



Dinámica de crecimiento de plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) sometidas a la aplicación de *Trichoderma harzianum* Rifai en ambientes controlados

Pepper plants (*Capsicum annuum* L.) growth dynamics under application of *Trichoderma harzianum* Rifai in controlled environments

Danny A. Villegas R.^{1*}, César O. Acosta L.¹ y Manuel E. Milla P.¹

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el crecimiento de plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en condiciones controladas bajo el efecto de *Trichoderma harzianum* Rifai. Para lo cual se consideraron modelos no lineales, entre ellos: logístico y gompertz. El ensayo se realizó en Casas de Cultivos bajo condiciones controladas aplicando un diseño de tratamiento (dos tratamientos y tres (3) repeticiones). Tratamiento T1: Aplicación de una dosis del hongo *Trichoderma* de 100 gr. antes de la siembra. Tratamiento T2: Aplicación de una dosis del hongo *Trichoderma* de 100 gr. después de la siembra. Se midieron las siguientes variables: longitud de la planta (cm), diámetro del tallo (cm) y área foliar (cm²) cada 15 días a partir del momento del trasplante. Los resultados arrojaron que el modelo logístico debe ser considerado únicamente para ajustar datos de altura de plantas de pimentón a las que se les aplicó una dosis del hongo *Trichoderma* antes de la siembra, mientras que para el resto de las variables y demás condiciones experimentales se aconseja utilizar el modelo gompertz. Así mismo, cuando se aplicó una dosis del hongo *Trichoderma* a las plantas de pimentón antes de la siembra se evidenció una mayor tasa intrínseca de crecimiento, un menor crecimiento máximo y las plantas tardaron más tiempo en desacelerar el crecimiento en altura pero menos tiempo en desacelerar el desarrollo del área foliar. Mientras que cuando se aplicó una dosis del hongo *Trichoderma* después de la siembra las plantas reportaron una mayor tasa intrínseca de crecimiento, un menor crecimiento máximo tardaron menos tiempo en desacelerar el crecimiento en diámetro.

Palabras claves: Desarrollo, pimentón, hongo, modelos no lineales.

ABSTRACT

In this paper the pepper plants (*Capsicum annuum* L.) growth under controlled conditions exposed to the *Trichoderma harzianum* Rifai effect was evaluated. For which, non-linear models, including logistic and gompertz were considered. The trial was conducted in houses cultivation under controlled conditions applying a treatment design (two treatments and three (3) replications). Treatment T1: Application of a *Trichoderma* fungus dose of 100 gr. before planting. Treatment T2: Application of a *Trichoderma* fungus dose of 100 gr. after sowing. The following variables were measured: plant length (cm), stem diameter (cm) and leaf area (cm²) every 15 days from the transplant moment. The results showed that the logistic model had to be included to adjust the levels of growth plants for which a *Trichoderma* fungus dose was applied before sowing, while for the rest of the variables and other experimental conditions it is advisable to use the gompertz model. Likewise, when a *Trichoderma* fungus dose was applied to the pepper plants before planting, a higher growth intrinsic rate was observed, a lower maximum growth and the plants took longer to slow down height growth but less time to decelerate the foliar area development. While a *Trichoderma* fungus dose was applied after planting, the plants reported a higher growth intrinsic rate, a lower slower growth, less time in a slower growth in diameter.

Keywords: Development, pepper, fungus, non-linear models.

¹Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales "Ezequiel Zamora", Carrera 3, Calle 17, Guanare, Portuguesa, Venezuela.

