

**Respuesta cronológica de variables físicas
indicadoras de madurez del fruto de pimentón
(*Capsicum annuum* L.) en relación
con distancia de siembra**

Cronological response of physical variables for
bell pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit maturity
determination in relation to planting distance

L. Arteaga de R.¹, A. Vilorio de Z.¹, H. A. Rodríguez²

Resumen

Se condujo una investigación para evaluar en tres distancias de siembra, la respuesta cronológica de variables físicas de madurez del fruto de pimentón (*Capsicum annuum* L.). El cultivo se desarrolló en camas (18 m × 1,20 m × 0,40 m), construidas sobre suelo natural, preparadas con mezcla de tierra, estiércol, arena y fibra de coco. Se utilizó un diseño en bloques al azar con seis repeticiones para 10, 15 y 20 cm de distancias entre plantas, en hileras dobles separadas a 60 cm. Cada unidad de muestreo, conformada por una hilera de veinte plantas, se evaluó subsecuentemente entre 54 y 100 días postrasplante. Peso fresco, perímetros meridional y ecuatorial se midieron en cada uno de los 630 frutos obtenidos durante el ciclo productivo, mientras que materia seca y humedad del fruto se determinaron en muestras aleatorias de cinco frutos por unidad experimental. El peso fresco del fruto se explicó en función de distancia, edad y perímetros mediante ecuaciones exponenciales múltiples, significando que el peso fresco disminuyó a una tasa exponencial hacia mayor edad del cultivo y aumentó exponencialmente con el incremento de la distancia y los perímetros. La materia seca no fue afectada significativamente por la distancia de siembra ($P > 0,05$) e incrementó a una tasa exponencial positiva en relación con la edad. Los coeficientes alométricos de perímetros, en cada distancia, con valores de $0 < b_i < 1$, indicaron que el fruto mantuvo durante el ciclo productivo una forma rectangular corta. Estos resultados demuestran que es posible establecer relaciones funcionales eficientes para estimar variables físicas indicadoras de madurez del fruto de pimentón en diferentes etapas de su crecimiento. **Palabras clave:** *Capsicum annuum* L., presión poblacional, madurez, análisis de crecimiento, relaciones alométricas, regresión no lineal.

Recibido el 14-10-1997 ● Aceptado el 23-11-1998

1. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado", Apartado 400, Cabudare. Lara. Venezuela.

2. FONAIAP-Portuguesa. Apartado 102. Acarigua. Portuguesa. Venezuela

Abstract

A field study was conducted to evaluate in three planting distances, the chronological response of physical variables for bell pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit maturity determination. Crop was developed on raised beds (18 m × 1,20 m × 0,40 m), constructed above ground and filled with a mixture of soil, horse manure, sand and cocoa fibre. A randomized complete-block design with six replications was used for 10, 15 and 20 cm in-row plant spacings in double rows (60 cm apart). Sampling unit conformed by a twenty plants row was subsequently measured in harvests between 54 and 100 days after transplanting. Fruit fresh weight, meridional and equatorial perimeters were measured in each one of the 630 fruits collected during the crop season, and dry mass and humidity values were obtained in five fruits at random selected from each sampling unit. Fruit fresh weight was explained by multiple exponentials equations as functions of distance, age and perimeters which indicate that fresh weight descended to an exponential rate with crop age and exponentially raised as distances and perimeters increased. Dry mass did not result significantly affected by planting distance ($P>0.05$) and increased to a positive exponential rate as time elapses. Allometric coefficients for perimeters, in each distance, varied between zero and one values ($0 < b_1 < 1$) which means that bell pepper fruit maintained a rectangular short form during the productive period. These results show that it is possible to fit functional relationships to predict response of physical variables for bell pepper fruit maturity during its growth phases.

Key words: *Capsicum annuum* L., population density, growth analysis of fruit, allometric relationship, nonlinear regression.

Introducción

El pimentón (*Capsicum annuum* L.) se cosecha en forma manual y en estado "verde-hecho", pintón o maduro. El productor venezolano en algunas ocasiones, determina de manera visual, si el producto ha llegado al estado de madurez aceptado en el mercado o el sector intermediario con frecuencia, decide el momento de la recolección, en función de los precios del producto en el mercado.

