

Efecto de la densidad de población en el desarrollo y distribución de la biomasa del girasol, variedad Caburé – 15

Effect of population density in the development and distribution of biomass of sunflower, variety Caburé – 15

Jorge Luis Mena Lorenzo*, Andrés Loreto Díaz Pita y Raudel Aguilar Díaz

Departamento de Producción Agropecuaria, Facultad de Agronomía y Forestal, Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río, Cuba.

(*E-mail: jorgel@upr.edu.cu)

<http://dx.doi.org/10.19084/RCA17248>

Recibido/received: 2017.09.29

Recibido en versión revisada/received in revised form: 2017.10.24

Aceptado/accepted: 2017.10.25

RESUMEN

En este trabajo evaluó la influencia de diferentes densidades de población a simple y a doble hilera en la biomasa del girasol, variedad Caburé – 15, en un suelo Ferralítico Amarillento Lixiviado. Se utilizó un diseño experimental en bloques completamente al azar y un testigo absoluto, con tres tratamientos de densidad y tres réplicas, en una plantación por parcelas. Se aplicó fertilización de fondo con estiércol vacuno sólido y descompuesto y Fertilizante Completo NPK antes de la siembra a toda el área experimental. Se evaluaron indicadores que caracterizan la biomasa del cultivo resultando que con una densidad de población de 20 plantas/m², sembradas a doble hilera, se obtiene mayor índice de cosecha ($p < 0.01$) que para densidades de 8 plantas/m² y 5.6 plantas/m², sembradas a hilera simple.

Palabras clave: distribución de biomasa, fenología, índice de cosecha.

ABSTRACT

In this work, the influence of different population densities, from single to double row, in the sunflower biomass, Caburé – 15 variety, was evaluated in a Ferralitic Yellowish Leached Soil. A completely randomized block experimental design and an absolute control, with three density treatments and three replicates, were used in a plot plantation. Bottom fertilization was applied with solid and decomposed bovine manure and NPK Complete Fertilizer before sowing to the entire experimental area. We evaluated indicators that characterize the biomass of the crop, resulting in a higher crop index ($p < 0.01$) at a plant density of 20 plants/m², with a yield of 8 plants/m² and 5.6 plants/m², planted in a row simple.

Keywords: biomass distribution, phenology, harvest index.

INTRODUCCIÓN

El propio crecimiento poblacional en el mundo promovió, entre otras demandas, el consumo de cereales y oleaginosas, y como resultado la ocupación de la mayor parte de la superficie sembrada en las aéreas más productivas. Por ello, uno de los objetivos de la siembra es lograr la máxima relación planta/semilla y mantener una distribución constante entre las plantas dentro de la hilera.

En el caso particular del girasol (*Helianthus annuus* L.), además de sus potencialidades como oleaginosa y como flor cortada para la ornamentación, se ha demostrado que la densidad de población y la fertilización nitrogenada aumentan considerablemente su rendimiento (Sarmah *et al.*, 1994; Escalante, 1995), conduciendo a una mayor acumulación de materia seca en la planta (Steer y Hocking, 1984; Giménez *et al.*, 1994), a una mayor proporción de materia seca en la semilla y a un incremento

en el índice de cosecha (Vega, 1999). Además, sus potencialidades bromatológicas permiten producir biomasa seca con gran contenido alimenticio para animales (Mizubuti *et al.*, 2002; Tomich *et al.*, 2003).

La elevada producción de masa verde por hectárea y el alto porcentaje de proteína bruta de sus hojas, tallos y flores le hacen un forraje de buena calidad. La planta completa aporta 20.5 t/ha de proteína, un valor respetable para la época seca, cuando no se tiene prácticamente alimento para los animales.

En esta investigación se determinó la influencia de diferentes densidades de población (a simple y a doble hilera) en el desarrollo y distribución de la biomasa del girasol, variedad Caburé – 15, en las condiciones edáficas de un suelo Ferralítico Amarillento Lixiviado (Mena *et al.*, 2015).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área experimental

Para la ejecución de un proyecto de desarrollo agronómico es de vital importancia estudiar las variables físico-naturales que permitan conocer las limitaciones de la zona o región y la viabilidad de los recursos naturales y sociales que ahí se encuentren.

Ubicación Político-Administrativa

El área de estudio Finca Los Ortiz se localiza en la República de Cuba, en el km 13.50 de la carretera a la Coloma, en Las Llanadas, que es un asentamiento humano perteneciente al municipio San Luis, en la provincia Pinar del Río, al norte del Consejo Popular Las Palizadas y colindando con el Río Guamá.

Ubicación Geográfica

Está localizada a 22°16'33" latitud Norte y 83°40'51" longitud Oeste, con coordenada plana X = 223 726.3 m y coordenada plana Y = 274 477.7 m (Sistema de Información Geográfica, 2014), a una altitud de 10 a 15 msnm (Figura 1).



Figura 1 - Mapa de ubicación geográfica del área experimental. Fuente: Instituto Provincial de suelos, Pinar del Río, Cuba (2010).

Ubicación Hidrográfica

Se encuentra ubicada a 3.50 km de las márgenes del río Guamá.

Ubicación Práctica

El área se sitúa a 5.60 km de la carretera a la Coloma, a 3.00 km del poblado Santa María y a 8.00 km de la cabecera del municipio San Luis. Linda por el Norte con la Finca Los Barretos (cultivos varios); por el Sur con la Finca Los García (cultivos varios); por el Este con la Finca Los Aguilar (producción pecuaria) y por el Oeste con la Finca Los Hernández (cultivos varios).

Caracterización agronómica del área experimental

Topografía

Tiene una extensión de 9 287.43 m² (7.9 ha).

Relieve

La Finca Los Ortiz pertenece a la llanura sur de Pinar del Río, con relieve regular llano de pendiente de 1-4 %.

Litología

Se caracteriza por ser del tipo arenoso cuarcítico, del sub-tipo típico, desarrollado con materiales transportados y corteza de meteorización ferralítica o caolinizada. En los primeros 25 cm del perfil (profundidad efectiva) el contenido de materia orgánica es de 1.1%, y a los 45 cm presenta mediana profundidad pedológica y poca humificación (> 2%). Es un suelo fuertemente desaturado, con gran degradación por erosión eólica, su textura es arenosa fina y se encuentra a 44 msnm.

Cantidad de agua de riego

En los informes de registros hidráulicos realizados se cuenta con el aforo del pozo que abastece de agua a la finca y a fincas aledañas, realizado el 25 febrero de 2001, considerando positivo el buen abasto de agua para efectuar el riego, con criterios sostenidos de potabilidad.

