

# *Tithonia diversifolia* material vegetal O-23 analizado mediante modelación de sus componentes morfológicos de crecimiento

## *Tithonia diversifolia* Plant Material O-23 Analyzed by Modeling its Morphological Components of Growth

Tomás Elías Ruiz,\* Verena Torres, Nurys Valenciaga, Juana Galindo, Gustavo Febles, Yolaine Medina, Humberto Díaz y Ciro Mora

Instituto de Ciencia Animal  
Apartado Postal 24, San José de las Lajas. La Habana, Cuba.  
\*Correo de correspondencia: teruizv@ica.co.cu

### Resumen

Se describe el comportamiento del crecimiento de componentes morfológicos de *Tithonia diversifolia* material O-23 colectado en el oriente de Cuba, se utilizaron diferentes criterios estadísticos para determinar los modelos de crecimiento de mejor bondad de ajuste en cada periodo estacional (seca y lluvia). Las variables se midieron cada 14 días durante 16 o 18 semanas en la seca y la lluvia. El modelo lineal en la estación lluviosa se ajustó a la altura de la planta ( $R^2$ : 0.95 y  $p$ : 0.0001), peso de la planta íntegra ( $R^2$ : 0.89 y  $p$ : 0.0004), peso de tallo/planta ( $R^2$ : 0.89 y  $p$ : 0.0005) y % de materia seca de la planta íntegra ( $R^2$ : 0.95 y  $p$ : 0.0001). En la estación seca lo hizo para el peso de la planta íntegra ( $R^2$ : 0.70 y  $p$ : 0.0487) y rendimiento ( $R^2$ : 0.71 y  $p$ : 0.0507). El modelo cuadrático en la estación lluviosa se ajustó a número ( $R^2$ : 0.70 y  $p$ : 0.050) y grosor del tallo ( $R^2$ : 0.95 y  $p$ : 0.001), número de hojas secas/planta ( $R^2$ : 0.84 y  $p$ : 0.010), peso seco de hojas/planta ( $R^2$ : 0.93 y  $p$ : 0.004), % de hojas/planta ( $R^2$ : 0.94 y  $p$ : 0.008) y peso fresco de 10 hojas ( $R^2$ : 0.89 y  $p$ : 0.006). En la estación seca lo hizo para peso de hojas/planta ( $R^2$ : 0.84 y  $p$ :

### Abstract

The growth behavior of morphological components of *Tithonia diversifolia* material O-23 collected in eastern Cuba is described, different statistical criteria were used to determine the growth models with the best goodness of fit in each seasonal period (dry and rainy). The variables were measured every fourteen days for 16 or 18 weeks in the dry and rainy. The linear model in the rainy season was adjusted to the height of the plant ( $R^2$ : 0.95 and  $p$ : 0.0001), weight of the integral plant ( $R^2$ : 0.89 and  $p$ : 0.0004), weight of stem / plant ( $R^2$ : 0.89 and  $p$ : 0.0005), and % of dry matter of the integral plant ( $R^2$ : 0.95 and  $p$ : 0.0001). In the dry season it did so for the weight of the integrated plant ( $R^2$ : 0.70 and  $p$ : 0.0487) and yield ( $R^2$ : 0.71 and  $p$ : 0.0507). The quadratic model in the rainy season was adjusted to number ( $R^2$ : 0.70 and  $p$ : 0.050) and stem thickness ( $R^2$ : 0.95 and  $p$ : 0.001), number of dry leaves / plant ( $R^2$ : 0.84 and  $p$ : 0.010), dry weight of leaves / plant ( $R^2$ : 0.93 and  $p$ : 0.004), % of leaves / plant ( $R^2$ : 0.94 and  $p$ : 0.008) and fresh weight of 10 leaves ( $R^2$ : 0.89 and  $p$ : 0.006). In the dry season it was done for weight of lea-

0.050) y % de materia seca de tallo ( $R^2$ : 0.78 y  $p$ : 0.049). El modelo cúbico sólo se ajustó para el peso de hojas/planta MF ( $R^2$ : 0.93 y  $p$ : 0.050) en la estación seca. Se concluye que *Tithonia diversifolia* material vegetal O-23 en sentido general expresó sus mejores valores para influir en la producción de biomasa entre las semanas 8 y 11 en ambas estaciones climáticas. Los modelos lineal y cuadrático son adecuados para describir el comportamiento de las variables en el tiempo.