El pimentón para ser considerado de buena calidad visual debe poseer bien desarrollada la cutícula, ser firme y presentar coloración uniforme (8).

Para lograr estas características, es importante conocer el estado de la madurez del fruto al momento de la cosecha y establecer las mediciones adecuadas para su evaluación.

La madurez hortícola se define como la fase en la cual el producto ha alcanzado un estado de desarrollo suficiente que le permite, después de la cosecha y del manejo poscosecha, llegar al consumidor con un mínimo de calidad aceptable (5). Esta definición implica la necesidad de establecer técnicas para la medición de variables físicas del fruto en las diferentes etapas

cronológicas de crecimiento del fruto.

La predicción de la madurez es más compleja que la simple determinación de las variables en el momento de la cosecha, y ha sido intentada en algunos frutos, como manzana, aguacate, melón, etc., sin lograr mayores aciertos (5). Para la predicción, se requieren modelos matemáticos, que estimen la

respuesta de las variables de la madurez alcanzada por el fruto en un periodo de tiempo determinado.

Esta investigación se realizó con la finalidad de evaluar la respuesta cronológica en tres distancias de siembra de las variables físicas indicadoras de la madurez del fruto de pimentón.

Materiales y métodos

El experimento se condujo durante el año 1996 en la Estación Experimental «Miguel Luna Lugo» del Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental «Lisandro Alvarado», en camas (18 m x 1,20 m x 0,40 m) construidas sobre suelo natural y preparadas con una mezcla compuesta por tierra, estiércol de caballo, arena y fibra de coco en proporción volumétrica 2:1:1:1. Se utilizó un diseño de experimentos en bloques al azar con seis repeticiones para evaluar la distancia de siembra a tres niveles: 10, 15 y 20 cm, en hileras dobles separadas a 60 cm, generándose densidades de 16,7; 11,1 y 8,3 plantas/m², respectivamente. La unidad de muestreo estuvo constituida por una hilera de veinte plantas.

Las variables de madurez del fruto: 1. peso fresco (g)/fruto, 2. perímetro meridional (cm)/fruto, 3. perímetro ecuatorial (cm)/fruto se evaluaron en 630 frutos,

correspondientes a la producción total obtenida en las veinte plantas de cada parcela, durante cuatro cosechas efectuadas a los 64, 76, 88 y 100 días postrasplante; 4. materia seca del fruto (%) = [(peso seco/peso fresco)*100] y 5. humedad del fruto (%) = [(peso fresco - peso seco)/peso fresco*100], se determinaron en muestras aleatorias de cinco frutos seleccionados al azar del total de frutos cosechados en cada unidad experimental a los 54, 64, 76 y 88 días postrasplante.

Los datos experimentales fueron procesados mediante los programas Microsoft Excel 5.0 y SYSTAT (The System for Statistics, SYSTAT Inc.), utilizando transformación logarítmica, análisis de varianza con submuestreos en arreglo factorial (3x4) para distancia de siembra y edad postrasplante, además de técnicas de regresión para la estimación de la respuesta de las variables de madurez del fruto.

Resultados y discusión

La respuesta cronológica de las características de madurez del fruto se

evaluó mediante relaciones funcionales que involucran distancia de siembra y

perímetros del fruto en edades del cultivo entre 64 y 100 días postrasplante.

Peso fresco del fruto. Las ecuaciones de regresión exponencial múltiple establecidas (cuadro 1) asumen una adecuada relación geométrica entre el peso del fruto y distancia de siembra, edad y perímetro meridional ó ecuatorial ($P < 0,01$). La inclusión del perímetro como variable contribuyente a la variación del peso del fruto aumentó considerablemente la bondad de ajuste de las funciones de estimación exponenciales que incluían distancia de siembra y edad. Cuando el perímetro ecuatorial fue usado en lugar del perímetro meridional resultados similares fueron obtenidos, indicando que ambos perímetros aportan por igual a la expresión del comportamiento del peso fresco del fruto.