Calidad del agua de riego

Los indicadores de calidad del agua de riego fueron obtenidos en el Laboratorio de Química de la Universidad de Pinar del Río, con equipos certificados: un CONDUCTIVITY METER MODEL DDSJ-308A y un HANNA Instruments pH 211 microprocessor pH Meter (Cuadro 1).

Cuadro 1 - Resultados del análisis de calidad del agua.
Fuente: Laboratorio de Química de la Universidad de Pinar del Río, 2015

Parámetro	Método	Muestra	Unidad
pH	Potenciométrico	7.50	U/pH
Conductividad eléctrica	Conductimétrico	415	μS/cm
Densidad	Densimétrico	207	mg/L
Temperatura	Termométrico	28.3	°C

Todos los valores se encuentran por debajo de los permitidos por el Instituto de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente Provincial, para aguas de tipo 1. Posee un pH ligeramente básico, una densidad y temperatura aceptables para el riego. El porcentaje de salinidad es muy bajo según el valor obtenido de conductividad eléctrica, informando acerca de la buena calidad del agua de riego, pues la

concentración y composición de sales disueltas no resultan nocivas para el cultivo del girasol.

Edafología

Los estudios edafológicos se centraron en las propiedades físicas y químicas del suelo. Para ello se consultaron los mapas cartográficos 1:10 000 y 1:25 000 (Instituto de Suelos, 2010); Ministerio de la Agricultura (MINAGRI, 2002); informes de producción, agroquímico y muestreos de suelos en las campañas tabacaleras (2010-2011, 2011-2012); el Sistema de Información Geográfica (SIG, 2014); los estudios de García *et al.* (2014) en suelos aledaños y la propia observación de campo de los investigadores, apoyados en la guía propuesta por López (1972) para el Estudio de suelos, con métodos de laboratorio y de campo.

Se trata de un suelo Ferralítico Amarillento Lixiviado, caracterizado por tener siempre nódulos ferruginosos, de perfil ABtC, en los que predomina el color amarillo-amarillento, a veces con manchas rojizas (Hernández *et al.*, 2015), y se corresponde con un Ultisol, según clasificación de la Soil Taxonomy (Unites States Department Agriculture, 1975). Sus propiedades físicas se encuentran detalladas en el Cuadro 2.

Cuadro 2 - Propiedades físicas del suelo en el área experimental

Textura (mm)	Estructura (clase)	DA (g/cm ³)	PT (%)	VI (mm/h)	Hy (%)	CC (% m.s.s)	PMP (% m.s.s)
Arena fina	Fina	1,52	30 - 35	138	1.4	14.5	9.25

Leyenda: **DA**: densidad aparente; **PT**: porosidad total; **VI**: velocidad de infiltración; **Hy**: humedad higroscópica; **CC**: capacidad de campo; **PMP**: punto de marchitez permanente.

El análisis químico presenta las siguientes propiedades detalladas en el Cuadro 3.

Es un suelo muy pobre en materia orgánica, con bajo grado de humificación, erosión hídrica, salinidad actual y/o potencial, baja capacidad de intercambio catiónico, poco contenido en bases cambiables, muy baja retención de humedad, alta compactación y mal drenaje interno.

Cuadro 3 - Propiedades químicas del suelo en el área experimental

pH Cl K	mg / 100g de suelo		% de Cl	% de MO	(Cmol ⁽⁺⁾ . Kg ⁻¹)						
	P ₂ O ₅	K ₂ O			Ca ⁺	Mg ⁺	Na ⁺	K ⁺	S	T	T-S
5.8	15.0	11.6	0.024	0.9	1.50	0.56	0.12	0.19	2.8	5.78	1.3

Leyenda: **pH (KCl)**: acidez del suelo (cloruro de potasio); **P₂O₅**: pentóxido de difósforo; **K₂O**: óxido de dipotasio; **M.O.**: materia orgánica; **Ca⁺**: calcio; **Mg⁺**: magnesio; **Na⁺**: sodio; **S**: bases cambiables absorbidas por el suelo; **T**: capacidad de intercambio catiónico; **T - S**: volumen de las bases intercambiables por el suelo.

Climatología

Se trabajó con los datos correspondientes a la Estación Meteorológica de Pinar del Río, ubicada en los 22°22'0" latitud Norte (N) y los 83°40'0" longitud Oeste (W), situada a 54 msnm. Con la serie de datos ofrecidos por el Instituto de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente Provincial, correspondiente a los últimos 30 años, se construyó el siguiente diagrama bioclimático (Figura 2).

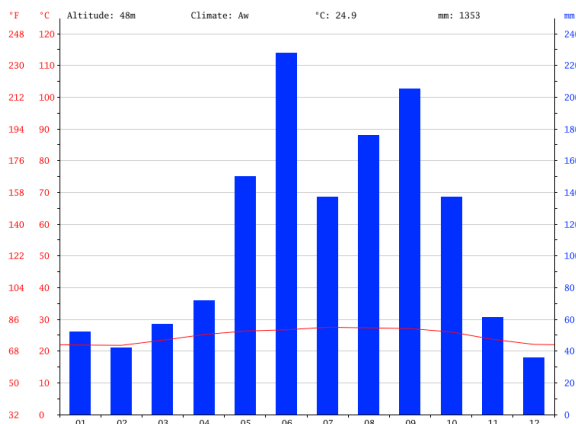


Figura 2 - Diagrama bioclimático de la estación meteorológica Pinar del Río.

Del análisis de temperaturas y precipitaciones observadas en el diagrama se aprecian dos periodos. Uno poco lluvioso de octubre a la segunda quincena de mayo, y otro lluvioso de junio a septiembre. En el mes de diciembre y desde la segunda quincena de marzo hasta abril la evaporación potencial es mayor que la suma de precipitaciones, correspondiente a un periodo seco. En el resto del año la evaporación potencial es menor que la suma de las precipitaciones.

El exceso de precipitación (lluvia superior a los 100 mm mensuales) corresponde a los meses desde junio hasta septiembre, en una transición hacia el clima tropical húmedo lluvioso.