### Palabras clave

Estudio, Botón de oro, arbustiva, plantas proteicas, crecimiento.

ves/plant ( $R^2$ : 0.84 and  $p$ : 0.050) and % of stem dry matter ( $R^2$ : 0.78 and  $p$ : 0.049). The cubic model was only adjusted for the weight of leaves / plant MF ( $R^2$ : 0.93 and  $p$ : 0.050) in the dry season. It is concluded that *Tithonia diversifolia* plant material O-23 in a general sense expressed its best values to influence biomass production between weeks eighth and 11 in both climatic seasons. The linear and quadratic models are adequate to describe the behavior of the variables over time.

### Keywords

Study, buttercup, shrubby, protein plants, growth.

## Introducción

Calsavara *et al.* (2016) indicaron que se deben realizar evaluaciones para contribuir al mejoramiento de la producción animal basado en la investigación de plantas forrajeras en el trópico, para la identificación y desarrollo de germoplasma de estas especies.

Trabajos desarrollados por Ruiz (2010) y Rivera (2020) señalan que es posible seleccionar materiales destacados de *T. diversifolia* con mayor rendimiento, calidad nutricional para la alimentación animal y con gran adaptabilidad edafoclimática, lo que posibilitará mejor aprovechamiento de esta especie. Mientras que Ruiz *et al.* (2012) muestran la utilidad de las herramientas de modelación matemática para estudiar el crecimiento en la producción de biomasa de *Tithonia diversifolia*.

En trabajos desarrollados por Ruiz *et al.* (2018; 2021) se discriminaron 24 materiales vegetales de *Tithonia diversifolia* y emplearon el Modelo Estadístico de Medición de Impactos (MEMI), descrito por Torres *et al.* (2008; 2013) y Torres (2015), con esta herramienta se encontró que durante la estación lluviosa el material O-23 formó parte sólo del grupo que tiene características de crecimiento adecuado para las variables en estudio, y presentó igual comportamiento del crecimiento a las edades de 30, 60 y 90 días, y hojas verdes en cualquier etapa de desarrollo con buena respuesta al corte. En la estación seca también formó parte del mismo grupo de crecimiento adecuado, pero a las edades de 60 y 90 días.

Por todo lo anterior, esta investigación tuvo como objetivo describir en condiciones de secano el comportamiento del crecimiento de algunas componentes morfológicas de *Tithonia diversifolia* material vegetal O-23 colectado en las zonas de Las Tunas y Granma, con el uso de diferentes modelos y criterios estadísticos en cada periodo estacional (seca y lluvia).

## Materiales y métodos

En este trabajo se analizó el material vegetal O-23 de *Tithonia diversifolia*, integrante del grupo que mostró indicadores de crecimiento adecuados de las diferentes variables estudiadas (Ruiz *et al.*, 2018; 2021).

### *Procedimiento experimental*

El trabajo se realizó en un suelo ferralítico rojo, de rápida desecación, arcilloso y profundo sobre calizas (Hernández *et al.*, 2015), con preparación de aradura y dos pases de grada. Se plantó en la estación lluviosa en surcos de 13 m de largo, separados a 3.0 m y estacas depositadas a todo lo largo del surco, en el área experimental Zaldívar, perteneciente al Departamento de Pastos y Forrajes del Instituto de Ciencia Animal de Cuba, ubicado en el occidente del país. Para la plantación se utilizaron estacas, tomadas de la parte media del tallo, con edad de 80 días, diámetro de 2 cm y 50 cm de largo, en surcos de 15 cm de profundidad. El área se mantuvo limpia de malezas mediante azadón en condiciones de secano y sin fertilización.

El corte de la plantación para iniciar el experimento se efectuó a 15 cm de altura, transcurridos 120 días de la siembra.

Las medidas tomadas en la planta para ser utilizadas en el estudio de la modelación se realizaron cada 14 días, durante 16 y 18 semanas en la estación seca y lluviosa, respectivamente. Se cortó cuatro veces un metro lineal en cada uno de los intervalos para cada estación climática a una altura de 15 cm y se monitoreo la incidencia de plagas y enfermedades.

