecimiento y reproducción (39).

TASA DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO (TCC)

La TCC (Figura 5) fue ascendente hasta el trasplante en ambos genotipos, debido al crecimiento activado de las plantas en esta fase; sin embargo, no se apreciaron diferencias entre periodos de siembra. Este resultado contrasta con los obtenidos en evaluaciones realizadas a genotipos de papayas (40). Estos autores encontraron tasas de crecimiento muy lentas desde mediados de noviembre hasta marzo, cuando las temperaturas son más bajas, para luego ocurrir un crecimiento acelerado cuando las temperaturas aumentaron.

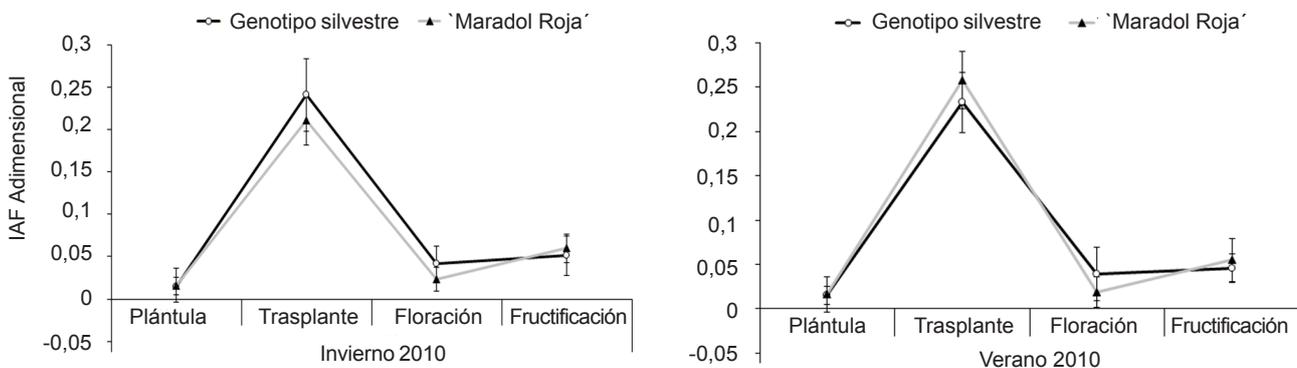


Figura 4. Índice del área foliar del genotipo papaya silvestre y cultivar 'Maradol Roja' evaluados en dos periodos de siembra.

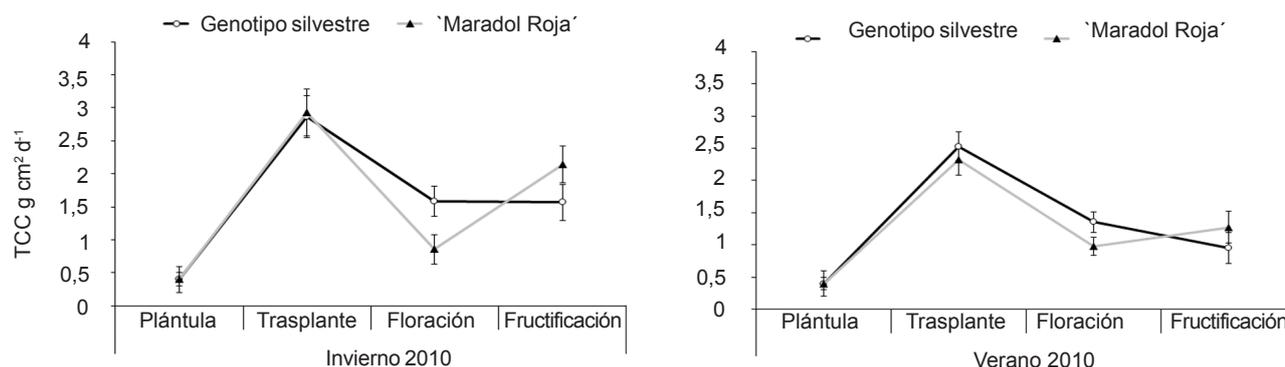


Figura 5. Tasa de crecimiento del cultivo del área foliar del genotipo papaya silvestre y cultivar 'Maradol Roja' evaluados en dos periodos de siembra