Tratamiento y diseño experimental

Indicadores medibles

- Descripción fenológica según las fases de desarrollo del cultivo.
- Número de hojas con el 50% o más de color verde (NHV).
- Área foliar (AF). Se determinó utilizando las dos ecuaciones propuestas por Schneiter (1978). En ambas ecuaciones Y (cm²) es la superficie de la hoja, su área foliar. Para el estudio se utilizó un planímetro y se determinaron curvas de regresión lineal para tres tamaños de hojas. Para valores de X (ancho) entre 0 y 21 cm

$$Y = 0.8X + 0.697X^2$$

Para valores de X (ancho) superiores a 21 cm

$$Y = -15.2 + 4.297X + 0.565X^2$$

- Índice de área foliar (IAF), según Escalante y Kohashi (1997).

$$IAF = \frac{AF \times DP}{AS}$$

AF es el promedio de área foliar por plantas, DP el número de plantas en el área sembrada (AS). El índice de área foliar se expresa en cm^2 .

- Número de hojas senescentes (NHS), a partir de los 60 días (frecuencia quincenal) después de la siembra hasta la cosecha.
- Duración del área foliar (DAF), que indica el lapso en que el área foliar es funcional en el período vegetativo, reproductivo y total.
- Biomasa total (BT), como la suma de la masa (g) seca de cada órgano de la planta por m^2 , sin considerar la raíz. Se determinó llevando a secado cada estructura de la planta hasta peso constante en una estufa de ventilación forzada a $80\text{ }^\circ\text{C}$ por 72 horas. Para ello se cosecharon las plantas de los surcos centrales a los 20, 49, 60, 90, 105 días después de la siembra (DDS), con excepción de aquellas que se encuentran a 50 cm del borde del surco para evitar el efecto de borde.
- Tasa de crecimiento del cultivo (TCC), de los 20 a los 90 DDS, fue la pendiente de la recta de regresión de la biomasa (masa seca, g/m^2) y el tiempo expresado en días.
- Distribución de la biomasa en los órganos de la planta, como la producción de materia seca (g/m^2) por cada órgano de la planta durante el desarrollo del cultivo. Estos indicadores

permiten realizar una valoración integral de la distribución DE biomasa en toda la planta.

- Índice de cosecha (IC), como el cociente entre la masa seca de la parte de la planta económicamente aprovechable (Rendimiento económico), en este caso la masa de las semillas, y la masa seca total de la planta sin raíces (Rendimiento biológico), en este caso la biomasa total durante la cosecha.

Se utilizaron tres repeticiones (bloques) de seis surcos de 10 m de longitud cada uno, teniendo en cuenta la distribución detallada en la Figura 3.

En el bloque 1 (Testigo absoluto) se utilizó el método de siembra de hilera simple, con una distancia entre plantas de 35 cm y entre surcos de 1 m, lográndose una densidad de población de 6 plantas/ m^2 y 60 000 plantas/ha. En lo adelante la nomenclatura de este bloque será DSHs-35 (6).

En el bloque 2 se utilizó el método de siembra de hilera simple, con una distancia entre plantas de 25 cm y entre surcos de 1 m, lográndose una densidad de población de 8 plantas/ m^2 y 80 000 plantas/ha. En lo adelante la nomenclatura de este bloque será DSHs-25 (8).

En el bloque 3 se utilizó el método de siembra de doble hilera, con una distancia entre plantas de 20 cm, entre hileras de 0.50 m y entre centro

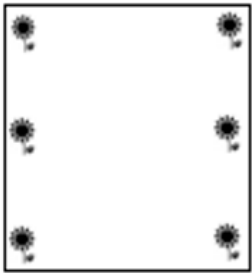
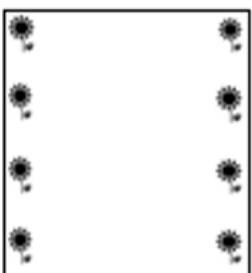
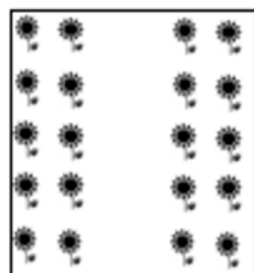
Variedad	SHs-35 (6)	DSHs-25 (8)	DSdH-20 (20)	Largo
Caburé – 15				1 m
Ancho	1 m	1 m	1 m	
Plantas/ m^2	6	8	20	
Plantas/ha	60 000	80 000	200 000	

Figura 3 - Diseño experimental a hileras simples y a dobles hileras.

y centro de cada hilera de 1 m, lográndose una densidad de población de 20 plantas/m² y 200 000 plantas/ha. Su nomenclatura será DSdH-20 (20).

Cada bloque se fertilizó antes de la siembra a una profundidad de 15 cm empleando 16 kg de estiércol vacuno y 4.5 kg Fertilizante Completo (NPK). A los tres bloques se les aplicó el mismo tratamiento cultural e igual riego y fertilización. Se tuvo en cuenta durante el conteo el cuidado al cultivo para no dañarlo por el laboreo mecánico y la manipulación de sus hojas.

Para el análisis estadístico se aplicó el paquete estadístico Statistical Package for Social Science (SPSS), para Windows, versión 15 (2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción fenológica según las fases de desarrollo del cultivo

La germinación del Caburé-15 ocurrió entre los 6 y 8 DDS para las tres densidades de población (6, 8 y 20 plantas/m²), emergiendo primero en el bloque 3 y posteriormente en el bloque 2 y 1, lo cual indica la posible manifestación de competencia

intraespecífica entre las semillas por absorber agua y nutrientes.

A los 20 días DDS se había logrado la germinación en cada bloque con muy pocos claros en cada unidad experimental. En el bloque donde se sembró a doble hilera y con distancia entre plantas de 20 cm los resultados en porcentaje de germinación también superan a los de hilera simple, aunque sin diferencias altamente significativas entre ellas. Respuestas similares encontraron Steer y Hocking (1984), Gimenez *et al.* (1994), Vega (1999) y Escalante *et al.* (2008), variando las densidades de población y utilizando la fertilización nitrogenada.

El inicio de floración ocurrió a los 60 y 71 días después de la emergencia para los bloques 2 y 3, sin diferencias significativas. La madurez fisiológica ocurrió a los 90 y 95 días después de la emergencia para los bloques 2 y 3. El bloque 1 maduró a los 95 DDS.

Número de hojas con el 50% o más de color verde (NHV)

El número de hojas con el 50% o más de color verde por m² mostró un incremento significativo por efecto de la densidad de población (Figura 4).