Con relación a la precipitación, correspondiente a la estación lluviosa (mayo-octubre), fue menor a la media histórica tanto en volumen como en días con lluvia, caída de 663.9 mm y 48 días respectivamente, sólo el mes de julio superó la media histórica en volumen pero no en días. Los meses de mayo, septiembre y octubre la diferencia fue inferior a la media histórica y la temperatura media anual de la región fue de 24.86 °C; mientras que en la estación seca (noviembre-abril) se produjeron en la etapa experimental 170 mm menos con relación a la media histórica, al igual que los días que dejaron de llover (fueron 19 días). En el mes de diciembre no hubo precipitación. En los meses de noviembre, febrero, marzo y abril sólo hubo un día con lluvia.

### *Metodología estadística*

Para el material vegetal seleccionado se ajustaron diferentes modelos lineales y no lineales para conocer el comportamiento de las variables: número de tallos/m, altura de la planta (cm), grosor del tallo (mm), número de hojas verdes/tallo, número de hojas amarillas/tallo, número de hojas secas/tallo, peso fresco/planta, peso seco/planta (hojas, tallos y planta íntegra, g); % MS de las hojas, % MS de tallos y % MS de planta íntegra; peso fresco de 10 hojas desarrolladas (g), % de hojas por planta MS, rendimiento de la planta en MF (kg/m) y rendimiento de la planta en MS (kg/m) en los dos períodos estacionales de los años 2017-2018.

Los modelos ajustados fueron:

$$\text{Modelo lineal } V(t) = A + Bt + \varepsilon$$

$$\text{Modelo cuadrático } V(t) = A + Bt + Ct^2 + \varepsilon$$

$$\text{Modelo cúbico } V(t) = A + Bt + Ct^2 + Dt^3 + \varepsilon$$

$$\text{Modelo logístico } V(t) = A / (1 + B \exp^{-Ct}) + \varepsilon$$

$$\text{Modelo de Gompertz } V(t) = A \exp B \frac{(1 - \exp(-Ct))}{C} + \varepsilon$$

$$\text{Modelo de exponencial } V(t) = (A \exp(Bt)) + \varepsilon$$

$$\text{Modelo de Richards } V(t) = A(1 + B \exp^{-Ct})^D + \varepsilon$$

donde:

V (t): Variables dependientes en función de t

A, B, C y D parámetros de los modelos

t: variable medida en el tiempo (de dos a 18 semanas)

$\varepsilon$  : error aleatorio, normalmente distribuido con media cero y varianza constante.

Para realizar el ajuste de los modelos lineales (lineal y cuadrático) se usó el método de los mínimos cuadrados, y para el caso de los modelos no lineales (cúbico, logístico, Gompertz, exponencial y Richards) se utilizó el procedimiento iterativo de estimación de los parámetros de Levenberg-Marquardt, partiendo de una solución inicial de los parámetros, prefijando la convergencia de la suma de cuadrados del error y de los parámetros como  $1e^{-8}$ .

Para analizar la bondad de ajuste y seleccionar los mejores modelos se utilizaron los criterios estadísticos publicados por Guerra *et al.* (2003) y Torres (2015) a saber:

1. Error estándar de los estimadores de los parámetros
2. Cuadrado medio del error
3. Coeficiente de determinación  $R^2$
4. Nivel de significación de ajuste del modelo
5. Análisis de los residuos
  - Error estándar de residuos (DE Res)
  - Error absoluto medio (EAM)

Con relación a los residuos deben analizarse con cuidado los valores de la desviación estándar, pues las unidades de medida entre las variables cambian y esto influye en el valor.

El procesamiento se realizó en varias etapas, los datos fueron organizados en bases de datos en Excel para la determinación de los estadígrafos y ploteo de los datos, y posteriormente se utilizaron los softwares estadísticos *Infostat* (2001) para el ajuste de los modelos lineales e *IBM-SPSS* (2013) para el ajuste de los modelos no lineales.

## Resultados

A continuación se exponen para las estaciones lluviosa y seca los resultados de los criterios estadísticos del material vegetal O-23. Se presenta en el cuadro 1 el coeficiente de determinación, los cuadrados medios del error del análisis de varianza del modelo y la significación de este bajo el análisis de variables con mejor bondad de ajuste; posteriormente, en el cuadro 2 se completa la información de los modelos seleccionados con los parámetros estimados, sus correspondientes errores estándar y estadígrafos de los residuos.