A pesar de la mayor masa seca y área foliar apreciada desde el trasplante hasta la floración (Tabla I), la TCC fue inferior en este periodo respecto a la fase de vivero. No obstante, en la fase de floración de ambos periodos de siembra, el genotipo silvestre superó a 'Maradol Roja'. Esto confirmó en el genotipo silvestre mayor ganancia de biomasa vegetal por área de superficie ocupada por la planta en esta etapa. Este aspecto es importante, pues en las hojas se sintetizan los carbohidratos que van a repartirse entre los diferentes órganos (14), lo cual permite mayor tasa de crecimiento vegetativo que influye en el aumento de rendimiento del cultivo.

Después de la floración y hasta la fructificación, la velocidad del crecimiento en la TCC fue menos pronunciada en el genotipo silvestre, mientras que en 'Maradol Roja' tendió a incrementarse; sin embargo, en la fase de fructificación no se apreciaron diferencias entre los genotipos en los respectivos periodos de siembra.

En condiciones naturales, el genotipo de papaya silvestre depende del clima, por lo que el crecimiento es altamente dependiente de la radiación que el follaje pueda interceptar y de la eficiencia de conversión de ésta en materia seca, que a su vez depende de los recursos disponibles y del genotipo. En este genotipo, el crecimiento acelerado en las primeras etapas permite interceptar los rayos solares y cubrir mayor área de sombreado en el suelo. Se disminuye así la pérdida de agua por evaporación y controla las plantas en la competencia por el hábitat.

CONCLUSIONES

El análisis computarizado de las imágenes de hojas obtenidas con la cámara digital permitió determinar en forma simple, rápida y económica el área de hojas en la especie *Carica papaya* L. Las diferencias encontradas en el área foliar entre los genotipos evaluados y TCC en la fase de floración, son debido a la expresión genética de los mismos. Si bien el fenotipo estuvo influenciado por el periodo de

siembra, el componente genético fue determinante en el comportamiento de ambos, como pudo evidenciarse en los resultados. La mayor producción de área foliar del genotipo silvestre y similar comportamiento en la masa seca y resto de los indicadores evaluados, refleja la disponibilidad de recursos durante toda la fase de crecimiento, lo cual se asocia con su rendimiento. Se evidenció la adaptación del genotipo silvestre a las condiciones *ex situ* y la posibilidad de su recomendación para los trabajos de mejoramiento en la búsqueda de nuevos cultivares más productivos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Colectivo de Autores INIVIT *Instructivo técnico del cultivo de la fruta bomba* [en línea], edit. Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales, 2010, ISBN 978-959-7210-11-5, [Consultado: 21 de agosto de 2015], Disponible en: <<http://www.libreroonline.com/cuba/libros/172/colectivo-de-autores-inivit/instructivo-tecnico-del-cultivo-de-la-fruta-bomba.html>>.
2. Maselli, A.; Rosales, L.C.; Guevara, Y. y Suárez H, Z. "REACTION OF THE GENERA *Carica* AND *Vasconcellea* MATERIALS TO *Erwinia papayae*, *Meloidogyne incognita* AND *Rotylenchulus reniformis*", *Revista de Protección Vegetal*, vol. 25, no. 3, diciembre de 2010, pp. 157-165, ISSN 1010-2752.
3. Cruz, M. y Portal, O. "Estrategias para la obtención de plantas transgénicas de papaya con resistencia al virus de la mancha anular de la papaya (PRSV)", *Biotecnología vegetal*, vol. 10, no. 4, 2010, pp. 195-207, ISSN 1609-1841.
4. González, J.E.; González, R.E. y Veliz, E. "Morfofisiología de posturas de papaya irrigadas con tres calidades diferentes de agua", *Centro Agrícola*, vol. 39, no. 4, 2012, pp. 31-37, ISSN 0253-5785.
5. Alonso Esquivel, M.; Tomet Quintana, Y.; Ramos Ramírez, R.; Farrés Armenteros, E.; Aranguren González, M. y Rodríguez Martínez, D. "Caracterización y evaluación de dos híbridos de papaya en Cuba", *Agricultura técnica en México*, vol. 34, no. 3, septiembre de 2008, pp. 333-339, ISSN 0568-2517.