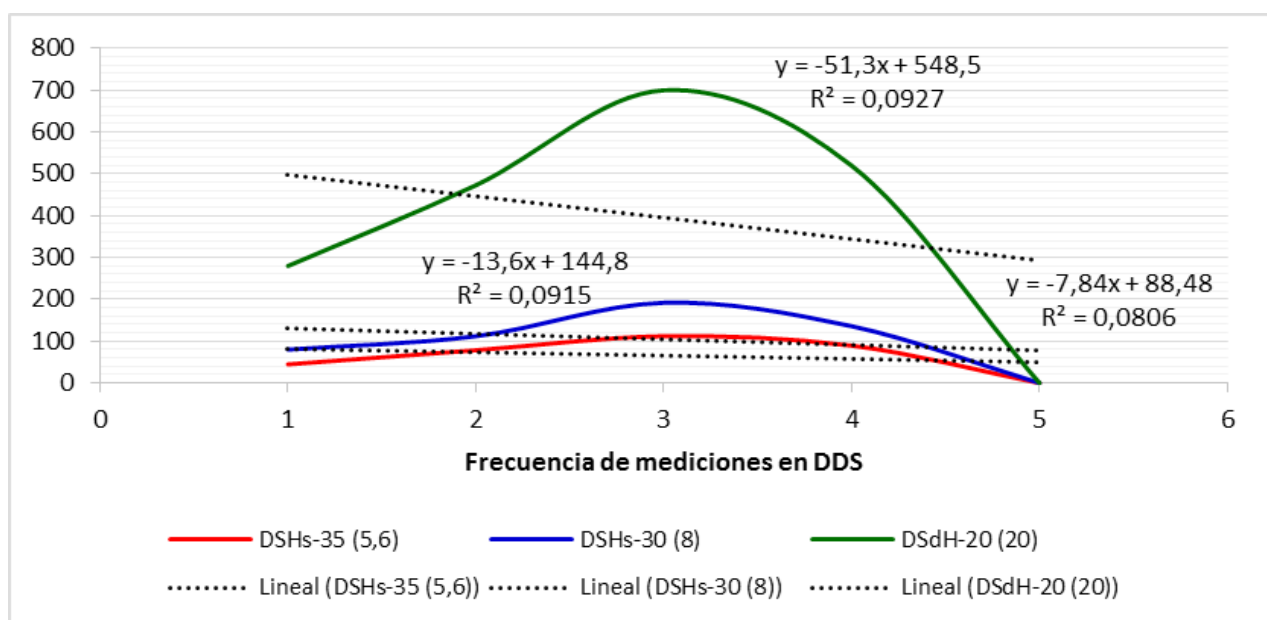


Figura 4 - Número de hojas con el 50% o más de color verde por m².

Dichos incrementos se ajustaron a un modelo cuadrático. En DSdH-20 (20), las tasas de incremento durante los estados iniciales de desarrollo fueron altas (10.5 hojas/m²d⁻¹) y tendieron a decrecer después de la etapa de floración. En las densidades DSHs-25 (8) y DSHs-35 (6), las tendencias fueron similares, pero con menores tasas de incremento (2.8 hojas/m²d⁻¹ y 1.68 hojas/m²d⁻¹, respectivamente).

Las plantas en DSdH-20 (20) produjeron 508 y 588 hojas por m² más que DSHs-25 (8) y DSHs-35 (6), respectivamente, como consecuencia del mayor número de plantas por m². Tendencias similares fueron reportadas en girasol en clima cálido por Olalde *et al.* (2000), quienes señalaron incrementos de 43 y 99% del número de hojas por m² en densidades de 7.5 y 10 plantas/m², con respecto a 5 plantas/m² (125 hojas/m²), a los 54 DDS.

Hernández (2003), en la selección de híbridos y variedades de girasol, ha enfatizado al definir una arquitectura de la planta, que pueda garantizar una mayor y más eficiente interceptación de la radiación solar. Esto se logra por la disposición espacial y el número de hojas que tenga la planta, existiendo estrecha relación entre el índice del área foliar y los rendimientos biológicos y económicos.

Índice de área foliar (IAF)

El índice de área foliar mostró durante el desarrollo del cultivo un aumento significativo por efecto de la densidad de población. Dicha tendencia fue similar a la curva del número de hojas verdes en donde el valor máximo también se observó a los 60 días después de la siembra. Posteriormente, el número de hojas verdes y el índice de área foliar disminuyeron debido a la senescencia hasta

alcanzar los valores más bajos durante la madurez fisiológica (Cuadro 4).

Desde las primeras etapas de crecimiento el índice de área foliar de ambos bloques con mayor densidad de población fue superior al testigo. Estas diferencias fueron más significativas a los 60 días después de la siembra en la DSdH-20 (20). Así, el índice de área foliar de DSdH-20 (20) fue, por ejemplo, a los 60 días 1.69 veces mayor que el bloque 2 (DSHs-25 (8)), y 2.90 veces mayor que el testigo (DSHs-35 (6)). Incrementos en el índice de área foliar por nitrógeno fueron encontrados por Escalante *et al.* (2008) con densidad de población alta, desde las primeras etapas de desarrollo, lo cual es consecuencia del mayor número de hojas por m².

Número de hojas senescentes (NHS)

A partir de los 60 días después de la siembra, cada 15 días hasta la cosecha, se contabilizó el número de hojas senescentes, considerándose como tal a aquellas que presentaron más del 50% de color amarillo. La tasa de senescencia fue la pendiente de la recta de regresión entre el número de hojas senescentes y el tiempo empleado en días para el conteo.

Puede apreciarse (Figura 5) que en DSdH-20 (20) la tasa de incremento en número de hojas verdes durante los estados iniciales fue alta y tendió a decrecer en la tasa de senescencia hasta el valor de 3.2, después de la etapa de floración, superior a los tratamientos DSHs-25 (8), con tasa de senescencia de 0.3 y DSHs-35 (6), con tasa de senescencia de 0.2, respectivamente. Ello puede atribuirse al incremento de la densidad de población (Aguilar *et al.*, 2005).