*Autor de correspondencia. E-mail: danny_villegas1@yahoo.com

I. INTRODUCCIÓN

En Venezuela, el pimentón ocupa el cuarto lugar en relación a otras hortalizas. La producción y la superficie sembrada ha disminuido en los últimos años; no obstante, el rendimiento se ha incrementado principalmente por la utilización de materiales híbridos y por mejoras en el riego y fertilización (FAO, 2006). Uno de los problemas fitosanitarios más frecuentes en las regiones productoras es la marchitez, que puede presentarse en cualquier edad del cultivo y causar pérdidas en la cosecha de hasta un 100% (Pérez *et al.*, 2002). Los hongos *Fusarium* sp., *Rhizoctonia* sp. y *Phytophthora capsici* han sido asociados a la enfermedad en pimentón en otros países (Johnston, 1999; Pérez *et al.*, 2002; Muiño *et al.*, 2006). Las plantaciones de pimentón en las Casas de Cultivos bajo condiciones controladas ubicadas en el municipio Guanare (Estado Portuguesa), actualmente presentan problemas de marchitez con normal suministro de humedad a través del sistema de riego por goteo. Adicionalmente, se observa un lento desarrollo vegetativo o enanismo en algunas plantas, pero no se dispone de documentación detallada sobre agentes causales ni las superficies afectadas. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es evaluar el crecimiento de plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en condiciones controladas bajo el efecto de *Trichoderma harzianum* Rifai.

II. METODOLOGÍA

El ensayo se realizó en Casas de Cultivos en el municipio Guanare (Estado Portuguesa-Venezuela), aplicando un diseño de tratamiento (dos tratamientos y tres repeticiones). La unidad experimental estuvo conformada por seis parcelas de dos hileras de 2 m de largo y 1,2 m de ancho, con 20 plantas en cada una de ellas. Los tratamientos se caracterizaron de la siguiente manera: Tratamiento T1 - Dosis del hongo *Trichoderma* de 100 gr. antes de la siembra; Tratamiento T2 - Dosis del hongo *Trichoderma* de 100 gr. después de la siembra. Se midió la longitud de la planta (cm), diámetro del tallo (cm) y área foliar (cm²) cada 15 días a partir del trasplante. Para describir la dinámica de

crecimiento de las plantas se consideraron dos modelos no lineales (Gompertz y Logístico). Se realizó una descripción teórica de los modelos como se presenta a continuación.

Modelo Logístico

$$N(t) = \frac{A}{1 + B e^{-Kt}}$$

B es cualquier número real positivo que depende de la condición inicial $N(0)$.

A es el valor del crecimiento máximo de la población.

K es la tasa intrínseca de crecimiento.

A es una constante positiva que se refiere al crecimiento máximo de la población. En ella aparecen resumidas un buen número de circunstancias que influyen de manera decisiva en el desarrollo de la población, a saber: factores climatológicos, disponibilidad de nutrientes, recursos del medio, etc. La tasa de crecimiento K deja de ser constante para pasar a autorregularse según el tamaño de la población en cada instante.

Puntos de equilibrio

$$N'(t) = KN(t) \left[1 - \frac{N(t)}{A} \right] = 0$$

Los dos únicos puntos de equilibrio de la ecuación logística son $N(t) = 0$ y $N(t) = A$.

Estudio del crecimiento de las soluciones:

Los dos puntos de equilibrio dividen el plano en tres regiones:

R1 (valores de $N(t)$ por encima de A , en cuyo caso se dice que la situación es de sobrepoblación).

R2 (para tamaños poblacionales $N(t)$ entre 0 y A , que es el caso biológico estándar).

R3 (para tamaños poblacionales $N(t) < 0$, donde la ecuación carece de sentido biológico. En el interior de R2 la derivada no puede cambiar de signo, dado que $0 < N(t) < A$ entonces se tiene que:

$$\left[1 - \frac{N(t)}{A} \right] > 0 \text{ y } KN(t) \left[1 - \frac{N(t)}{A} \right] > 0$$

De ahí que $N(t)$ ha de ser creciente en R2.

Estudio de la concavidad de las soluciones

$$\begin{aligned} N''(t) &= \left[KN(t) \left(1 - \frac{N(t)}{A} \right) \right]' \\ &= KN'(t) \left(1 - \frac{N(t)}{A} \right) + KN(t) \left(-\frac{N'(t)}{A} \right) \\ &= KN'(t) \left(1 - \frac{2N(t)}{A} \right) \\ &= K^2 N(t) \left(1 - \frac{N(t)}{A} \right) \left(1 - \frac{2N(t)}{A} \right) = 0 \end{aligned}$$

