



Agronomía Colombiana

ISSN: 0120-9965

agrocolfabog@gmail.com

Universidad Nacional de Colombia
Colombia

Barraza, Fernando V.; Fischer, Gerhard; Cardona, Carlos E.
Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle
del Sinú medio, Colombia
Agronomía Colombiana, vol. 22, núm. 1, 2004, pp. 81-90
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180317823011>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia

Studying the process of tomato crop (*Lycopersicon esculentum* Mill.) growth in the Middle Sinu Valley, Colombia

Fernando V. Barraza¹, Gerhard Fischer² y Carlos E. Cardona¹

Resumen: Para conocer la densidad poblacional óptima y obtener el mayor rendimiento en el cultivo del tomate en el Valle del Sinú medio, se hizo una investigación mediante diseño completamente al azar con cuatro tratamientos (densidades poblacionales de 20.000, 25.000, 33.333 y 50.000 plantas·ha⁻¹) y tres repeticiones. Se tomaron las medidas directas: altura de planta, número de hojas, área foliar, número de frutos y rendimiento. También se calcularon los índices de crecimiento: tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN), tasa relativa de crecimiento (TRC), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar (DAF). Con la población de 50.000 plantas·ha⁻¹ se obtuvo mayor altura de planta, con un promedio de 240,33 cm a los 120 días después del trasplante; mayor número de hojas, con un promedio de 196,7 a los 120 días, mayor área foliar, con un promedio de 8.109,73 cm², a los 105 días, y el mayor rendimiento de frutos por planta, con un promedio de 1.699,27 g. Este mismo tratamiento (50.000 plantas·ha⁻¹) presentó los más altos valores medios de (a) TCC (40,88 g·m⁻²·día⁻¹ a los 105 días después del trasplante), (b) TAN (0,00343 g·cm⁻²·día⁻¹ a los 75 días), (c) TRC (0,1532 g·g⁻¹·día⁻¹, a los 45 días), (d) IAF (4,04824 a los 105 días), y (e) DAF (56,37075 días, a los 120 días).

Palabras clave: Desarrollo, materia seca, rendimiento, densidad poblacional, área foliar.

Abstract: A totally randomised design employing four treatments (20,000, 25,000, 33,333 and 50,000 plants·ha⁻¹ population density) and three repetitions was used for ascertaining optimum population density and obtaining the highest yield in tomato crops grown in the middle Sinu valley. Direct measurements taken included: plant height, number of leaves, leaf area, fruit number and yield. Growth indexes were also calculated: crop growth rate (CGR), net assimilation rate (NAR), relative growth rate (RGR), leaf area index (LAI) and leaf area duration (LAD). The 50,000 plants·ha⁻¹ population obtained the highest plant height (240.33 cm average after 120 days following being transplanted), highest leaf number (196.7 at 120 days), highest leaf area (8,109.73 cm² at 105 days) and highest fruit yield per plant (1,699.27 g). The same treatment (50,000 plants·ha⁻¹) presented the highest CGR (40.88 g·m⁻²·day⁻¹ after 105 days following being transplanted), NAR (0.00343 g·cm⁻²·day⁻¹ at 75 days), RGR (0.1532 g·g⁻¹·day⁻¹ after 45 days), LAI (4.04824 at 105 days) and LAD (56.37075 days after 120 days following being transplanted) mean values.

Key words: Development, dry matter, yield, population density, leaf area.

Introducción

ACTUALMENTE EN COLOMBIA, el tomate es uno de los cultivos hortícolas de mayor importancia. Se siembra en casi todas las regiones del país, tanto en plantaciones comerciales como en huertos de tipo familiar, siendo los principales productores: Valle del Cauca, Cundinamarca, Huila, Antioquia, Santander, Boya-

cá y Atlántico (Lobo y Jaramillo, s.f.). Entre las principales ventajas y beneficios que representa su cultivo, se pueden mencionar las siguientes: produce en corto tiempo (100-110 días); no se necesita una gran extensión de terreno; se adapta a diferentes tipos de suelos; su fruto es objeto de una gran demanda en el mercado, tanto para el consumo directo como para la industria; puede producir buenas ganancias y su

Fecha de recepción: 15 de diciembre de 2003.
Aceptado para publicación: 27 de mayo de 2004.

- 1 Profesores Titulares, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba, Montería. e-mail: cacardona@edatel.net.co
- 2 Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: gfischer@unal.edu.co

consumo en la alimentación familiar es indispensable (Consejo de Bienestar Rural, 1962).

La mayoría de los cultivos en el país se hacen en pequeñas áreas y con una gran dispersión de los productores, desde unas pocas plantas en el huerto casero hasta 80 ha como sucede en el Valle del Cauca. Además se emplea una amplia gama de metodología para su producción, desde técnicas avanzadas (invernaderos) hasta las más rudimentarias, como los materiales postrados que se siembran en el departamento del Atlántico (Lobo y Jaramillo, s.f.).

La existencia de zonas productoras diferentes justifica la necesidad de ensayar nuevas variedades y técnicas de cultivo adaptadas al suelo, clima y demás requisitos de crecimiento, ya que en la mayoría de los casos, los agricultores por no contar con asesoría y orientación técnica, no tienen una visión panorámica del cultivo ni de los adelantos en materia de investigación que se han venido dando a nivel mundial, sobre todo en el desarrollo de nuevos genotipos de alto rendimiento, tolerancia a plagas y enfermedades, entre otros (Lobo y Jaramillo, s.f.).