Cuadro 4 - Índice de área foliar para diferentes densidades de población

Tratamientos	Índice de área foliar (IAF)			
	Plántula	Botón floral	Floración	Fructificación
	27/11/2014	19/12/2014	8/1/2015	10/2/2016
DDS	20	49	60	90
DSHs-35 (6)	0.3	0.9	2.1	1.3
DSHs-30 (8)	0.6	1.5	3.6	1.6
DSdH-20 (20)	1.5	2.9	6.1	3.4

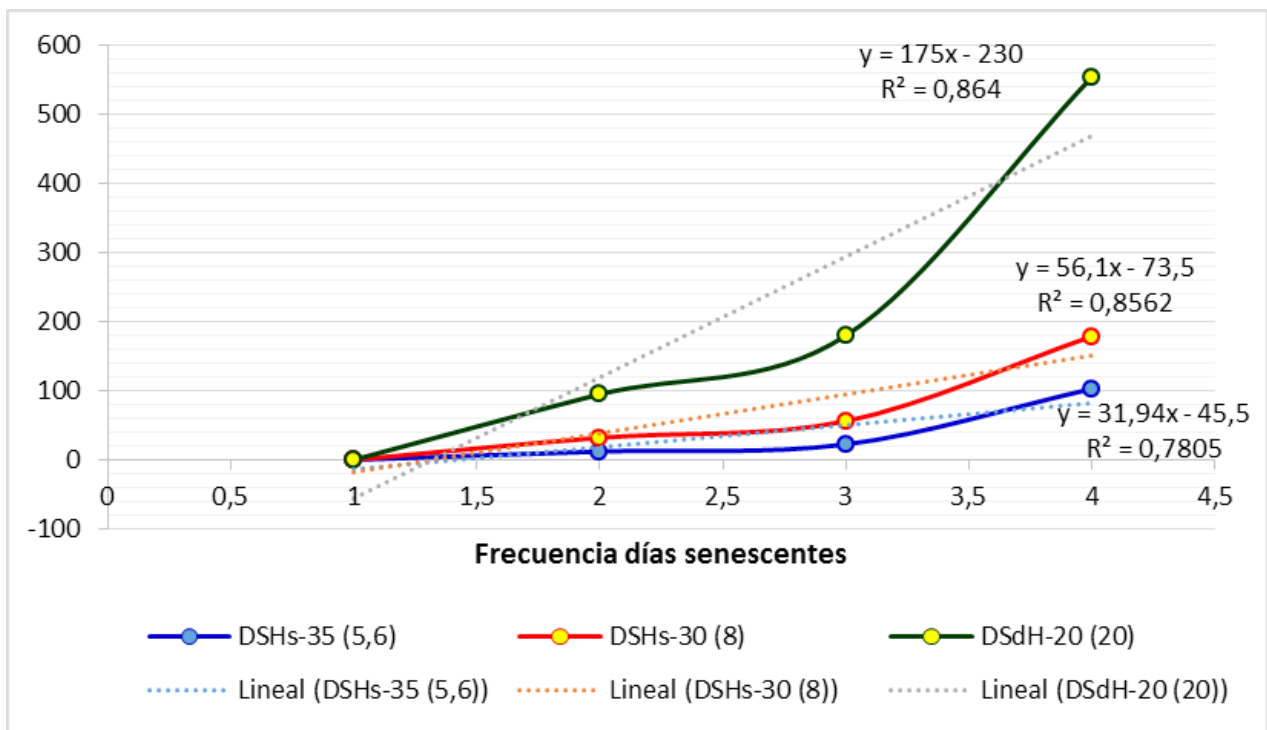


Figura 5 - Número de hojas senescentes por m² en el Caburé-15 para diferentes densidades de población.

Duración del área foliar (DAF)

La duración del área foliar (DAF) se amplió por efecto de la densidad de población (Cuadro 5), principalmente antes de la floración. La máxima duración del área foliar (147 días) se registró en las plantas con alta densidad de población, la cual fue superior a DSHs-25 (8) y DSHs-35 (6), debido al mayor desarrollo del índice de área foliar y al aprovechamiento de los nutrientes presentes en el suelo.

Cuadro 5 - Duración del área foliar antes de floración (ADF), después de floración (DDF) y total, en Caburé-15 para diferentes densidades de población

Densidad de población (plantas/m ²)	Duración del área foliar (días)		
	ADF	DDF	Total
DSHs-35 (6)	50 b*	71 c	121 c
DSHs-30 (8)	52 b	78 b	130 b
DSdH-20 (20)	59 a	88 a	147 a

* Letras iguales en cada columna indican valores estadísticamente iguales (Tukey, p < 0.01).

La permanencia del área foliar (DAF) se amplió por efecto de la densidad, principalmente antes de la floración. La máxima duración del área foliar (147 días) se registró en las plantas con alta densidad, la que fue superior a DSHs-25 (8) y DSHs-35 (6), debido al mayor desarrollo del índice de área foliar. Escalante et al. (2008) hallaron tendencias similares en girasol en condiciones de humedad residual.

Biomasa total de la planta en fases de su desarrollo

Durante el desarrollo del cultivo, la producción de biomasa por m² mostró un incremento significativo (P < 0.01) debido al aumento en la densidad de población (Figura 6). Dichos incrementos en las tres densidades se ajustaron a un modelo cuadrático. La biomasa total por m² a la cosecha fue de 1164.8 g/m² (DSHs-35 (6)), 1266.3 g/m² (DSHs-30 (8)) y 1397.1 g/m² (DSdH-20 (20)).