6. Rodríguez Cabello, J.; Díaz Hernández, Y.; Pérez González, A.; Natali Cruz, Z. y Rodríguez Hernández, P. "Evaluación de la calidad y el rendimiento en papaya silvestre (*Carica papaya* L.) de Cuba", *Cultivos Tropicales*, vol. 35, no. 3, septiembre de 2014, pp. 36-44, ISSN 0258-5936.
7. Rodríguez, J.; Rodríguez, P.; González, M.E. y Martínez-Gómez, P. "Molecular characterization of Cuban endemism *Carica cubensis* Solms using random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers", *Agricultural Sciences*, vol. 01, no. 03, 2010, pp. 95-101, ISSN 2156-8553, 2156-8561, DOI 10.4236/as.2010.13012.
8. Díaz Hernández, Y.; Torres de la Noval, W.; Rodríguez Cabello, J. y Rodríguez Hernández, P. "Respuesta de plantas de papaya silvestre (*Carica cubensis* Solms) al estrés hídrico y su recuperación: aspectos fisiológicos y del crecimiento", *Cultivos Tropicales*, vol. 35, no. 3, septiembre de 2014, pp. 55-61, ISSN 0258-5936.
9. Rojas, T.V.; Soto, C.M. y Montero, W.R. "Análisis del crecimiento de cinco híbridos de zanahoria (*Daucus carota* L.) mediante la metodología del análisis funcional", *Agronomía Costarricense*, vol. 36, no. 2, 2012, ISSN 2215-2202, [Consultado: 21 de agosto de 2015], Disponible en: <<http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/9819>>.
10. Hernández Córdova, N. y Soto Carreño, F. "Determinación de índices de eficiencia en los cultivos de maíz y sorgo establecidos en diferentes fechas de siembra y su influencia sobre el rendimiento", *Cultivos Tropicales*, vol. 34, no. 2, junio de 2013, pp. 24-29, ISSN 0258-5936.
11. Maqueira, L.A.; Pérez, S.A. y Torres, W. "Crecimiento y productividad de variedades de arroz de diferentes ciclos en dos fechas de siembra en la época de frío en Los Palacios, Pinar del Río", *Cultivos Tropicales*, vol. 31, no. 4, diciembre de 2010, pp. 00-00, ISSN 0258-5936.
12. Hernández Córdova, N. y Soto Carreño, F. "Influencia de tres fechas de siembra en el crecimiento y rendimiento de especies de cereales cultivadas en condiciones tropicales. Parte II. Cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench var. Isiap Dorado)", *Cultivos Tropicales*, vol. 33, no. 2, junio de 2012, pp. 50-54, ISSN 0258-5936.
13. Hernández Córdova, N. y Soto Carreño, F. "Influencia de tres fechas de siembra sobre el crecimiento y rendimiento de especies de cereales cultivados en condiciones tropicales. Parte I. Cultivo del maíz (*Zea mays* L.)", *Cultivos Tropicales*, vol. 33, no. 2, junio de 2012, pp. 44-49, ISSN 0258-5936.
14. Cuéllar, N.D. y Arrieta, J.M. "Evaluación de respuestas fisiológicas de la planta arbórea *Hibiscus rosasinensis* L. (Cayeno) en condiciones de campo y vivero", *Revista Corpoica (Colombia)*, vol. 11, no. 1, 2010, pp. 61-72, ISSN 0122-8706.
15. Sedano-Castro, G.; González-Hernández, V.A.; Engleman, E.M. y Villanueva-Verduzco, C. "Dinámica del crecimiento y eficiencia fisiológica de la planta de calabacita", *Revista Chapingo Serie Horticultura*, vol. 11, no. 2, 2005, pp. 291-297, ISSN 1027-152X.
16. Cardona Ayala, C.; Araméndiz Tatis, H. y Barrera Causil, C. "Estimación del área foliar de papaya (*Carica papaya* L.) basada en muestreo no destructivo", *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, vol. 12, no. 1, junio de 2009, pp. 131-139, ISSN 0123-4226.