La zona del Valle del Sinú medio ofrece condiciones climáticas y de suelos aptas para la siembra de tomate tanto a pequeño como a mediano y grande nivel. En general los horticultores siembran pequeñas áreas de tomate, ya que es preocupante el desconocimiento del manejo y ciclo biológico del cultivo. En este sentido, no se tiene información local sobre el proceso de crecimiento que sigue el cultivo como población y los rendimientos alcanzados. Por lo anterior, el presente trabajo busca resolver esta problemática mediante el estudio básico del crecimiento del cultivo del tomate, que constituye la base para la solución de otros problemas paralelos al proceso productivo como son aspectos relacionados con plagas, enfermedades, variedades, cosecha, control de malezas y comercialización, entre otros (Barraza, 2000a).

El crecimiento vegetal, entendido como un aumento irreversible en tamaño de los organismos, implica a nivel fisiológico una serie de cambios y reacciones de tipo bioquímico, de las cuales dependerá finalmente el comportamiento agronómico y el rendimiento potencial de los diferentes genotipos. Generalmente, el crecimiento se determina mediante medidas directas (altura de la planta, diámetro del tallo, número de ho-

jas, área foliar, masa seca) e indirectas como la tasa de asimilación neta, tasa de crecimiento del cultivo, tasa relativa de crecimiento, etc. Cabe anotar que el crecimiento está ligado a factores ambientales como luz, temperatura y humedad, entre otros (Salisbury y Ross, 1994).

El crecimiento de la planta se constituye en un fiel reflejo de que en ella tienen lugar una serie de cambios estructurales de tamaño, peso y forma específicos, que ocurren de acuerdo con los patrones de división celular y diferenciación, los cuales no pueden considerarse fuera del contexto ambiental. En efecto, la densidad de población, que afecta en los agroecosistemas la intercepción de radiación solar y el suministro de agua y nutrientes, es un aspecto de importante estudio en los cultivos, debido a que se encuentra directamente relacionado con eventos fisiológicos que afectan la producción y acumulación de materia seca entre los diferentes órganos (Rodríguez, 2000).

Por lo anterior, el conocimiento del proceso de crecimiento de un cultivo en un determinado ambiente representa una ventaja para su manejo agronómico. En consecuencia, la presente investigación se planteó el objetivo de caracterizar el proceso de crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate en el Sinú medio bajo cuatro densidades de población, determinando la época de mayor crecimiento del cultivo, la densidad de población más apropiada para su siembra y manejo, y el rendimiento.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en el campo de producción de hortalizas de la Universidad de Córdoba, ubicada geográficamente entre los 8° 31' de Latitud Norte y 75° 58' de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich, a una altura de 13 msnm, con temperatura promedio de 28°C, humedad relativa promedio del 80% y precipitación promedio anual de 1.200 mm. Según la clasificación de Holdridge, corresponde a una zona de transición entre bosque seco tropical y bosque húmedo tropical. Se sembró el genotipo de tomate Chonto Santa Cruz Kada, utilizando un diseño experimental completamente al azar, con 4 tratamientos (densidades de población) y 3 repeticiones, así: T1: 20.000 plantas·ha⁻¹ (1 m entre surcos por 0,50 m entre plantas, Testigo), T2: 25.000 plantas·ha⁻¹ (1 m entre surcos por 0,40 m entre plan-

tas), T3: 33.333 plantas·ha⁻¹ (1 m entre surcos por 0,30 m entre plantas) y T4: 50.000 plantas·ha⁻¹ (1 m entre surcos por 0,20 m entre plantas). Las unidades experimentales estuvieron constituidas por parcelas de 4 m de ancho y 5 m de largo. El área experimental fue de 240 m².

El manejo agronómico de las unidades experimentales en cuanto a fertilización se hizo teniendo en cuenta los resultados del análisis de suelos, aportando las cantidades de nutrientes por el cultivo para una alta productividad. El manejo de plagas y enfermedades se llevó a cabo de manera preventiva utilizando mezclas de fungicidas e insecticidas. El control de malezas se hizo manualmente con machete durante todo el ciclo del cultivo. Los requerimientos hídricos se atendieron con un sistema de riego por aspersión.

Las variables estudiadas fueron las siguientes: altura de planta (medida desde la base de la misma hasta el ápice), diámetro del tallo principal (medido con un nonio a 1 cm de la base de la planta), número de hojas (se contó el número de hojas por planta), número de frutos por planta (se hizo el conteo, durante todos los estadios de producción del cultivo, del número de frutos con madurez fisiológica por planta). La toma sucesiva de todas estas medidas directas (excepto el área foliar), se efectuó desde los 15 días hasta los 120 días posteriores al trasplante, cada 15 días, tomando el dato promedio sobre tres plantas seleccionadas al azar y marcadas en los dos surcos centrales de cada unidad experimental. Para el caso de la medición del área foliar (cm²) se efectuó sobre tres plantas seleccionadas al azar de los dos surcos centrales de cada unidad experimental, aplicando el método gravimétrico. El rendimiento, en t·ha⁻¹, se calculó con base al rendimiento por unidad experimental. Por su parte, los índices de crecimiento (tasa de crecimiento del cultivo, tasa de asimilación neta, tasa relativa de crecimiento, índice de área foliar y duración del área foliar) se estimaron con la misma frecuencia de las medidas directas, utilizando las fórmulas indicadas por Gardner *et al.* (1990), basadas en masa seca, área foliar y tiempo (Tabla 1).