El cual se anula cuando $N(t) = 0$, $N(t) = A$, o bien $N(t) = A/2$. Las dos primeras opciones no conducen a candidatos a puntos de inflexión. Por tanto, de existir algún punto de inflexión, este habría de ser $N(t) = A/2$. Por otra parte, para estudiar el signo de $N''(t)$ en R_2 y poder concluir de ese modo si $N(t) = A/2$ es o no un punto de inflexión, basta con elegir un punto cualquiera entre 0 y $A/2$ (por ejemplo, $N(t) = A/4$), otro entre $A/2$ y A (por ejemplo, $N(t) = 3A/4$), evaluar $N''(t)$ en ambos puntos y verificar si se produce o no un cambio de signo. En caso de producirse, podríamos ya asegurar que en $A/2$ hay en efecto un punto de inflexión y se tiene que:

$$\begin{aligned} N''(t) &= K^2 \frac{A}{4} \left(1 - \frac{1}{4} \right) \left(1 - \frac{2}{4} \right) = \frac{3K^2}{32} > 0 \text{ si } N(t) = \frac{A}{4} \\ N''(t) &= K^2 \frac{3A}{4} \left(1 - \frac{3}{4} \right) \left(1 - \frac{6}{4} \right) = -\frac{3K^2 A}{32} < 0 \text{ si } N(t) = \frac{3A}{4} \end{aligned}$$

Luego en el nivel $N(t) = A/2$ la solución pasa de ser convexa ($N''(t) > 0$) a ser cóncava ($N''(t) < 0$), por lo que $A/2$ es un punto de inflexión. Finalmente la imagen de $N(t) = A/2$ es $t = (-\ln(1/B))/K$, lo que permitiría determinar la edad del cultivo al punto de inflexión.

Modelo Gompertz

$$N(t) = Ae^{-Be^{-Kt}}$$

B es cualquier número real positivo que desplaza el modelo a la izquierda o a la derecha.

A es el valor del crecimiento máximo de la población.

K es la tasa intrínseca de crecimiento.

Puntos de equilibrio

$$\begin{aligned} N'(t) &= KN(t) \ln \left(\frac{A}{N(t)} \right) = 0 \\ N(t) &= 0 \text{ y } N(t) = A \\ N'(t) &= KN(t) \left[1 - \frac{N(t)}{A} \right] = 0 \end{aligned}$$

$f(N(t)) = N(t) \ln(A/N(t))$ no está bien definida en $N(t) = 0$, pues genera una indeterminación del tipo $0 \times \infty$. Para deshacer dicha indeterminación disponemos de la llamada regla de L'Hopital, según la cual $f(N(t))$ que también puede escribirse como un cociente de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} f(N(t)) &= N(t) \ln \left(\frac{A}{N(t)} \right) = \frac{\ln \left(\frac{A}{N(t)} \right)}{\frac{1}{N(t)}} = \frac{\ln(A) - \ln(N(t))}{\frac{1}{N(t)}} \\ \lim_{N(t) \rightarrow 0} f(N(t)) &= \lim_{N(t) \rightarrow 0} \frac{[\ln(A) - \ln(N(t))]' }{\left(\frac{1}{N(t)} \right)'} = \lim_{N(t) \rightarrow 0} \frac{-\frac{1}{N(t)}}{-\frac{1}{N(t)^2}} = 0 \end{aligned}$$

La cantidad $f(0)$ que a priori parecía una indeterminación resulta no ser más que un objeto matemático ya que en cero se comporta igual que lo hace $N(t)$, es decir, $f(0) = 0$.

Estudio del crecimiento de las soluciones

Como en el caso de la ecuación logística, los dos puntos de equilibrio $N(t) = 0$ y $N(t) = A$ dividen el plano en tres regiones:

R1 (valores de $N(t)$ por encima de A).

R2 (valores de $0 < N(t) < A$).

R3 (para valores negativos de $N(t)$ que carecen de significado biológico).

Estudio de la concavidad de las soluciones

La segunda derivada de $N(t)$

$$\begin{aligned} N''(t) &= \left[KN(t) \ln \left(\frac{A}{N(t)} \right) \right]' = \\ &= KN'(t) \ln \left(\frac{A}{N(t)} \right) + KN(t) \left(\left(\ln(A) \right)' - \left(\ln(N(t)) \right)' \right) \\ &= KN'(t) \ln \left(\frac{A}{N(t)} \right) - KN(t) \left(\frac{N'(t)}{N(t)} \right) = KN'(t) \left(\ln \left(\frac{A}{N(t)} \right) - 1 \right) \\ &= K^2 N(t) \ln \left(\frac{A}{N(t)} \right) \left(\ln \left(\frac{A}{N(t)} \right) - 1 \right) \end{aligned}$$