Las variables expresadas tanto en materia seca o materia verde presentaron bondad de ajuste, adecuado con los modelos utilizados. Por otra parte, los modelos de Richards, Gompertz, logístico y exponencial, no resultaron adecuados para describir el comportamiento de las variables estudiadas al no cumplir con los criterios estadísticos indicados por Guerra *et al.* (2003) y Torres (2015). Asimismo se efectuaron análisis de algunas variables de importancia y se presentan en figuras. Los modelos se representan por cada estación climática.

### Estación lluviosa

En el material vegetal O-23 se aprecia que sólo la variable número de tallos/m (modelo cuadrático) tiene  $R^2$  de 0.70 y su significación de 0.05, aunque adecuada (cuadro 1), el resto de variables tiene una  $R^2$  superior a 0.80 y alta significancia.

Cuadro 1

Criterios  $R^2$ , significación y CME para cada modelo y variables ajustadas para el material vegetal O-23

Lineal	$R^2$	Significación	CME
Altura planta (cm)	0.95	0.0001	417.11
Peso de tallo/planta (g MS)	0.89	0.0005	152.40
Peso de la planta íntegra (g MS)	0.89	0.0004	166.99
Planta íntegra (% MS)	0.83	0.0017	7.57
Cuadrático	$R^2$	Significación	CME
Tallos/m (número)	0.70	0.050	109.23
Grosor tallo (mm)	0.95	0.001	1.20
Hojas secas/tallo (número)	0.84	0.010	0.37
Peso de hojas/planta (g MS)	0.93	0.004	0.41
Peso fresco de 10 hojas (g)	0.89	0.006	19.55
% hojas/planta MS	0.94	0.008	20.20

En el cuadro 2 se puede observar el crecimiento promedio cada semana para las variables que mejor se ajustaron a este modelo, como son altura de la planta (16.01 cm), peso del tallo/planta (6.59 g MS), peso de la planta íntegra (6.95 g MS) y % MS de

la planta íntegra (1.15 %). Los valores alcanzados para EAM son correctos, mientras que para el error estándar de residuos (DERes) son altos para las variables en estudio.

## Cuadro 2

Parámetros de los modelos lineales ajustados para las diferentes variables y sus estadígrafos de los residuos para material vegetal O-23

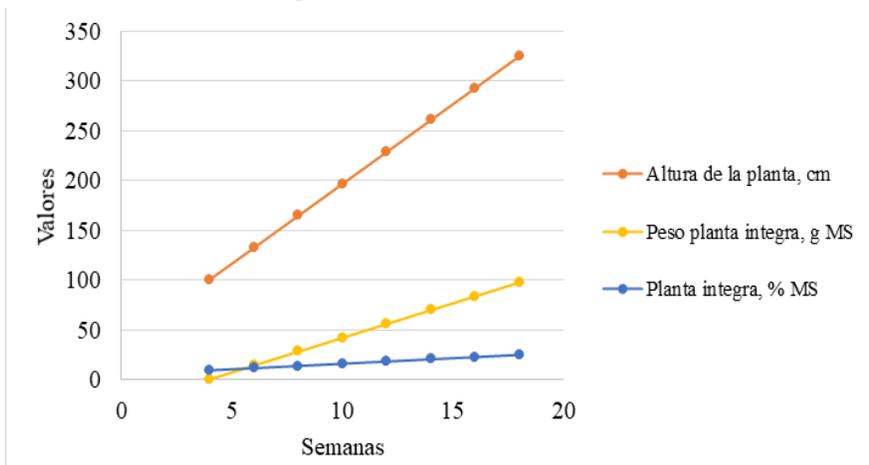
Variables	alfa	EE (a) Sign.	beta	EE (b) Sign.	DERes	EAM
Altura planta (cm)	36.90	±18.78 NS	16.01	±1.58***	18.91	0.00
Peso de tallo/planta (g MS)	-29.28	±11.35*	6.59	±0.95***	11.43	0.00
Peso de la planta íntegra (g MS)	-27.11	±11.88 NS	6.95	±1.00***	11.96	0.00
Planta íntegra (% MS)	4.74	±2.53 NS	1.15	±0.21**	2.55	-0.022

\*P<0.05 \*\*P<0.01 \*\*\*P<0.001.