Todas las variables estudiadas se procesaron utilizando el software SAS (Statistical Analytical System for Windows™, release 6.12, copyright 1989-1996) para el análisis de varianza y prueba de separación de medias de Tukey, y se graficaron en función del tiempo.

Tabla 1. Ecuaciones para el cálculo de los valores de los índices de crecimiento (según Gardner *et al.*, 1990).

Índice de crecimiento	Ecuación	Unidades
Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)	$1/(AS) \cdot [(P_2 - P_1)/(t_2 - t_1)]^2$	g·m ⁻² ·día ⁻¹
Tasa de asimilación neta (TAN)	$[(P_2 - P_1)/(t_2 - t_1)] \cdot [(\ln AF_2 - \ln AF_1)/(AF_2 - AF_1)]^y$	g·cm ⁻² ·día ⁻¹
Tasa relativa de crecimiento (TRC)	$(\ln P_2 - \ln P_1)/(t_2 - t_1)$	g·g ⁻¹ ·día ⁻¹
Índice de área foliar (IAF)	$[(AF_2 + AF_1)/2] \cdot (1/AS)$	sin unidades
Duración del área foliar (DAF)	$(IAF_1 + IAF_2)(t_2 - t_1)/2$	días

^yAS = área de suelo, P₂ = Peso final, P₁ = peso inicial, t₂ = tiempo final, t₁ = tiempo inicial.
^yAF₂ = área foliar final, AF₁ = área foliar inicial.

Resultados y discusión

Altura de planta

Entre los 15 y 60 días después del trasplante no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos. A los 75, 90, 105 y 120 días después del trasplante, se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos. Por la prueba de Tukey se pudo establecer que el tratamiento de 50.000 plantas·ha⁻¹ superó al resto de los tratamientos en grado altamente significativo, alcanzando el mayor valor promedio de altura de planta, de 240,33 cm, a los 120 días posteriores al trasplante (Tabla 2).

El comportamiento diferencial observado en altura de planta para los tratamientos evaluados pone de manifiesto que los genotipos vegetales responden morfológica y fisiológicamente frente a la densidad de po-

Tabla 2. Efecto de cuatro densidades de población sobre la altura de plantas de tomate a los 120 días después del trasplante en el Valle del Sinú medio.

Densidades de población	Altura de planta (cm)
25.000 plantas·ha ⁻¹	201,67 a ²
20.000 plantas·ha ⁻¹	209,67 b
33.333 plantas·ha ⁻¹	224,33 c
50.000 plantas·ha ⁻¹	240,33 d

² Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey P < 0,01).

blación. Rodríguez (2000) comenta que al incrementar la densidad de población, se producen plantas más largas, mientras Favaro y Pilatti (1997) opinan que las plantas de tomate sembradas a mayor densidad, originan en sus estratos inferiores una mayor proporción de luz rojo lejano (730 nm). Este hecho afecta la actividad del fitocromo que se expresa por un incremento en la longitud de los entrenudos y por consiguiente la altura de la planta.

En la Figura 1 se puede observar que el crecimiento en altura se inicia con cierta lentitud hasta los 30 días después del trasplante. Posteriormente, entre los 60 y 105 días se incrementó de manera notoria hasta alcanzar el máximo valor, de 240,33, a los 120 días después del trasplante. Esta dinámica seguida por la curva de crecimiento de altura de planta se asemeja a una S oblicua, denominada curva de crecimiento sigmoide, según lo indicado por Fogg (1967) y Salisbury y Ross (1994) para diferentes cultivos. Para todos los tratamientos, las curvas sugieren un crecimiento exponencial a partir de los 30 días después del trasplante.

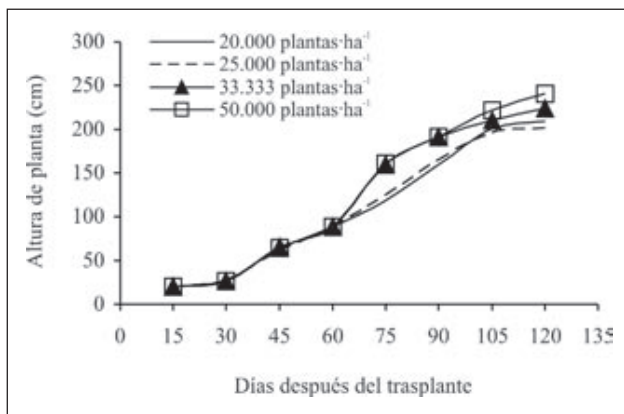


Figura 1. Comportamiento de la altura de planta del tomate en cuatro densidades de población; Valle del Sinú medio, 2002.

Teniendo en cuenta que el genotipo de tomate utilizado en la presente investigación es de tipo indeterminado, el valor promedio máximo de altura de planta obtenido para el tratamiento 4 (50.000 plantas·ha⁻¹) se encuentra dentro de lo normal para este tipo de variedades, ya que según Petoseed Co. Inc. (s.f.), se pueden alcanzar hasta 3,5 m de altura o más, hasta donde la planta sea capaz de transportar los nutrientes y soluciones desde el suelo hasta la última hoja. Téngase en cuenta que no se controló la dominancia apical. A este respecto comenta

Chamarro (1995) que en los cultivares indeterminados el tallo principal crece en forma continua con inflorescencias internodales laterales cada 3 hojas, pudiendo crecer hasta 10 m por año.