Tasas exponenciales positivas para peso fresco ($c = \log_b \ln 10$), se cuantificaron en 0,004 g/fruto/cm (distancia de siembra), 0,112 g/fruto/cm (perímetro meridional) y en 0,114 g/fruto/cm (perímetro ecuatorial), mientras que la disminución exponencial promedio del peso para edades entre 64 y 100 días postrasplante se estimó en 0,002 g/fruto/día.

La variación en peso, tamaño y forma de un fruto ha sido difícil de

predecir mediante funciones matemáticas, dado que ella es la expresión de diferentes procesos biológicos que van desde la división hasta el alargamiento celular o desde la diferenciación de los tejidos hasta el crecimiento preferencial de las partes morfológicas (6). El peso del fruto de pimentón ha sido explicado adecuadamente ($r^2 = 0,75$) en función de la edad mediante una función potencial que asume una relación cuadrática entre $\log \text{ peso(g)}/\log \text{ días}$, en densidades entre 6 y 30 pt/m² (1), aún cuando algunas ecuaciones establecidas en función de la edad del cultivo, no han proporcionado estimaciones precisas de las variables del fruto (5), Marcelis y Baan (7) generaron ecuaciones de regresión lineal, con ajustes del 99%, entre peso fresco y volumen del pimentón, Grange y Andrews (4), también con frutos de pimentón, fijaron una ecuación exponencial entre peso y diámetro, la cual explicó el 65% de la variación total y Viloria y Arteaga (11) señalaron a peso de frutos como una variable adecuada para expresar el crecimiento reproductivo del pimentón en función de la densidad poblacional. Estos resultados confirman que para peso fresco del pimentón es posible establecer relaciones funcionales eficientes con otras variables experimentales o medidas en el fruto

Cuadro 1. Ecuaciones de estimación del peso fresco del fruto de pimentón (y) en función de distancia de siembra (x₁), edad (x₂) y perímetro (x₃).

Variable(y)	Ecuación de estimación	R ² _{y-12}
Peso fresco(g)/fruto	$\hat{y} = 6,3168(1,0044)^{x_1} (0,9979)^{x_2} (1,1181)^{x_3}$	0,726
Peso fresco(g)/fruto	$\hat{y} = 9,0199(1,0016)^{x_1} (0,9968)^{x_2} (1,1212)^{x_3}$	0,769

como distancia de siembra, edad del cultivo, perímetros del fruto, entre otras.

En el cuadro 2, promedios convertidos de peso fresco del fruto, se observa que a menor competencia entre plantas se lograron frutos más pesados y que independientemente de la distancia de siembra ($D \times E$, $P > 0,05$), el peso del fruto decreció en forma no proporcional hacia los 100 días postrasplante, con reducciones de 23 a 29% entre inicio y final de cosecha, reducciones mayores (50,4%) reportaron Arteaga *et al.* (1), explicables porque las plantas de pimentón desarrolladas en espacios adecuados, son capaces de producir frutos de mayor peso en los nudos más bajos de las ramas primarias, que alcanzan la madurez fisiológica más temprano en comparación, con los obtenidos en plantas expuestas a una fuerte competencia (3).

Materia seca del fruto. La distancia de siembra no afectó el porcentaje de materia seca del fruto ($P > 0,05$) obteniéndose promedios entre

5,46 y 7,16% de materia seca (cuadro 3); rango mayor que el presentado (5,59 y 5,74%) por Cebula (2) quien tampoco encontró efecto de la densidad de plantación sobre la materia seca del fruto de pimentón cv. Bendigo F_1 .

Las variaciones de materia seca en función de la edad (54 a 88 días postrasplante) se explicaron ($r^2 = 0,32$; $P < 0,01$) por la ecuación [$\hat{Y} = 3,7670(1,0069)^X$], indicando que el porcentaje de materia seca aumentó a una tasa exponencial (0,007 %/fruto/día) a medida que se incrementó la edad del cultivo, concordando con Marcelis y Baan (7) quienes demostraron cambios significativos de materia seca a través del desarrollo del fruto.