17. Fiallos, F.R.G. y Forcelini, C.A. "Peso de hojas como herramienta para estimar el área foliar en soya", *Revista Ciencia y Tecnología*, vol. 4, no. 1, 2011, pp. 13-18, ISSN 1850-0870.
18. Jerez Mompie, E.; Martín Martín, R. y Díaz Hernández, Y. "Estimación de la superficie foliar en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) por métodos no destructivos", *Cultivos Tropicales*, vol. 35, no. 1, marzo de 2014, pp. 57-61, ISSN 0258-5936.
19. Kolukisaoglu, Ü. y Thurow, K. "Future and frontiers of automated screening in plant sciences", *Plant Science*, vol. 178, no. 6, junio de 2010, pp. 476-484, ISSN 0168-9452, DOI 10.1016/j.plantsci.2010.03.006.
20. Guerrero, N.R.; Quintero, M.A.O. y Naranjo, J.C.P. "Determinación del área foliar en fotografías tomadas con una cámara web, un teléfono celular o una cámara semiprofesional", *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, vol. 65, no. 1, 2012, pp. 6399-6405, ISSN 0304-2847.
21. Aportela, D. y Castro Ladín, L. *Fundamentos teóricos prácticos sobre el cultivo y cosecha de la papaya. Carica papaya (L.)* [en línea], edit. Editorial Universitaria, 2001, ISBN 978-959-16-0111-7, [Consultado: 21 de agosto de 2015], Disponible en: <<http://www.libreeronline.com/cuba/libros/11991/aportela-daysi-castro-ladin-l-fundamentos-teoricos-practicos-sobre-el-cultivo-y-cosecha-de-la-papaya-carica-papaya-l.html>>.
22. Baena, M.; Jaramillo, S. y Montoya, J. E. *Material de apoyo a la capacitación en conservación in situ de la diversidad vegetal en áreas protegidas y en fincas*. [en línea]. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia. 2003. 130 pp. ISBN 92-9043-600-X. [Consultado: 21 de agosto de 2015]. Disponible en: <https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/Material_de_apoyo_a_la_capacitaci%C3%B3n_en_conservaci%C3%B3n_In_Situ_de_la_diversidad_vegetal_en_areas_protegidas_y_en_fincas_905.pdf>.
23. Hunt, R. *Basic Growth Analysis* [en línea], edit. Springer Netherlands, Dordrecht, 1990, ISBN 978-0-04-445373-4, [Consultado: 21 de agosto de 2015], Disponible en: <<http://link.springer.com/10.1007/978-94-010-9117-6>>.
24. *IBM SPSS Statistics* [en línea], versión 21, [Windows], edit. IBM Corporation, U.S, 2011, Disponible en: <<http://www.ibm.com>>.
25. Barraza, F.V.; Fischer, G. y Cardona, C.E. "Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia", *Agronomía Colombiana*, vol. 22, no. 1, 2004, pp. 81-90, ISSN 0120-9965.
26. Palomo, A. y others "Análisis de crecimiento de variedades de algodón transgénicas y convencionales", *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 24, no. 2, 2003, pp. 197-202, ISSN 0187-7380.
27. Andrade, E.F.; Aguirrezábal, L.A. y Rizzalli, R.H. "Crecimiento y rendimientos comparados" [en línea], en: Andrade, F.H. y Sadras, V.O., *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*, edit. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2000, pp. 61-96, ISBN 978-987-521-016-5, [Consultado: 24 de agosto de 2015], Disponible en: <https://books.google.com/cu/books/about/Bases_para_el_manejo_del_ma%C3%ADz_el_giraso.html?id=3FkbAQAAMAAJ&redir_esc=y>.