En la figura 1 se aprecia que las variables altura de la planta, peso de planta íntegra y % de MS de la planta íntegra se ajustaron a un modelo lineal e incrementan sus valores desde el inicio del estudio hasta la semana 18 de crecimiento, pero con valores diferentes. La altura de la planta presentó valores iniciales de 100.9 y alcanzó 325.1 cm a las semanas cuatro y 18, respectivamente. Mientras el peso de la planta íntegra tiene 0.7 g MS a las cuatro semanas y 97.9 g MS en la semana 18. El % de MS de la planta se incrementó desde 9.3 hasta 25.4 % con cuatro y 18 semanas, respectivamente.

Figura 1

Dinámica de las variables altura, peso y % MS de la planta en el tiempo para el material vegetal O-23 durante la estación lluviosa



Los valores del DERes para el grosor del tallo, número de hojas secas y peso seco de las hojas/planta son próximos a la unidad y con valores adecuados, peso fresco de 10 hojas y % hojas/planta MS, y se cumple la premisa para todas las variables para el EAM (cuadro 3).

Cuadro 3

Parámetros del modelo cuadrático ajustado para las diferentes variables y sus estadígrafos de los residuos para material vegetal O-23

Variables	Alfa	EE (a) Sign.	Beta	EE (b) Sign.	Gamma	EE (c) Sign.	DE Res	EAM
Tallos/m (número)	100.00	±22.33**	-10.15	±4.51 NS	0.35	±0.2 NS	9.29	0.28
Grosor tallo (mm)	2.78	±2.34NS	1.85	±0.47*	-0.06	±0.02*	1.48	0,00
Hojas secas/tallo (número)	-4.13	±1.21*	1.11	±0.26**	-0.04	±0.01**	0.61	0,00
Peso hojas/planta (g MS)	-3.72	±1.38*	2.03	±0.28***	-0.08	±0.01**	0.54	0,00
Peso fresco de 10 hojas (g)	-10.22	±9.45NS	8.67	±1.91**	-0.31	±0.08*	3.74	0,00
Hojas/planta (% MS)	78.20	±9.60***	-7.60	±1.94*	0.21	±0.087 NS	3.80	0,00

\* $P < 0.05$  \*\* $P < 0.01$  \*\*\* $P < 0.001$ .

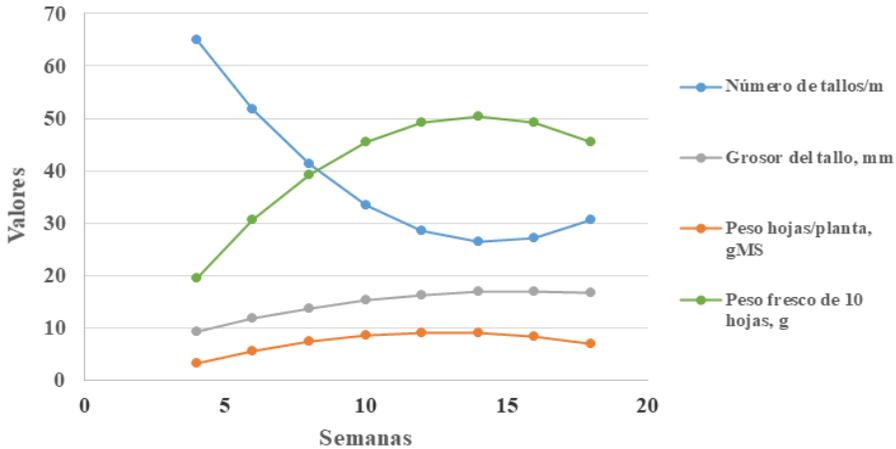
Se aprecia en la figura 2 que las variables número, grosor del tallo, peso fresco de hoja y hojas/planta se ajustaron a un modelo cuadrático. El número de tallos/m inicia con 65 a las cuatro semanas y disminuye bruscamente hasta la semana 10 con sólo 33, a partir de este momento se estabiliza con una media de 27 hasta llegar a la semana 18 con 30 tallos. Con relación al grosor del tallo (mm), inicia con 9.2 y llega a 16.3 a la semana 12, valor que se mantiene hasta la semana 18 (16.6). Mientras el peso de hojas/planta tiene 3.1 en la semana cuatro, el valor se incrementó hasta la semana 12 (9.1) y comienza una disminución hasta la semana 18 (6.9). El peso fresco de 10 hojas tiene en la cuarta semana 19.5 y aumento hasta 49.1 en la semana 12, a partir de este momento se estabilizan sus valores hasta la semana 16, ya en la semana 18 disminuyó hasta 45.4.