Que únicamente se anula cuando $N(t) = 0$, $N(t) = A$ o bien $N(t) = A/e$. Las dos primeras opciones no conducen a candidatos a nivel de inflexión. Por tanto, de

existir algún nivel de inflexión este habría de ser $N(t) = A/e$. Para estudiar el signo de $N'(t)$ en R2 y poder concluir de ese modo si $N(t) = A/e$ es o no un nivel de inflexión, basta con elegir un punto cualquiera entre 0 y A/e (por ejemplo, $N(t) = A/(2e)$), otro entre A/e y A , (por ejemplo, $N(t) = A/2$), evaluar $N'(t)$ en ambos puntos y verificar si se produce o no un cambio de signo. En caso de producirse, podría asegurarse que en A/e hay en efecto un nivel de inflexión.

Se tiene que:

$$N''(t) = K^2 \frac{A}{2e} \ln(2e) (\ln(2e) - 1) > 0 \text{ si } N(t) = \frac{A}{2e}$$

$$N''(t) = K^2 \frac{A}{2} \ln(2) (\ln(2) - 1) < 0 \text{ si } N(t) = \frac{A}{2}$$

Luego en el nivel $N(t) = A/e$ la solución pasa de ser cóncava $N''(t) > 0$ a ser convexa hacia abajo $N''(t) < 0$, por lo que A/e es un auténtico nivel de inflexión. Así mismo, $N(t) = 0$ es claramente inestable, mientras que $N(t) = A$ es asintóticamente estable.

Finalmente la imagen de $N(t) = A/e$ es $t = (-\ln(1/B))/K$, lo que permitiría determinar la edad del cultivo al punto de inflexión.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los resultados de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas a datos de altura, diámetro y área foliar de plantas de pimentón (*Capsicum annun*) sometidas a la aplicación del hongo *Trichoderma* antes y después de la siembra.

Tabla 1. Evaluación de supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas a datos de altura, diámetro y área foliar de plantas de pimentón (*Capsicum annun* L) sometidas a la aplicación del hongo *Trichoderma* antes y después de la siembra

Variable	Normalidad		Homogeneidad de varianzas	
	Wilk-Shapiro	P valor	F de Fisher	P valor
Altura	0,9368	0,2088	0,4031	0,1921
Diámetro	0,9546	0,4436	1,0332	0,9620
Área foliar	0,9592	0,5283	0,8015	0,7471

Allí se observa que para las tres variables de crecimiento consideradas se verifica el cumplimiento de ambos supuestos, lo que permite realizar un análisis

estadístico paramétrico de t de Student como el mostrado en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación de altura, diámetro y área foliar de plantas de pimentón (*Capsicum annun*) sometidas a la aplicación del hongo *Trichoderma* antes y después de la siembra

Variable	Tratamiento		Estadístico de prueba t de Student	P valor
	T1	T2		
Altura	20,330 a	31,200 a	-1,5559	0,1371
Diámetro	0,697 a	0,792 a	-0,69046	0,4987
Área foliar	62,620 a	71,763 a	-0,49195	0,6287

Esto se realizó con el fin de comparar los promedios de las tres variables de crecimiento (altura, diámetro y área foliar) de plantas de pimentón en ambas condiciones experimentales, es decir, aplicación del hongo *Trichoderma* antes y después de la siembra. Los resultados evidencian que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$) en cuanto al crecimiento de las plantas de pimentón en cada una de las variables medidas antes y después de la aplicación del hongo *Trichoderma*. No obstante, se consideró ajustar modelos no lineales con el propósito de describir la dinámica de crecimiento de las plantas de pimentón con base en lo señalado por Hernández *et al.* (2004), quien sugiere que, en general, el crecimiento de las plantas y animales es explicado por modelos como el logístico, Brody, Gompertz, Richards, entre otros. De allí que, en las Tablas 3 y 4 se muestran los resultados del ajuste de dos modelos no lineales; logístico y gompertz a datos de altura (cm), diámetro (cm) y área foliar (cm²) de plantas de pimentón (*Capsicum annun*) sometidas a la aplicación del hongo *Trichoderma* antes y después de la siembra. Allí se observa en primera instancia que, el modelo logístico permitió ajustar los datos de altura de la planta en el caso del tratamiento 1 y diámetro de la planta correspondiente al tratamiento 2, ya que los resultados sugieren como el modelo gompertz muestra menor entropía (AIC=34,9 para la variable altura del tratamiento 1 y AIC=26,57 para el diámetro de la planta en el tratamiento 2), así como un menor error residual (1,11 y 0,051), respectivamente, (ver Tabla 3) en comparación con el modelo gompertz.