Número de hojas

Entre los 75 y 120 días después del trasplante, se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos evaluados. Aplicada la prueba de Tukey, se pudo establecer que el tratamiento de 50.000 plantas·ha⁻¹ superó al resto de los tratamientos en grado altamente significativo entre los 90, 105 y 120 días posteriores al trasplante, alcanzando el mayor número de hojas a los 105 días después del trasplante (Tabla 3).

Tabla 3. Efecto de cuatro densidades de población sobre el número de hojas por planta de tomate, a los 105 días después del trasplante, en el Valle del Sinú medio.

Densidades de población	Número de hojas
20.000 plantas·ha ⁻¹	121,33 a ²
25.000 plantas·ha ⁻¹	186,67 b
33.333 plantas·ha ⁻¹	215,33 c
50.000 plantas·ha ⁻¹	218,33 d

² Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $p < 0,01$)

La Figura 2 muestra que el comportamiento del número de hojas a través del tiempo es de tipo sigmoide, según lo indican Fogg (1967) y Salisbury y Ross (1994). El mayor número de hojas alcanzado por el tratamiento de 50.000 plantas·ha⁻¹, es un evento favorable para la producción del cultivo, en vista de que la actividad fo-

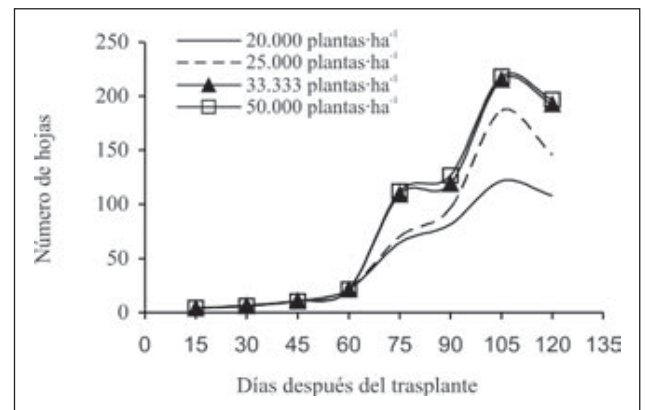


Figura 2. Comportamiento del número de hojas por planta de tomate bajo cuatro densidades de población; Valle del Sinú medio, 2002.

tosintética laminar y el crecimiento están estrechamente relacionados, ya que según lo reportado por Fogg (1967), la cantidad de fotosíntesis que una planta realiza depende de la superficie de la hoja u órganos fotosintéticos que posea y de la actividad fotosintética por unidad de área de estos tejidos. Al mismo tiempo, el área foliar depende del número de hojas, de su velocidad de crecimiento y de su tamaño final (Barraza, 2000b). Posiblemente, considerando lo reportado por Rodríguez (2000), en los tratamientos de 33.333 y 50.000 plantas·ha⁻¹, con altas densidades de población, las raíces y el follaje de las plantas compitieron con sus vecinas por los recursos aprovechables (agua, nutrientes y radiación) para los diferentes procesos de desarrollo. Al incrementar la densidad de población se eleva la demanda por dichos recursos.

A la luz de los resultados obtenidos, uno de los aspectos que adquiere mayor importancia, es el manejo de poblaciones más altas en el cultivo de tomate, que según Guzmán (1991), pueden llegar hasta 55.555 plantas·ha⁻¹, siempre y cuando se tenga en cuenta realizar labores culturales como la poda y deshijado de la planta, ya que su efecto contribuye al control de la luz en el cultivo, factor que se puede modificar para aumentar los rendimientos de los cultivos, y en general, según Cayón (1992) se obtienen altas producciones por unidad de superficie, por el uso eficiente de la luz durante las etapas iniciales de crecimiento de los cultivos.

Área foliar

Para todos los tratamientos, la mayor valor de área foliar se presentó a los 105 días después del trasplante, época en la que también se observaron los máximos valores en el número de hojas. Esta situación es favorable para un mejor crecimiento y desarrollo de la planta, el cual contribuye a obtener más altos rendimientos, ya que según Petoseed Co. Inc. (s.f.), a medida que se desarrolla la planta de tomate, las hojas se vuelven más complejas y por lo tanto más funcionales.

Entre los 90 y 120 días posteriores al trasplante, el tratamiento de 50.000 plantas·ha⁻¹ superó en área foliar al resto de los tratamientos, en grado altamente significativo, alcanzando el mayor valor promedio a los 105 días después del trasplante (Tabla 4).

Los mayores valores de área foliar obtenidos en el tratamiento de 50.000 plantas·ha⁻¹ sugieren una mayor actividad fotosintética laminar, ya que el comporta-

Tabla 4. Efecto de cuatro densidades de población sobre el área foliar de plantas de tomate, a los 105 días después del trasplante, en el Valle del Sinú medio.

Densidades de población	Área foliar (cm ²)
20.000 plantas·ha ⁻¹	4.728,28 a ²
25.000 plantas·ha ⁻¹	6.859,80 b
33.333 plantas·ha ⁻¹	7.828,99 c
50.000 plantas·ha ⁻¹	8.109,73 d

² Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey p < 0,01).

miento de respuesta de la materia seca a incrementos de densidad de población depende en gran medida del área foliar (Rodríguez, 2000), y a su vez, según Jarma *et al.* (1999), las plantas con mayor área foliar y ambiente favorable, son capaces de utilizar mejor la energía solar con una fotosíntesis más eficiente.

La Figura 3 muestra el comportamiento del área foliar a través del tiempo para los tratamientos estudiados.