El porcentaje de humedad del fruto se relacionó inversamente con la edad (54 a 88 días postrasplante), [$\hat{Y} = 97,005 - 0,047 X$]; $r^2 = 0,31$; $P < 0,01$], indicando que durante la madurez del fruto, la humedad disminuyó linealmente, a diferencia de la materia seca que aumentó exponencialmente tal como lo señalan

Cuadro 2. Peso fresco del fruto de pimentón entre 64 y 100 días postrasplante en tres distancias de siembra.

Distancia de siembra (D) (cm)	Peso fresco/fruto ⁽¹⁾ (g)			
	Edad (E), (días postrasplante)			
	64	76	88	100
10 x 60	66,99	57,02	63,53	51,64
15 x 60	70,63	65,01	69,02	50,23
20 x 60	76,38	73,62	72,11	56,36

F Anavar⁽²⁾: D **, E **, DxE ^{ns(1)} Promedios convertidos de log₁₀ g
 F Reg⁽²⁾: b₁ (D): **, b₂ (E): ** (2). ns.: (P > 0,05), ** (P < 0,01)

Cuadro 3. Porcentaje de materia seca del fruto de pimentón entre 54 y 88 días postrasplante en tres distancias de siembra.

Distancia de siembra (D)	Materia seca/fruto ⁽¹⁾ (%)			
	Edad (E), (días)			
(cm)	54	64	76	88
10 x 60	5,77	6,11	7,00	6,64
15 x 60	5,46	5,81	6,58	7,01
20 x 60	5,57	5,38	6,70	7,16

F Anavar⁽²⁾: D ns, E **, Dx E ns ⁽¹⁾; Promedios convertidos de log₁₀ g

F Reg⁽²⁾: b₁ (D): ns; b₂ (E): ** ⁽²⁾. ns: (P>0,05), ** (P<0,01)

Leopold y Kriedemann (6), al conseguir un mayor aumento en el peso seco durante los períodos finales del crecimiento del fruto atribuyéndolo a depósitos de sólidos sin la correspondiente apertura de los espacios aéreos.

Crecimiento del fruto. La coordinación del crecimiento del fruto se determinó mediante ecuaciones potenciales que establecen relaciones alométricas entre los perímetros meridional y ecuatorial (cuadro 4).

En estudios sobre la dinámica del crecimiento entre dos partes de un órgano vegetal, la potencia significativa de la variable independiente en una ecuación potencial, se designa como coeficiente de alometría (6).

Los coeficientes alométricos (b₁, P<0,01) positivos en todas las ecuaciones, establecen una relación lineal directa entre los logaritmos de los perímetros (9) e indican el crecimiento alométrico de los mismos.

Las pruebas no significativas para la homogeneidad de los

coeficientes alométricos determinaron curvas paralelas con iguales tasas de cambio para las respuestas en cada distancia de siembra (10). Este paralelismo de las relaciones alométricas confirma que las tasas del crecimiento relativo entre perímetros se mantuvieron iguales para distancias de siembra entre 10 x 60 y 20 x 60 cm, a través del ciclo productivo (64 a 100 días postrasplante).

El valor de los coeficientes ($0 < b_1 < 1$) evidencia que el fruto de pimentón obtenido en esta investigación mantuvo una forma rectangular corta en las cosechas efectuadas, en concordancia con los resultados de Leopold y Kriedemann (6), quienes al estudiar la relación del crecimiento entre el largo y el ancho de frutos de *C. annuum*, señalaron que el valor de k en la ecuación $y = bx^k$ determina las formas del fruto: rectangular larga ($k > 1$), rectangular corta ($k < 1$) ó cuadrada ($k = 1$).

Cuadro 4. Relaciones alométricas entre los perímetros meridional (y) y ecuatorial (x) del fruto de pimentón.