Tabla 3. Ajuste de un modelo logístico a datos de altura (cm), diámetro (cm) y área foliar (cm²) de plantas de pimentón (*Capsicum annun L*) sometidas a la aplicación del hongo *Trichoderma* antes y después de la siembra

Tratamiento	Variable	Semana punto inflexión (t)	Autocorrelación		Ajuste del modelo		Parámetros estimados del modelo y su significancia					Error estándar residual	
			dw	Pvalor	R ²	AIC	A-K2	Pvalor	B-C2	Pvalor	K-MU2		Pvalor
1	Altura	7,85	0,63692	0,00037	0,9931	34,90	58,91	0,000228	13,29	0,000097	0,3295	0,000042	1,11
2		5,58	1,5683	0,1204	0,9927	44,52	63,41	0,000000	14,603	0,000414	0,4803	0,000015	1,796
1	Diámetro	5,73	1,9948	0,3339	0,9812	27,84	1,43	0,000187	6,042	0,000110	0,3136	0,000734	0,048
2		3,94	1,2115	0,0316	0,9779	26,57	1,29	0,000000	4,259	0,000219	0,3677	0,000585	0,051
1	Área foliar	5,77	1,5812	0,1252	0,9938	57,71	131,85	0,000000	16,411	0,000344	0,4849	0,000010	3,473
2		6,57	1,178	0,0270	0,9945	58,73	172,21	0,000000	14,117	0,000003	0,4023	0,000001	3,655

Mientras que en el caso de los datos de altura de la planta en relación al tratamiento 2, diámetro de la planta respecto al tratamiento 1 y área foliar en ambos tratamientos el modelo gompertz fue de gran utilidad, ya que los resultados presentados sugieren que este modelo muestra menor entropía y error estándar residual (AIC=40,78 y un error estándar residual de 1,49

para la variable altura del tratamiento 2, AIC=27,98 y un error estándar residual 0,047 para la variable diámetro del tratamiento 1 y AIC=47,43 y AIC= 52,19, además de un error estándar residual de 2,077 y 2,636 para el área foliar en ambos tratamientos, respectivamente, ver Tabla 4).

Tabla 4. Ajuste de un modelo Gompertz a datos de altura (cm) de plantas de pimentón (*Capsicum annun L*) sometidas a la aplicación del hongo *Trichoderma* antes y después de la siembra

Tratamiento	Variable	Semana punto inflexión (t)	Autocorrelación		Ajuste del modelo		Parámetros estimados del modelo y su significancia					Error estándar residual	
			dw	Pvalor	R ²	AIC	A-K2	Pvalor	B-C2	Pvalor	K-MU2		Pvalor
1	Altura	11,03	0,63692	0,00037	0,9913	37,23	122,56	0,0800	3,513	0,000001	0,1138	0,0113	1,247
2		5,07	1,5683	0,1204	0,9950	40,78	77,28	0,000000	3,519	0,000000	0,2478	0,000006	1,490
1	Diámetro	5,39	1,9948	0,3339	0,9814	27,98	1,86	0,00759	2,3295	0,000000	0,1567	0,01230	0,047
2		2,77	1,2115	0,0316	0,9838	29,69	1,41	0,000001	1,9317	0,000000	0,2373	0,00126	0,043
1	Área foliar	5,26	1,5812	0,1252	0,9978	47,43	160,92	0,000000	3,7176	0,000000	0,2493	0,000000	2,077
2		6,72	1,178	0,0270	0,9971	52,19	240,46	0,000006	3,4265	0,000000	0,1830	0,000004	2,636