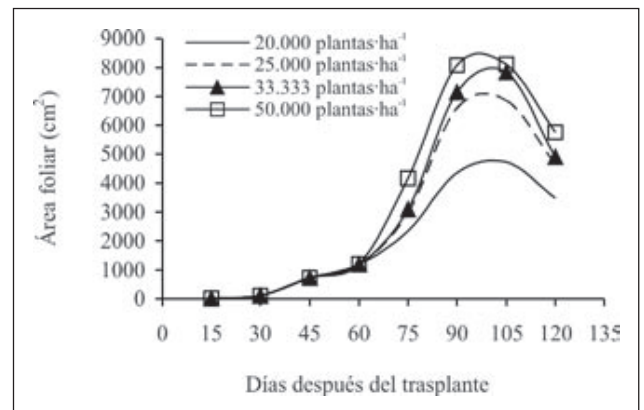


Figura 3. Comportamiento del área foliar de plantas de tomate bajo cuatro densidades de población; Valle del Sinú medio, 2002.

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

Para todos los tratamientos se observó que entre los 15 y 75 días posteriores al trasplante, la TCC aumentó rápidamente, alcanzando los máximos valores a los 75 días después del trasplante. Para esta fecha, el tratamiento de 50.000 plantas·ha⁻¹ superó a los demás tratamientos, con una TCC de 40,88 g·m⁻²·día⁻¹. Posteriormente, a los 105 días después del trasplante, esta misma densidad de población superó a las demás, con una TCC de 29,26 g·m⁻²·día⁻¹ (Figura 4). Estos valores indican que las plan-

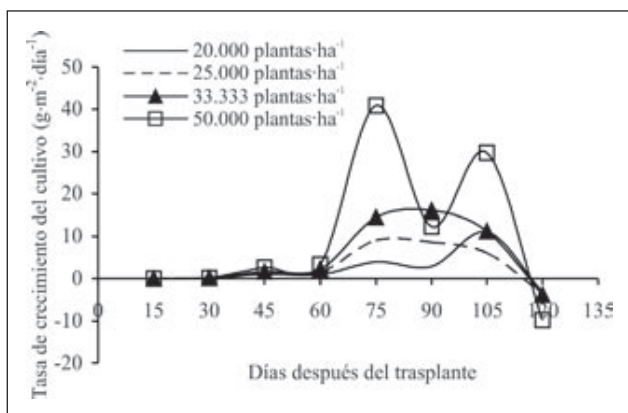


Figura 4. Tasa de crecimiento del cultivo de tomate en cuatro densidades de población; Valle del Sinú medio, 2002.

tas de tomate sometidas a cultivo, con una densidad de población de 50.000 plantas·ha⁻¹, como una comunidad de individuos, tuvieron más ganancia en peso de materia seca por unidad de superficie de suelo y de tiempo.

Para todos los tratamientos, luego de alcanzar los máximos valores de la TCC, este índice de crecimiento decreció en forma bastante acelerada, hasta el punto de alcanzar valores negativos, que de acuerdo con Charles-Edwards *et al.* (1986) se deben a la pérdida de peso de materia seca como consecuencia de la senescencia y caída de hojas.

La mayor TCC alcanzada por el tratamiento de 50.000 plantas·ha⁻¹ indica más eficiencia productiva de biomasa por unidad de superficie de suelo y está en concordancia con lo reportado por Hunt (1990) en el sentido de que la TCC es un índice de productividad agrícola cuyos valores más altos se reflejan en mayor producción de los órganos de interés para la cosecha, contribuyendo a un mayor rendimiento.

Tasa de asimilación neta (TAN)

Los valores máximos para todos los tratamientos estudiados se presentaron a los 75 días después del trasplante, siendo mayor para el tratamiento de 50.000 plantas·ha⁻¹, con un valor de 0,00343 g·cm⁻²·día⁻¹. Posteriormente, a los 105 días después del trasplante, para esta misma densidad de población se alcanzó un valor de 0,00070 g·cm⁻²·día⁻¹, superando al resto de las densidades de población (Figura 5).

De acuerdo con lo anterior, se puede decir que la densidad de población de 50.000 plantas·ha⁻¹, que también

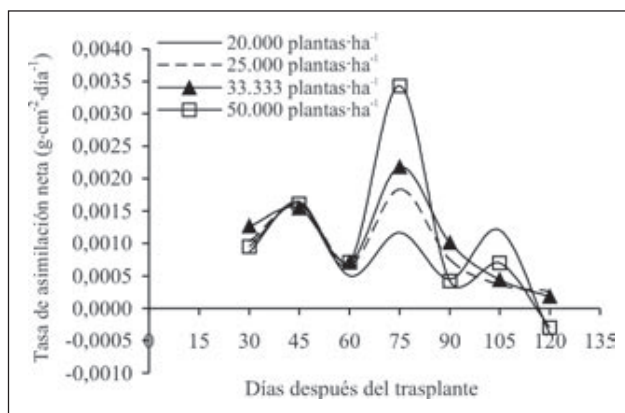


Figura 5. Tasa de asimilación neta del cultivo de tomate en cuatro densidades de población; Valle del Sinú medio, 2002.

superó al resto de las densidades de población en número de hojas y área foliar, tuvo una mayor ganancia de materia seca por unidad de tejido asimilatorio y por unidad de tiempo, lo cual de acuerdo con Gómez *et al.* (1999), trabajando en papa, indica una mayor eficiencia fotosintética promedio.