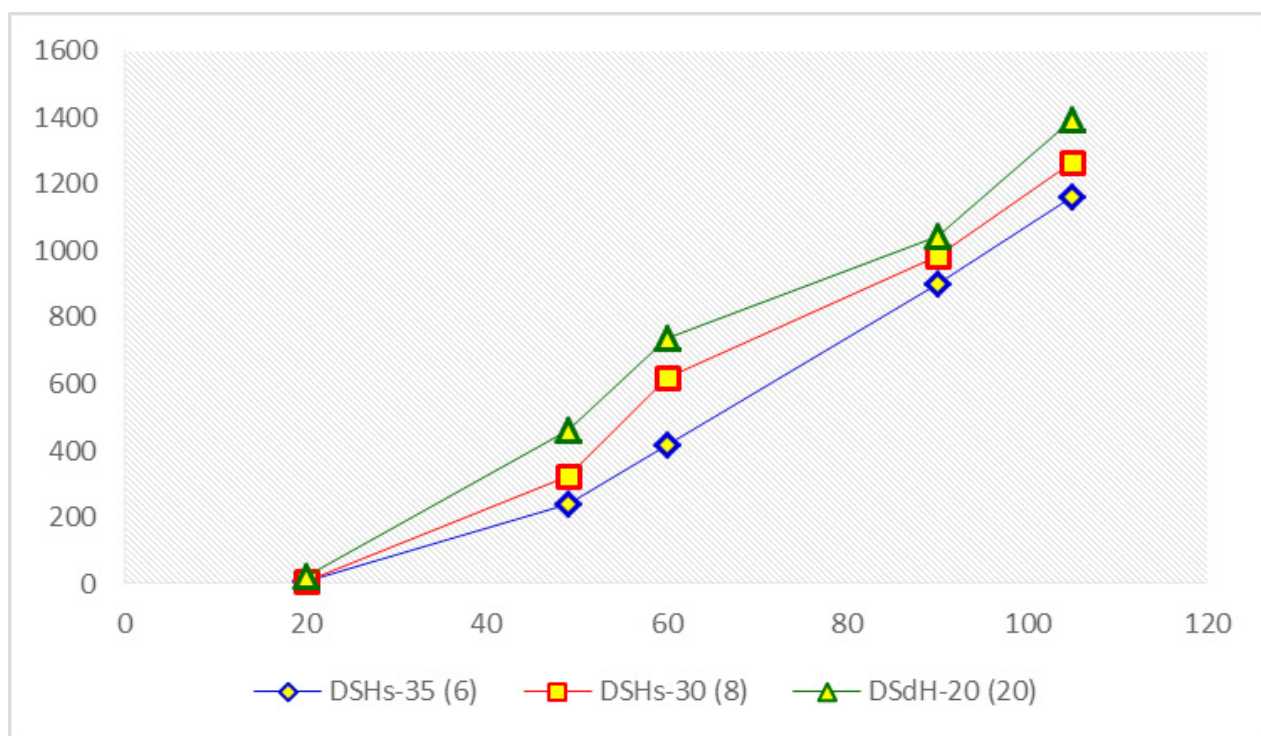


Figura 6 - Dinámica de la producción de biomasa en Caburé-15 para diferentes densidades de población.

Se observa que la producción de biomasa mostró una relación lineal alta ($R^2 = 0.99$), con el índice de área foliar máximo, lo que permite inferir que existe una relación directamente proporcional entre el crecimiento del índice de área foliar y la producción de biomasa total de los órganos de la planta.

Lo anterior puede atribuirse a una mayor fotosíntesis, debida al crecimiento del dosel vegetal que proporciona mayor intercepción de luz y mayor aprovechamiento de los recursos hídricos y nutrientes. Respuestas similares a la densidad de población observaron Vega *et al.* (2001) y Aguilar *et al.* (2005) en girasol cv. Victoria en condiciones de temporal y, Escalante *et al.* (2008), en girasol en condiciones de humedad residual. La información anterior se utiliza para determina la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en función de su biomasa total de este.

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en biomasa total

La tasa de crecimiento del cultivo de los 20 a los 105 DDS se determinó a través de la pendiente de la recta de regresión de la biomasa (masa seca, g/m^2) y el tiempo (Cuadro 6). Como se observa, la tasa de crecimiento en biomasa del cultivo es superior donde la densidad de población es mayor (DSdH-20 con $16.8 g/m^2d^{-1}$) que donde la relación de plantas por unidad de superficie disminuye, como en el caso de DSHs-30, con $14.8 g/m^2d^{-1}$ y DSHs-35, con $14.0 g/m^2d^{-1}$.

Cuadro 6 - Valores de la tasa de crecimiento del cultivo en biomasa total en Caburé-15 para diferentes densidades de población

Tratamiento	Ecuación de regresión	Coefficiente	TCC (g/m^2d^{-1})
DSHs-35	$Y = 14.014 (IAF) - 362.48$	$R^2 = 0.97$	14.0
DSHs-30	$Y = 14.836 (IAF) - 320.27$	$R^2 = 0.98$	14.8
DSdH-20	$Y = 1.842 (IAF) - 314.7$	$R^2 = 0.99$	16.8

Ello se debe a que existe relación entre la tasa de crecimiento del cultivo, la radiación solar, el índice de área foliar y la eficiencia del cultivo para transformar la radiación en materia seca. De acuerdo con Morales *et al.* (2006), la superficie foliar con que cuenta una planta influye directamente en su actividad fotosintética y, por tanto, en la acumulación de su masa seca.

El Caburé-15, en su máxima densidad de siembra, incrementó su índice de área foliar y con ello su capacidad de captar con eficiencia la radiación solar y lograr la máxima fotosíntesis. Todo lo cual permite aumentar la acumulación de biomasa total y la producción de granos, lo que se traduce en rendimiento del cultivo.

Distribución de la biomasa en los órganos de la planta índice de cosecha (IC)

La producción de materia seca por m² en los órganos de la planta durante el desarrollo del cultivo, se incrementó con la densidad de población (Cuadro 7). Al analizar la dinámica de acumulación de materia seca en función de la densidad de población, se observa que el tallo fue el órgano de mayor porcentaje. A la madurez fisiológica (90-105 DDS) se encontró la máxima acumulación de materia seca. La densidad de 20 plantas/m² mostró 890.5 g/m², la cual fue superior a DSHs-35 (591.6 g/m²) y DSHs-30 (399.5 g/m²), respectivamente.

La mayor acumulación de materia seca en hojas ocurrió con alta densidad de población, para 20 plantas/m². Olalde *et al.* (2000) encontraron resultados diferentes e interpretaron que puede estar relacionada con un mayor espacio disponible entre plantas, ocasionando una mayor disponibilidad de luz, agua y nutrientes. Según los autores, para 5 plantas/m² ocurrió una temprana senescencia de hojas a partir de los 45 días después de la siembra.

En los tres niveles de densidad se observó un notable incremento en la acumulación de materia seca en el capítulo (Cuadro 8), a partir de los 90 DDS. La mayor acumulación ocurrió alrededor de los 100 DDS (madurez fisiológica). DSdH-20 mostró la acumulación de materia seca más alta con 801.4 g/m², superior a las densidades DSHs-35 (496.1 g/m²) y DSHs-30 (575.4 g/m²), respectivamente.

Cuadro 8 - Materia seca de capítulos, receptáculos y semillas del Caburé-15 para diferentes densidades de población

Tratamientos	Capítulos (g/m ²)		Receptáculos (g/m ²)	Semillas (g/m ²)	Índice de cosecha (IC)
	90	105	105	105	
DDS					105
DSHs-35 (6)	454.6	496.1	185.5	291.2	0.25
DSHs-30 (8)	563.8	575.4	207.8	379.9	0.30
DSdH-20 (20)	767.5	801.4	391.1	489.0	0.35

El aumento en la acumulación de materia seca en el capítulo y disminución de la misma en las hojas concuerdan con lo reportado en girasol por Villalobos *et al.* (1994) bajo condiciones de riego. Con relación a la acumulación de materia seca en la semilla al final de la madurez fisiológica (100 DDS), se obtuvo que a mayor densidad de población mayor fue la masa de semillas por m², con 489.0 g/m², y fue superior a DSHs-35 y DSHs-30 en 291.2 g/m² y 379.9 g/m², respectivamente.