Es de resaltar que ambos modelos reportaron coeficientes de ajustes bastante altos para las tres variables que describen el crecimiento de las plantas de pimentón en ambas condiciones experimentales con coeficientes que van desde 0,9812 hasta 0,9979 (ver Tablas 3 y 4). Sin embargo, la prueba de Durbin-Watson para evaluar el supuesto de autocorrelación serial de los errores ($p < 0,05$) se verifica en el caso de los datos correspondientes a la altura de la planta en el tratamiento 1, diámetro y área foliar en el tratamiento 2 (ver Tablas 3 y 4). Esto sugiere una sistematización de los errores a lo largo del tiempo que se evidencia en elevados errores estándar residuales, lo que puede afectar la estabilidad del modelo, por lo que se recomienda considerar el modelo con menor error estándar residual en esos casos de autocorrelación serial de los errores, lo que conduce a seleccionar el modelo logístico en el

caso de la variable altura de la planta para el tratamiento 1, ya que muestra un menor error estándar residual (1,11) en comparación al modelo Gompertz. Mientras que para las variables diámetro de la planta y área foliar en el tratamiento 2 se recomienda considerar el modelo Gompertz en lugar del logístico, ya que en ambos casos se evidencia un menor error estándar residual (0,043 y 2,636), respectivamente. De todo lo antes señalado, se puede decir que el modelo logístico debe ser considerado únicamente para ajustar datos de altura de la planta de pimentón sometidas al tratamiento 1, mientras que para el resto de las variables y demás condiciones experimentales se aconseja utilizar el modelo Gompertz. Estos resultados coinciden con lo señalado por Rodríguez *et al.* (2011), quienes reportan que los modelos clásicos de crecimiento, Gompertz y logístico son los de mejor ajuste para las variables que

miden el crecimiento de las plantas. Por otro lado, aun cuando los resultados de la comparación de medias de las variables que describen el crecimiento de las plantas de pimentón evidencian que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$) en cada una de las variables medidas antes y después de la aplicación del hongo *Trichoderma* (ver Tabla 2), al considerar el uso de modelos no lineales para comparar el crecimiento de las plantas en ambas condiciones experimentales, los resultados muestran lo siguiente: con relación a la altura de la planta el tratamiento 1 fue el que reportó una mayor tasa intrínseca de crecimiento ($K=0,3295$, un menor crecimiento máximo $A=58,91$ y fue el que tardó más tiempo en desacelerar el crecimiento en altura, es decir, 7,85 semanas para alcanzar el punto de inflexión) en comparación con la obtenida con el tratamiento 2, en donde la tasa intrínseca de crecimiento fue $K=0,2478$, un mayor crecimiento máximo $A=77,28$ y fue el que tardó menos tiempo en desacelerar el crecimiento en altura, es decir, 5,07 semanas para alcanzar el punto de inflexión, ver Tablas 3 y 4). Así mismo, para la variable diámetro de la planta el tratamiento 2 fue el que reportó una mayor tasa intrínseca de crecimiento ($K=0,2373$, un menor crecimiento máximo $A=1,41$ y fue el que tardó menos tiempo en desacelerar el crecimiento en diámetro, es decir, 2,77 semanas para alcanzar el punto de inflexión) en comparación con la obtenida con el tratamiento 1, en donde la tasa intrínseca de crecimiento fue $K=0,1567$, un mayor crecimiento máximo $A=1,86$ y fue el que tardó más tiempo en desacelerar el crecimiento en altura, es decir, 5,39 semanas para alcanzar el punto de inflexión, ver Tabla 4). De igual manera, en relación al área foliar el tratamiento 1 fue el que reportó una mayor tasa intrínseca de crecimiento ($K=0,2493$, un menor crecimiento máximo $A=160,92$ y fue el que tardó menos tiempo en desacelerar el crecimiento en área foliar, es decir, 5,26 semanas para alcanzar el punto de inflexión) en comparación con la obtenida con el tratamiento 2, en donde la tasa intrínseca de crecimiento fue $K=0,1830$, un mayor crecimiento máximo $A=240,46$ y fue el que tardó más tiempo en desacelerar