Al ser la fotosíntesis el proceso responsable de la mayor producción de asimilados y con ello de un mayor rendimiento, la relación que existe entre la mayor TCC de las plantas del tratamiento de 50.000 plantas·ha⁻¹ y la capacidad de dicha población para absorber mayor cantidad de energía lumínica, depende según Barraza (2000b) de la efectividad para absorberla con el área de hojas que las plantas son capaces de sostener. Este hecho se reflejó en la mayor área foliar de las plantas del tratamiento de 50.000 plantas·ha⁻¹ al interactuar positivamente con una mayor captación de luz por unidad de área foliar y de suelo.

Los valores negativos de la TCC al final del ciclo de cultivo en la densidad de población de 50.000 plantas·ha⁻¹ se debieron posiblemente a factores como el autosombreamiento de hojas y a su caída. Esta situación fue más acusada en este tratamiento, en virtud de que a mayor follaje, necesariamente la planta ha de sufrir mayor autosombreamiento y mayor caída de hojas. Al respecto, Charles-Edwards *et al.* (1986) comentan que la contribución de las hojas sombreadas a la planta puede ser lenta, sin importancia o nula.

En general para todos los tratamientos, entre los 90 y 120 días posteriores al trasplante, se presentó una disminución en la velocidad de asimilación neta de fotoa-

similados, lo cual según Barraza (2000b) es un reflejo de que en la medida que se producen más hojas, las inferiores van quedando sombreadas y sus tasas fotosintéticas disminuyen en relación directa a la disponibilidad de radiación solar.

Tasa relativa de crecimiento (TRC)

Los mayores incrementos en masa seca con relación a una masa seca inicial descritos por la TRC se presentaron para todas las densidades de población a los 45, 75 y 105 días posteriores al trasplante (Figura 6), siendo mayores en general para el tratamiento de 50.000 plantas·ha⁻¹.

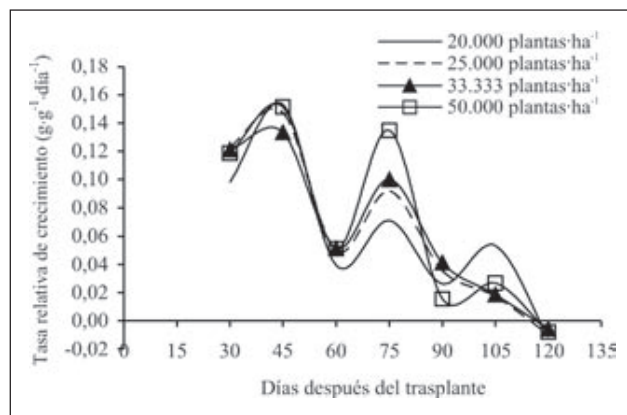


Figura 6. Tasa relativa de crecimiento del cultivo de tomate en cuatro densidades de población; Valle del Sinú medio, 2002.

Puede observarse, en concordancia con lo reportado por Jarma *et al.* (1999) que la TRC inicialmente presentó valores altos que fueron disminuyendo conforme avanzó el ciclo de vida del cultivo. Nótese que hubo una disminución de la TRC en el periodo comprendido entre los 45 y 60 días después del trasplante, en el cual se dio el proceso de floración. Es posible que esta situación, según Barraza (2000b) se deba a que al ocurrir dicho proceso, las hojas inferiores del cánopi entraron en senescencia y no fueron ganando peso en vista de que se convirtieron en fuentes que atendían la demanda de fotoasimilados que requerían las flores para su amarre y posterior cuajado de frutos (75 a 90 días después del trasplante).

Se vislumbra entonces una correlación entre el proceso de crecimiento y el desarrollo de diversas partes de la planta como flores y frutos, el cual según Barraza (2000b) puede explicarse en términos del suministro y

demanda, por la forma en que las sustancias para el crecimiento son traslocadas. Así, según Fogg (1967), el crecimiento de una parte de la planta consume sustancias nutritivas, y como resultado disminuye su concentración en los canales de suministros adyacentes, estableciéndose un gradiente de concentración que parece producir automáticamente el movimiento de otros materiales desde los órganos que incorporan o fabrican sustancias, o que simplemente las ceden con la edad. Cuanto más activo sea el crecimiento de una parte, tanto más irán a parar a ella los materiales disponibles, y tanto más se restringirá el crecimiento en otras partes.

Índice de área foliar (IAF)

En la Figura 7 se puede observar que el IAF, para todos los tratamientos, en función del tiempo exhibe curvas crecientes, que alcanzaron los valores más altos a los 105 días después del trasplante, siendo el tratamiento de 50.000 plantas·ha⁻¹ superior a los demás. A los 120 días después del trasplante, para todas las densidades de población, el índice de área foliar disminuyó al término del ciclo vital del cultivo.

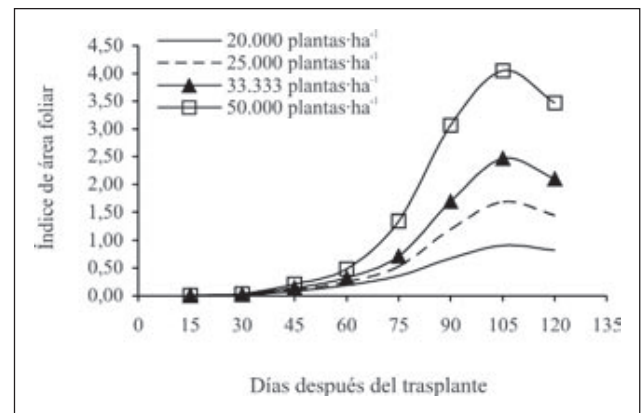


Figura 7. Índice de área foliar del cultivo de tomate en cuatro densidades de población; Valle del Sinú medio, 2002.