### Estación seca

En el material O-23 (cuadro 4) las variables que resultaron destacadas se ajustaron a diferentes modelos. Se debe señalar que las variables rendimiento y peso de la planta íntegra (modelo lineal) alcanzan valores menores con  $R^2$  de 0.71 y 0.70, respectivamente. Los valores de los criterios estadísticos evaluados fueron adecuados.

Figura 2

Dinámica de las variables número y grosor del tallo, peso fresco de hoja y hojas/planta en el tiempo para el material vegetal O-23 durante la estación lluviosa



Cuadro 4

Criterios  $R^2$ , significación y CME para cada modelo y variables ajustadas para el material vegetal O-23

Lineal	$R^2$	Significación	CME
Rendimiento kg/m (MS)	0.71	0.0507	0.002
Peso de la planta íntegra (g MS)	0.70	0.0487	82.86
Cuadrático	$R^2$	Significación	CME
Tallo (% MS)	0.78	0.049	5.43
Peso de hojas/planta (g MS)	0.84	0.050	9.46
Cúbico	$R^2$	Significación	CME
Peso hojas/planta (g MF)	0.93	0.050	138.26

\* $P < 0.05$ .

El cuadro 5, con información de los parámetros del modelo lineal, muestra que el crecimiento promedio de cada semana fue de 0.01 kg para rendimiento MS y de 2.92 g en el peso seco de la planta íntegra y en los indicadores de dispersión alcanzó un valor no adecuado para esta última variable. Respecto a la variable peso de la planta íntegra alcanzo valor de 4.08 g en la semana cuatro y se incrementó hasta 39.12 g a las 16 semanas (figura 3). Mientras que en el cuadro 6 se aprecia que los valores de dispersión fueron adecuados.

Cuadro 5

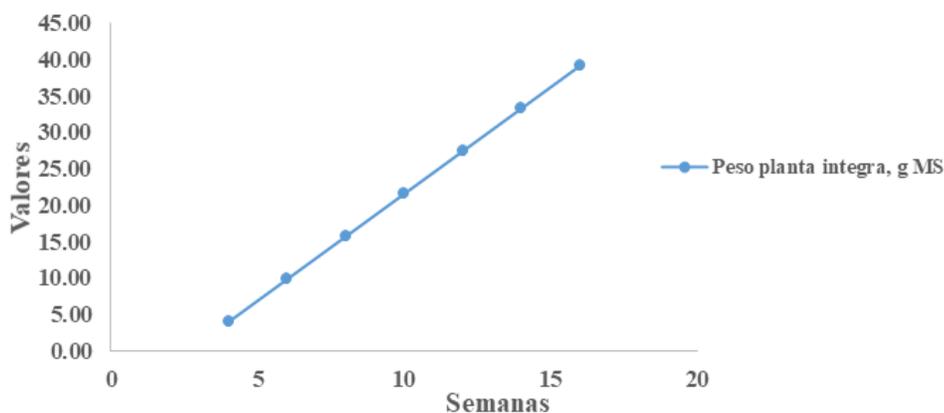
Parámetros de los modelos lineales ajustados para las diferentes variables y sus estadígrafos de los residuos para material vegetal O-23

Variables	Alfa	EE (a) Sign.	Beta	EE (b) Sign.	DE Res	EAM
Rendimiento kg/m, MS	-0.02	±0.04 NS	0.01	±0.004***	0.23	-0.0013
Peso de la planta íntegra, g MS	-7.60	±9.26 NS	2.92	±0.86***	8.31	0.00

\*\*\*P<0.001.

Figura 3

Dinámica de la variable peso de la planta íntegra en el tiempo para el material vegetal O-23 durante la estación seca



Cuadro 6

Parámetros de los modelos cuadráticos ajustados para las diferentes variables y sus estadígrafos de los residuos para material vegetal O-23

Variables	Alfa	EE (a) Sign.	Beta	EE (b) Sign.	Gamma	EE (c) Sign.	DE Res	EAM
Tallos (% MS)	0.06	±5.84 NS	4.77	±1.29***	-0.24	±0.06***	1.90	0.00
Peso de hojas/planta (g MS)	8.58	±7.71 NS	-1.40	±1.70 NS	0.13	±0.08 NS	2.51	0.00