el crecimiento en área foliar, es decir, 6,72 semanas para alcanzar el punto de inflexión, ver Tabla 4). Por otro lado, en las Tablas 3 y 4 se observa que para las variables altura y diámetro de la planta los mayores valores de la ordenada t del punto de inflexión (7,85 y 5,39 semanas) se obtiene para el tratamiento 1, esto sugiere que bajo esta condición experimental el crecimiento de este cultivo se mantiene de manera sostenida por un período de tiempo mayor que la otra condición experimental en este ensayo, mientras que para el tratamiento 2 el desarrollo del follaje se mantiene de manera sostenida por un período de tiempo mayor. En tal sentido, estos resultados sugieren que la altura, diámetro y área foliar de plantas de pimentón (*Capsicum annuum*) sometidas a la aplicación del hongo *Trichoderma* antes y después de la siembra, la tasa intrínseca de crecimiento, así como los demás factores que afectan el desarrollo de este cultivo determinan la sustentabilidad en la producción del mismo, lo que coincide con lo señalado por Del Pozo (1998), quien afirma que el crecimiento y calidad de la mayoría de los cultivos, puede variar considerablemente de acuerdo con el manejo al que se someten, con efectos favorables o no según la especie de planta y las condiciones edafoclimáticas.

IV. CONCLUSIONES

Los puntos de equilibrio de los dos modelos no lineales considerados en esta investigación están relacionados directamente con el crecimiento máximo del cultivo de pimentón, reflejado en la constante A , que en el caso que nos ocupa, se refiere al crecimiento máximo reflejado en longitud de la planta (cm), diámetro del tallo (cm) y área foliar (cm^2), y a su vez estos puntos de equilibrio se ven afectados por factores vinculados con el desarrollo del cultivo, a saber: factores climatológicos, disponibilidad de nutrientes, recursos del medio y en general las condiciones de manejo del cultivo en ambientes controlados. Así mismo, el punto de inflexión en el modelo logístico y el Gompertz está condicionado por la tasa intrínseca de crecimiento, por el estado inicial de desarrollo de las plantas de pimen-

tón y por los factores que afectan el crecimiento de este cultivo, que en las condiciones del manejo bajo condiciones controladas al cual fue sometido está relacionado directamente con la aplicación del hongo *Trichoderma* antes y después de la siembra. El modelo logístico debe ser considerado únicamente para ajustar datos de altura de plantas de pimentón a las que se les aplicó una dosis del hongo *Trichoderma* antes de la siembra, mientras que para el resto de las variables y demás condiciones experimentales se aconseja utilizar el modelo Gompertz. Finalmente, cuando se aplicó una dosis del hongo *Trichoderma* a las plantas de pimentón antes de la siembra se evidenció una mayor tasa intrínseca de crecimiento, un menor crecimiento máximo y las plantas tardaron más tiempo en desacelerar el crecimiento en altura pero menos tiempo en desacelerar el desarrollo del área foliar. Mientras que cuando se aplicó una dosis del hongo *Trichoderma* después de la siembra las plantas reportaron una mayor tasa intrínseca de crecimiento, un menor crecimiento máximo y tardaron menos tiempo en desacelerar el crecimiento en diámetro.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Del Pozo, P. 1998. *Análisis del crecimiento del pasto estrella (C. nlemfuensis) bajo condiciones de corte y pastoreo*. Tesis Doctoral. Instituto de Ciencia Animal. La Habana (Cuba).
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2006. *Datos agrícolas de FAOSTAT. Índices de producción*. Nueva York (EEUU): FAO. 2006.
- Hernández, P., S. Aliaga, M. Pla y A. Blasco. 2004. "The effect of selection for growth rate and slaughter age on carcass composition and meat quality traits in rabbits". *J. Anim. Sci.* 82 (11): 3138-3143.
- Johnston, S. 1999. "Ecologically based approaches to management of *Phytophthora* blight on bell pepper". *Plant Disease* 83: 1080-1089.
- Muiño, B., E. Botta, E. Pérez, D. Moreno y E. Fernández. 2006. "Uso de *Trichoderma* como alternativa al bromuro de metilo en los cultivos protegidos". *Fitosanidad* 10 (2): 179-180.
- Pérez, L., L. Duran y J. Sánchez. 2002. "Identification of fungi that cause "pepper wilt", in The Bajío Region." En 16th International Pepper Conference. Tampico (México).
- Rodríguez, L., V. Torres, R. Martínez, O. Jay, A. Noda y M. Herrera. 2011. "Modelos para estimar la dinámica de crecimiento de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-169". *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 45 (4): 349-354.