La importancia de la variación en la repartición de fotoasimilados entre los órganos de la planta tiene principal atención en el índice de cosecha como un criterio específico de selección de genotipos con potencial de producción alto (Gifford *et al.*, 1984), pero, además, puede ser modificado por el manejo del cultivo. En las tres densidades, la mayor proporción de materia seca (%), respecto a biomasa total, se generó en tallo, seguido de semilla, receptáculo y hoja (Figura 7).

Cuadro 7 - Distribución de la biomasa en los órganos del Caburé-15 para diferentes densidades de población

Tratamientos	Materia seca de hojas (g/m ²)					Materia seca de tallos (g/m ²)				
	20	49	60	90	105	20	49	60	90	105
DDS										
DSHs-35 (6)	4.9	208.8	96.1	99.9	75.8	2.1	216.7	365.6	409.8	399.5
DSHs-30 (8)	6.9	232.3	249.2	252.1	150.9	2.7	278.5	587.9	596.6	591.6
DSdH-20 (20)	8.9	258.2	300.6	295.8	200.6	4.5	396.6	864.5	898.1	890.5

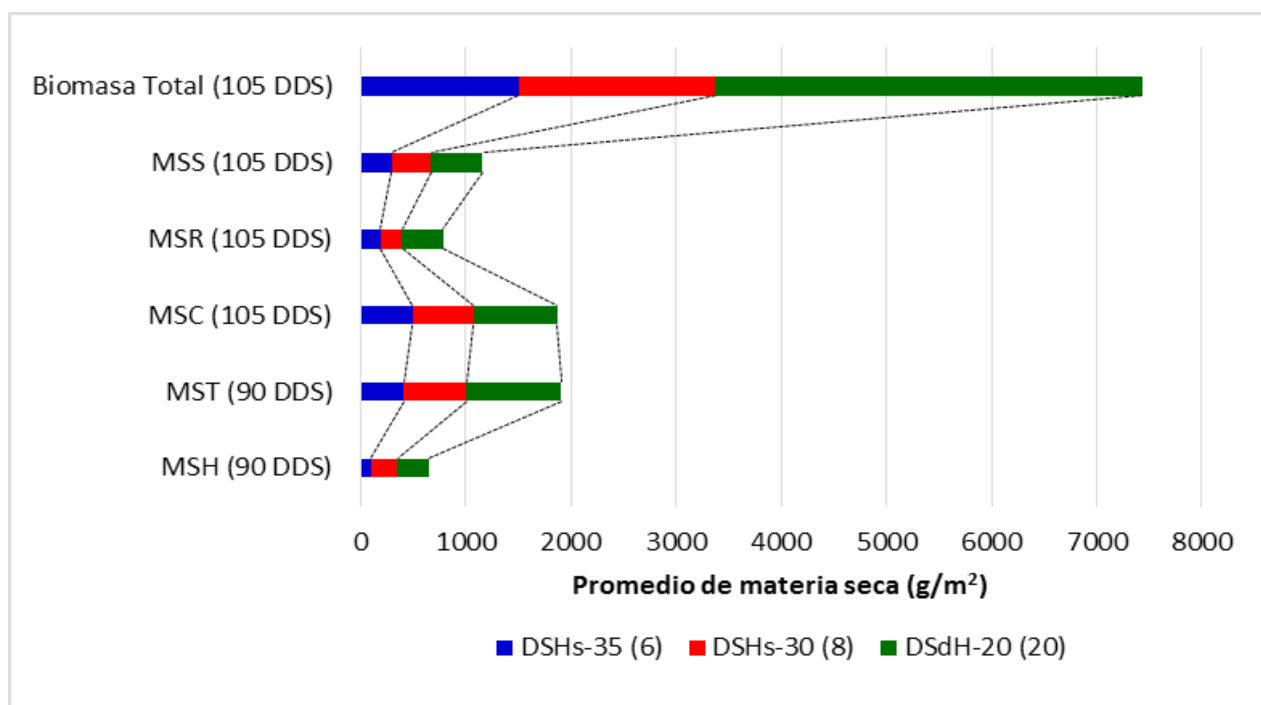


Figura 7 - Distribución de masa seca en órganos de la planta y biomasa total del Caburé-15 para diferentes densidades de población.

El aumento en la densidad generó una menor proporción de materia seca en tallos y hojas, y un ligero aumento en el capítulo. No obstante, se indujo a una ligera disminución en la proporción de la semilla en cada capítulo. Esto último pudo estar relacionado con una mayor competencia intraespecífica entre plantas generando capítulos más pequeños y menor número de semillas por capítulo, tal como lo refieren Olalde *et al.* (2000).

El déficit de población no permite que este exprese el potencial del cultivo en el rendimiento de granos/ha, aun cuando la variedad posea un aceptable diámetro de la cabezuela y rendimiento en gramos/cabezuela. De acuerdo con Sakac *et al.* (1998), para obtener buenos rendimientos en girasol es más importante incrementar el número de plantas/ha que la producción de semilla/plantas.

CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados en el experimento con Caburé-15, permiten confirmar que:

- La biomasa de girasol, variedad Caburé-15, constituye un importante alimento animal, por su alto contenido energético (alto porcentaje de proteína bruta de sus hojas, tallos y flores) siendo la época de siembra su aspecto más importante por coincidir con el período menos lluvioso, donde más escasean los alimentos.
- Con una densidad de población de 20 plantas/m², sembradas a doble hilera, se obtiene mayor rendimiento biomásico. Dichas plantas mostraron los valores más altos en tasa de crecimiento del cultivo (16.8 g/m²d⁻¹), masa seca por m² de hojas (295.8 g/m²), tallos (898.1 g/m²), capítulos (801.4 g/m²), receptáculos (391.1 g/m²) y semillas (489.0 g/m²), comparadas con las plantas de densidades de población de 6 plantas/m² y 8 plantas/m², sembradas a hilera simple.
- Como resultado se puede afirmar que con una densidad de población de 200 000 plantas/ha, sembradas a doble hilera, se obtiene mayor índice de cosecha (IC = 0.35), que para densidades a simple hilera con 80 000 plantas/ha (IC = 0.30) y