Se puede afirmar que el tratamiento de 50.000 plantas·ha⁻¹ aprovechó más la radiación presente para las plantas cultivadas, lo cual se manifiesta fisiológicamente en una mayor tasa de traslocación de fotoasimilados hacia los puntos de demanda, que para el caso del cultivo del tomate son principalmente los frutos. Esto se encuentra de acuerdo con lo manifestado por Fogg (1967) y Gómez *et al.* (1999) en el sentido de que la cantidad de fotosíntesis que una planta realiza depende,

además de la superficie de la hoja u otros órganos fotosintéticos que posea, del índice de área foliar, es decir del área de los limbos foliares sobre la unidad de superficie de suelo.

Si bien el IAF expresa el rendimiento de los cultivos por unidad de área foliar y por unidad de área de suelo ocupada por el cultivo (Gómez *et al.*, 1999), hay que aclarar que los valores altos de este índice en algunas ocasiones no están relacionados necesariamente con una mayor cantidad de fotosíntesis, ya que el IAF es un concepto que representa para todo cultivo, un promedio de los estratos de follaje que están expandidos, situación que se ve afectada por el hecho de que las hojas no se despliegan sin dejar de encontrarse unas con otras, sino que lo hacen en diferentes ángulos que varían con la morfología de las especies y con las condiciones ambientales en que estén creciendo (Barraza, 2000b). Para corroborar esto, Hunt (1982) indica que algunos valores altos del IAF pueden ocurrir cuando el follaje del cultivo no cubre toda la superficie del suelo.

Cayón (1992) afirma que la tasa de incremento de la productividad en una comunidad de plantas aumenta con el IAF hasta un valor óptimo, debido a una captación más efectiva de la radiación. Valores por encima de este óptimo, hacen caer la productividad por el excesivo gasto energético que demanda la respiración y por la utilización ineficiente de la luz por parte de las hojas inferiores sombreadas, pues éstas no reciben la cantidad suficiente de luz para mantener positivo su balance de carbono. A bajas intensidades luminosas, los valores del IAF no son tan altos como a altas intensidades, en parte porque las hojas inferiores entran en senescencia y mueren más rápido.

Duración del área foliar (DAF)

El tratamiento de 50.000 plantas·ha⁻¹ presentó durante todas las fechas posteriores al trasplante mayores valores de DAF (Figura 8). Esto indica que para dicho tratamiento la magnitud del área foliar y su persistencia a través del tiempo, fue mayor. Con ello, según Hunt (1982) y hubo un mayor aprovechamiento de la radiación solar, lo cual se manifestó en un mayor crecimiento general de las plantas, mayor acumulación de materia seca y mayor rendimiento total.

En general, el comportamiento de la DAF durante los días posteriores al trasplante es creciente, lo cual cobra

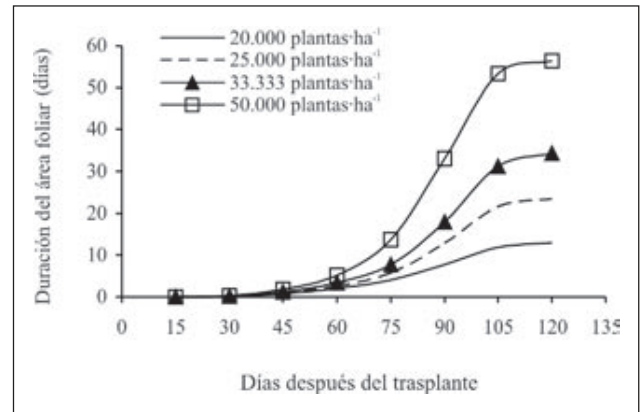


Figura 8. Duración del área foliar del cultivo de tomate en cuatro densidades de población; Valle del Sinú medio, 2002.

importancia al tener en cuenta lo indicado por Cayón (1992) en el sentido de que la capacidad para realizar fotosíntesis por parte de las hojas aumenta hasta la madurez, o un poco más, disminuyendo luego con la edad. En efecto, la senescencia reduce la capacidad fotosintética de la hoja, proceso que va acompañado de una aceleración en la degradación de las clorofilas. Tal vez, uno de los factores que más contribuye para el envejecimiento de las hojas es que el contenido de nutrientes se torna limitante y las hojas jóvenes se convierten en depósito preferencial, para donde serán exportados estos nutrientes (Cayón, 1992).

Rendimiento

El rendimiento total por planta alcanzó un valor máximo para el tratamiento de 50.000 plantas·ha⁻¹, de 1.869,21 g·planta⁻¹. Los tratamientos de 33.333 plantas·ha⁻¹, 25.000 plantas·ha⁻¹ y 20.000 plantas·ha⁻¹ alcanzaron rendimientos totales de 1.699,27 g·planta⁻¹, 1.546,89 g·planta⁻¹ y 1.456,60 g·planta⁻¹, respectivamente (Figura 9).

El rendimiento total, expresado en ton·ha⁻¹, de acuerdo con las poblaciones de plantas, se muestra en la Tabla 5. Nótese que el tratamiento de 50.000 plantas·ha⁻¹ presenta una mayor población de plantas por unidad de superficie frente a los demás tratamientos. Esta alta población, según Holle y Montes (1982) se traduce en un efecto competitivo entre las plantas sembradas por luz, agua, nutrientes y espacio físico, tanto sobre la superficie como debajo.