Distancia de siembra, D (cm)	Edad, E (días postrasplante)	Ecuación	r ² (1)
10 x 60	64	$\hat{y} = 3,9157 X^{0,593}$	0,428
	76	$\hat{y} = 5,3763 X^{0,461}$	0,328
	88	$\hat{y} = 6,8005 X^{0,385}$	0,356
	100	$\hat{y} = 4,1413 X^{0,551}$	0,415
15 x 60	64	$\hat{y} = 4,5087 X^{0,536}$	0,264
	76	$\hat{y} = 4,1124 X^{0,556}$	0,351
	88	$\hat{y} = 3,9511 X^{0,476}$	0,564
	100	$\hat{y} = 3,1456 X^{0,646}$	0,522
20 x 60	64	$\hat{y} = 2,4943 X^{0,747}$	0,448
	76	$\hat{y} = 3,1899 X^{0,641}$	0,585
	88	$\hat{y} = 4,3623 X^{0,530}$	0,449
	100	$\hat{y} = 2,5625 X^{0,720}$	0,607

(1) r²: Coeficiente de determinación

Conclusiones

Se estableció una relación geométrica entre el peso fresco del fruto, distancia de siembra, edad y perímetros meridional o ecuatorial del fruto ($P < 0,01$), que indica que el mayor peso fresco del fruto correspondió a la distancia de siembra 20 x 60 cm (8,3 plantas/m²), aumentó con los perímetros y decreció entre 64 y 100 días postrasplante.

La materia seca incrementó a una tasa exponencial con la edad, a diferencia de la humedad del fruto, la cual disminuyó a una tasa lineal en el intervalo entre 54 y 88 días. Con esto se evidencia que con la reducción de la humedad se eleva porcentualmente el contenido de materia seca, y se hace menor el peso fresco del fruto como consecuencia de la disminución de la

turgencia de las células del fruto.

Un crecimiento alométrico positivo ($b_1 > 0$; $P < 0,01$) entre los perímetros meridional y ecuatorial del fruto se determinó a través de ecuaciones exponenciales generadas en distancias de siembra entre 10 x 60 y 20 x 60 cm y edades entre 64 y 100 días postrasplante. La homogeneidad de los coeficientes alométricos ($P > 0,05$), indicadora del paralelismo de las relaciones alométricas, establece que las tasas del crecimiento relativo entre perímetros permanecieron iguales en las distancias de siembra y edades evaluadas y del valor de los coeficientes ($0 < b_1 < 1$) se infiere que el fruto de pimentón mantuvo una forma rectangular corta durante el período productivo.

Literatura citada

1. Arteaga de R., L., A. Viloría de Z. y H. A. Rodríguez. 1995. Interpretación cuantitativa del efecto de la densidad en la dinámica de producción del pimentón (*Capsicum annuum* L.). En: Resúmenes VIII Jornadas de Investigación. Bioagro: (6). Edición Especial.
2. Cebula, S. 1995. Optimization of plant and shoot spacing in greenhouse production of sweet pepper. *Acta Hort.* 412: 321-329.
3. Gaye, M. M., G. W. Eaton and P. A. Joliffe. 1992. Rowcovers and plant architecture influence development and spatial distribution of bell pepper fruit. *Hort Sci.* 27(5): 397-399.
4. Grange, R. I. and J. Andrews. 1993. Growth rates of glasshouse tomato fruit in relation to final size. *J. HortSci.* 68(5): 747-754.
5. Kader, A. A. 1992. Postharvest technology of horticultural crops. University of California. California.
6. Leopold, A. C. and P. E. Kriedemann. 1975. Plant growth and development. McGraw Hill, Inc. New York.
7. Marcelis L. F. M. and L. R. Baan Hc fmar. Eijer. 1995. Growth analysis of sweet pepper fruits (*Capsicum annuum* L.). *Acta Hort.* 412: 470-478.
8. Mercado, J. A., M. A. Quesada, V. Valpuesta, M. Reid y M. Cantwell. 1995. Storage of bell peppers in controlled atmospheres at chilling and nonchilling temperatures. *Acta Hort.* 412: 134-139.
9. Richards F. J. 1969. The quantitative analysis of growth, p 3-36. En: F. Steward (ed.). Plant physiology, analysis of growth: Behaviour of plants and their organs. Academic, New York.
10. Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. 2a ed. McGraw-Hill Book Company. New York.
11. Viloría de Z., A. and L. Arteaga de R. 1992. Respuesta de las variables de crecimiento vegetativo y reproductivo del pimentón (*Capsicum annuum* L.) a la presión poblacional. En: Resúmenes. VII Jornadas de Investigación. Decanato de Agronomía. UCLA. Bioagro. Edición Especial. Barquisimeto. Lara. Venezuela.