56 000 plantas/ha (IC = 0.25). También se incrementó el número de hojas verdes por m² (700 (7 000 000/ha), el índice de área foliar (6.1), la producción de biomasa total (13 996,17 kg/ha)

y la masa seca de hojas (2 963 kg/ha), tallos (8 997,19 kg/ha), capítulos (8 028.45 kg/ha), receptáculos (3 918 kg/ha) y semillas (4 898.81 kg/ha).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, L.; Escalante, J.A.; Fucikovsky, L.; Tijerina, L. & Mark, E. (2005) – Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra Latinoamericana*, vol. 23, n. 3, p. 303-310.
- Escalante, J.A. (1995) – Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. *In: Agroproductividad*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. pp. 28-32.
- Escalante, J.A. & Kohashi, J. (1997) – Yield in a pole snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in two types the trellises and two planting distances. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative*, vol. 40, p. 136-137.
- Escalante, L.E.; Escalante, Y.I. & Linzaga, C. (2008) – La fertilización nitrogenada en el rendimiento del girasol en México. *Revista Agronomía Costarricense*, vol. 31, n. 2, p. 95-100.
- García, M.; Díaz, A.L. & Valdés, M.A. (2014) – El mejoramiento de los suelos: una experiencia desde la agroecología en la Cooperativa de Producción Agropecuaria Celso Maragoto Lara. *Revista Científica Avances*, vol. 16, n. 4, p. 315-326.
- Gifford, R.M.; Thorne, H.W.; Hitz, D. & Giaquinta, R.T. (1984) – Crop productivity and photoassimilate partitioning. *Science*, vol. 225, n. 4664, p. 801-808. <http://dx.doi.org/10.1126/science.225.4664.801>
- Gimenez, C.; Connor, D.J. & Rueda, F. (1994) – Canopy development, photosynthesis and radiation use efficiency in sunflower in response to nitrogen. *Field Crops Research*, vol. 38, n. 1, p. 15-27. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(94\)90028-0](https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)90028-0)
- Hernández, A.; Pérez, J.M.; Bosch, D. & Castro, N. (2015) – *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. La Habana: Ediciones INCA, ISBN 978-959-7023-77-7, p. 47.
- Hernández, L.F. (2003) – *Híbrido intergenérico entre el girasol cultivado (Helianthus annuus) y la especie Tithonia rotundifolia (Mill.) Blake*. Departamento de Fitomejoramiento, Buenavista, Saltillo, Coahuila, CP 25315, México.
- Instituto de Suelos (2010) – *Indicaciones prácticas de conservación de suelos para los agricultores (Ingeniería Medio Ambiental)*. La Habana: MINAG, 75 p.
- López, J. (1972) – *El diagnóstico de suelos y plantas. Métodos de campo y laboratorio*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2da edición.
- Mena, J.L.; Díaz, A.L. & Aguilar, R. (2015) – *Efecto de la densidad de población en el desarrollo y distribución de la biomasa del Helianthus annuus L. (girasol), variedad Caburé – 15*. Pinar del Río: Universidad de Pinar del Río (mimeo).
- MINAGRI (2002) – *Mapa de suelos. Pan de Guajaibón 3584-III. Hoja 3583-IX, Herradura*. La Habana: Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes, Ministerio de la Agricultura.
- Mizubuti, I.Y.; de Azambuja, E.L.; da Rocha, M.A.; das Dores, L.; Pereira, A.; Costa, W. & Alves, M. (2002) – Consumo e digestibilidade aparente das silagens de milho (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L.) Moench e girassol (*Helianthus annuus* L.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 31, n. 1, p. 267-272. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982002000100029>
- Morales, D.; Rodríguez, P.; dell'Amico, J.A.; Torrecillas, A. & Sánchez, M.J. (2006) – Efecto de altas temperaturas en algunas variables del crecimiento y el intercambio gaseoso en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Amalia). *Cultivos Tropicales*, vol. 27, n. 1, p. 45-48.
- Olalde, V.M.; Escalante, J.A.; Sánchez, P.; Tijerina, L.; Agustín, A.; Lagunas, M. & Carreño, E. (2000) – *Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido*. [cit. 2015.09]. http://www.chapingo.mx/terra/contenido/18/4/art313_323.pdf

- Sakac, Z.; Cupina, T. & Miklic, V. (1998) – Physiological regulation of size, number and filling in sunflower. *In: Turkulov (Ed.) – Production and processing of oilseed*. Proc. 39th Industry Conference. Novisad, Yugoslavia. p. 141.
- Sarmah, P.C.; Kalyal, S.K. & Faroda, A.S. (1994) – Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars to fertility level and plant population. *Indian Journal of Agronomy*, vol. 39, n. 1, p. 76-78.
- Schneider, A.A. (1978) – Nondestructive leaf area estimation in sunflower. *Agronomy Journal*, vol. 70, n. 1, p. 141-142. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1978.00021962007000010034x>
- SIG (2014) – *Imágenes de Cuba. Imágenes de googleearth gvSIG 1.10*. Sistema de Información Geográfica.
- Steer, B.T. & Hocking, P.J. (1984) – Leaf and floret production in sunflower (*Helianthus annuus* L.) as affected by nitrogen supply. *Annals of Botany*, vol. 52, n. 3, p. 267-277. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a086575>
- Tomich, T.R.; Rodrigues, J.A.S.; Gonçalves, L.C.; Tomich, R.G.P. & Carvalho, A.U. (2003) – Potencial forrageiro de cultivares de girassol produzidos na safrinha para ensilagem. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, vol. 55, n. 6, p. 756-762. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352003000600013>
- United States Department of Agriculture (1975) – *Soil Conservation Service. Keys to Soil Taxonomy, Soil Survey Staff*. New York: Government Printing Office, 306 p.
- Vega, R.M. (1999) – Crecimiento y rendimiento de girasol (*Helianthus annuus* L.) en función del nitrógeno, densidad de población y época de aclareo. Tesis de Maestría en Ciencias. Especialidad de Botánica. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Vega, R.M.; Escalante-Estrada, J.A.; Sánchez, G.P.; Ramírez, A.C. & Cuenca, A.E. (2001) – Asignación de biomasa y rendimiento de girasol con relación al nitrógeno y densidad de población. *Terra*, vol. 19, p. 75-81.
- Villalobos, F.J.; Sadras, V.O.; Soriano, A. & Fereres, E. (1994) – Planting density effects on dry matter partitioning and productivity of sunflower hybrids. *Field Crops Research*, vol. 36, n. 1, p. 1-11. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(94\)90047-7](https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)90047-7)