De acuerdo con Holle y Montes (1982), también es importante observar que a mayor densidad de pobla-

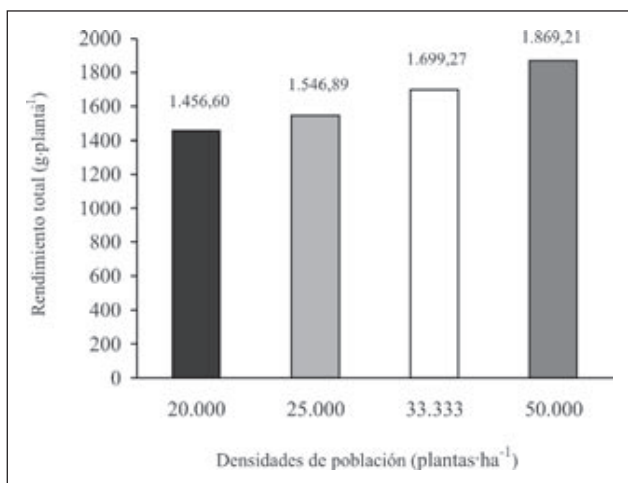


Figura 9. Rendimiento total por planta para el cultivo de tomate, sometido a cuatro densidades de población en el Valle del Sinú medio, 2002.

Tabla 5. Rendimiento total (t·ha⁻¹) para el cultivo de tomate, sembrado bajo cuatro densidades de población, Valle del Sinú medio, 2002.

Densidad de población	Población (plantas·ha ⁻¹)	Rendimiento (t·ha ⁻¹)
20.000 plantas·ha ⁻¹	20.000	29,13 a ²
25.000 plantas·ha ⁻¹	25.000	38,67 b
33.333 plantas·ha ⁻¹	33.333	56,64 c
50.000 plantas·ha ⁻¹	50.000	93,46 d

² Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey P < 0,01).

ción en el cultivo del tomate, se producirá un mayor número de frutos por unidad de superficie sembrada, y por lo tanto, un mayor rendimiento total en peso.

Según lo anterior, comentan Holle y Montes (1982), que para una planta hortícola con frutos como el tomate, una alta densidad de población en el cultivo provocará un menor número de frutos por planta, así como el tamaño del fruto será menor. No obstante, en la presente investigación, no hubo concordancia con estas afirmaciones, ya que tanto el tamaño como el número de frutos por planta no presentaron diferencias entre las densidades de población.

Bibliografía

Barraza, F.V. 2000a. Apuntes sobre hortalizas. Impreso universitario. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba, Montería. 30 p.

Barraza, F.V. 2000b. Crecimiento del Chile Manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) en cuatro soluciones nutritivas bajo invernadero. Tesis de Maestro en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 142 p.

Cayón, G. 1992. Fotosíntesis y productividad de cultivos. Revista COMALFI 19(2), 23-31.

Consejo de Bienestar Rural (CBR). 1962. Manual práctico del campesino. Cultivo del tomate. Caracas. 17 p.

Chamorro, J. 1995. Anatomía y fisiología de la planta de tomate. En: Nuez, F. (ed.). El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. pp. 43-91.

Charles-Edwards, D.A.; D. Doley y G. Rimmington. 1986. Modelling plant growth and development. Academic Press, Australia. 235 p.

Favaro, J.C. y R. A. Pilati. 1997. Cultivo de tomate. En: Cultivos bajo invernaderos. Centro de Publicaciones Universidad Nacional del Litoral y Editorial Hemisferio Sur. Segunda Edición. Buenos Aires. pp. 7-33.

Fogg, G.E. 1967. El crecimiento de las plantas. Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA). 327 p.

Gardner, F.P., R.B. Pearce y R.L. Mitchell. 1990. Physiology of crop plants. Second edition. Iowa State Press, Ames. 327 p.

Gómez, C., C. Buitrago, M. Cante y B. Huertas. 1999. Ecofisiología de papa (*Solanum tuberosum*) utilizada para consumo fresco y para la industria. Revista COMALFI 26(1-3), 42-55.

Guzmán, J. 1991. El cultivo del tomate. Cuarta edición. Espasande, S.R.L. Chacaito, Caracas. 61 p.

Holle, M. y A. Montes. 1982. Manual enseñanza práctica de producción de hortalizas. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Serie Libros y Materiales Educativos No.52. San José. 224 p.

Hunt, R. 1982. Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold Publishers Ltd., Londres. 67 p.

Hunt, R. 1990. Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners. Unwin Hyman Ltd., Londres. 112 p.

Jarma, A.; C. Buitrago y S. Gutiérrez. 1999. Respuesta del crecimiento de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var. Blue Lake) a tres niveles de radiación incidente. Revista COMALFI 26(1-3), 62-73.

Lobo, M. y Jaramillo, J. s.f. Tomate. En: Hortalizas, manual de asistencia técnica. Instituto Colombiano Agropecuario. Programa de divulgación tecnológica, Convenio ICA-SENA. Bogotá. pp. 41-67.

Petoseed Co. Inc. s.f. Siembre los híbridos Petoseed. La compañía de las semillas híbridas. Luis Alberto Arroyave H. y Cía Ltda., Bogotá. 20 p.

Rodríguez, L. 2000. Densidad de población vegetal y producción de materia seca. Revista COMALFI 27(1-2), 31-38.

Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica S.A., México. 759 p.