28. González, N.; Alberto, L.; Ortiz, P.; Ernesto, R.; Andrio Enríquez, E.; Ibarra, T.; Daniel, A. y Ç Covarrubias Prieto, J. "Fenología, crecimiento y sincronía floral de los progenitores del híbrido de maíz QPM H-374C", *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, vol. 2, no. 4, agosto de 2011, pp. 489-500, ISSN 2007-0934.
29. Santos Castellanos, M.; Segura Abril, M.; López, Ñ. y Eduardo, C. "Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de zipaquirá (Cundinamarca, Colombia)", *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, vol. 63, no. 1, junio de 2010, pp. 5253-5266, ISSN 0304-2847.
30. Díaz-López, E.; Morales-Rosales, E.J.; Franco-Mora, O. y Domínguez-López, A. "Atenuación de luz, radiación interceptada y rendimiento de maíz en función del fósforo", *Terra Latinoamericana*, vol. 29, no. 1, 2011, pp. 65-72, ISSN 2395-8030.
31. Jerez Mompies, E. y Martín Martín, R. "Comportamiento del crecimiento y el rendimiento de la variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) Spunta", *Cultivos Tropicales*, vol. 33, no. 4, diciembre de 2012, pp. 53-58, ISSN 0258-5936.
32. Soto, F.; Hernández, N. y Plana, R. "Influencia de la temperatura en la duración de las fases fenológicas del trigo harinero (*Triticum aestivum* ssp. *aestivum*) y triticale (X *Triticum secale* Wittmack) y su relación con el rendimiento", *Cultivos Tropicales*, vol. 30, no. 3, septiembre de 2009, pp. 32-36, ISSN 0258-5936.
33. Ho, C.; Grange, I. y Shaw, F. "Source/sink regulation", ed. Baker, D.A., *Transport of Photoassimilates*, edit. Logman Scientific & Tecnical, Essex, England, 1989, pp. 306-343.
34. Miranda, D. y Gil, A.I. "Effect of five substrates on growth indices of papaya (*Carica papaya* L.) plants under glasshouse conditions", *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, vol. 1, no. 2, 2007, pp. 142-153, ISSN 2011-2173.
35. Mazorra, M.F.; Quintana, A.P.; Miranda, D.; Fischer, G. y Cháves, B. "Análisis sobre el desarrollo y la madurez fisiológica del fruto de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en la zona de Sumapaz (Cundinamarca)", *Agronomía Colombiana*, vol. 21, no. 3, 2003, pp. 175-189, ISSN 2357-3732.
36. Villar Montero, R.; Ruiz Robleto, J.; Quero Pérez, J.L.; Poorter, H.; Valladares Ros, F. y Marañón, T. *Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas* [en línea], edit. España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008, ISBN 978-84-8014-738-5, [Consultado: 21 de agosto de 2015], Disponible en: <<http://digital.csic.es/handle/10261/47933>>.
37. Baiyeri, K.P. y others "Seedling emergence and growth of pawpaw (*Carica papaya*) grown under different coloured shade polyethylene", *International Agrophysics*, vol. 20, no. 2, 2006, p. 77, ISSN 0236-8722.
38. Hernández, M.S.; Casas, A.; Martínez, O. y Galvis, J.A. "Análisis y estimación de parámetros e índices de crecimiento del árbol de maraco (*Theobroma bicolor* H.B.K.) a primera floración", *Agronomía Colombiana*, vol. 12, no. 1, 1995, pp. 182-191, ISSN 0120-9965.
39. Del Rio, T.; González, P.; Media, S. y Escudero, A. "Estudio comparativo de la disposición de las hojas y su eficiencia en la captura de la luz en la copa de tres especies arbóreas mediterráneas", *6º Congreso Forestal Español*, edit. Sociedad Española de Ciencias Forestales, España, 2013, ISBN 978-84-937964-9-5.
40. García, E.V.; Avendaño, E.E.R. y Flores, R.A. "Fenología y unidades calor de genotipos de papayo en el sur de tamaulipas, México", *Revista Fitotecnica Mexicana*, vol. 31, no. 3, 2008, pp. 45-48, ISSN 0187-7380.

Recibido: 21 de noviembre de 2014

Aceptado: 24 de marzo de 2015

¿Cómo citar?

Rodríguez Cabello, Jesús; Díaz Hernández, Yusnier; Pérez González, Aymara; Fundora, Luis R. y Rodríguez Hernández, Pedro. Análisis del crecimiento en genotipos silvestres de *Carica papaya* L. cultivados *ex situ* y cv. 'Maradol Roja'. [en línea]. *Cultivos Tropicales*, 2015, vol. 36, no. 3, pp. 96-105. ISSN 1819-4087. [Consultado: ____]. Disponible en: <-----/>.