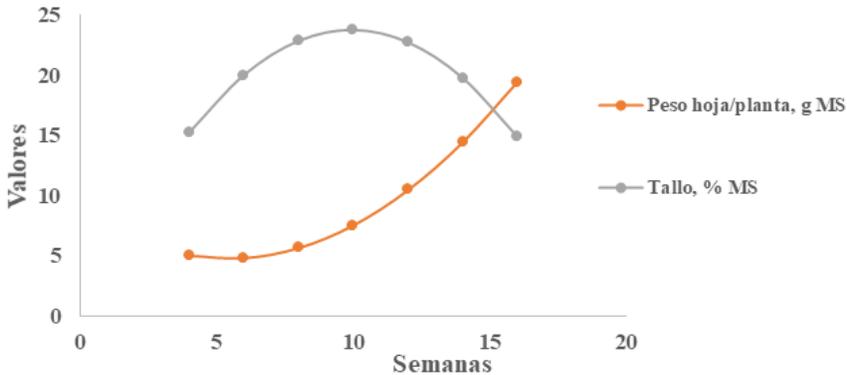
\*\*\*P<0.001.

Para el peso de la hoja los resultados fueron semejantes en las semanas cuatro y seis (5.0 - 4.9 g) y es a partir de este momento que incrementan sus valores hasta llegar a la semana 16 con 19.46 g (figura 4). El contenido de MS del tallo en la semana cuatro es de 15% y fue aumentando de forma progresiva hasta llegar en la semana 10 a 23.7% y

a partir de este momento bajó ligeramente en la semana 12 (22 %) y continuó bajando en el tiempo.

Figura 4

Dinámica de las variables peso de la hoja y % MS del tallo en el tiempo para el material vegetal O-23 durante la estación seca



El valor de dispersión alcanzado sólo fue alto en DERes y es para la variable peso de 10 hojas g (cuadro 7).

Cuadro 7

Parámetros del modelo cúbico ajustado a la variable y sus estadígrafos de los residuos para la colecta O-23

Variable	Alfa	EE (a) Sign.	Beta	EE (b) Sign.	Gamma	EE (c) Sign.	Delta	EE(d) Sign.	DE Res	EAM
Peso de hojas/ planta, g MF	-118.64	±77.80 NS	61.05	±27.97 NS	-7.16	±3.02 NS	0.27	0.10 NS	8.31	0.00

## Discusión

La modelación en este estudio mostró la forma del crecimiento de las diferentes variables estudiadas en el tiempo, según estación climática. En este material vegetal O-23 se encontró que no siempre existió una relación entre la variable, el mejor modelo de ajuste y la estación climática, lo que puede estar influenciado por el comportamiento del material en cada estación climática.

Al tener presente el comportamiento de la lluvia durante el desarrollo de la investigación (épocas seca y lluviosa), se apreció claramente una disminución pluvial marcada que pudo afectar el comportamiento biológico del material bajo estudio y se reflejó en las variables de crecimiento, que fueron menores en la estación seca, aunque que no se produjo mortalidad de las plantas.

Los modelos adecuados para describir el comportamiento de las variables estudiadas en el tiempo cumplen con los criterios estadísticos indicados por Guerra *et al.* (2003) y Torres (2015), que en sentido general estuvieron representados por los modelos lineal y cuadrático, y el modelo cúbico sólo se ajustó para el peso hojas/planta MF. Además, se debe resaltar que los indicadores DERes y EAM para el análisis de los residuos reflejaron valores adecuados para las variables en estudio, que reafirman la poca dispersión de los datos entre el tiempo para cada modelo.

En el presente estudio se ajustaron indistintamente los modelos, tanto para la materia seca como para la materia fresca, lo que puede estar relacionado con las características del material en evaluación que procede del oriente del país, ya que estudios realizados por Ruiz *et al.* (2012; 2013) indicaron que todas las variables expresadas en materia seca con materiales del occidente de Cuba, no presentaron bondad de ajuste adecuado con ninguno de los modelos utilizados.

Al efectuar un análisis del crecimiento promedio cada semana, según estación climática, se tiene que en la lluvia con algunas de las variables en estudio se observó mejores indicadores con relación a la altura de la planta (16.01 cm), peso seco de la planta íntegra (6.95 g), peso seco de tallo (6.59 g) y % MS de la planta íntegra (1.15 %). Mientras que en la estación seca existió menor crecimiento donde el peso de la planta íntegra fue de sólo 2.92 g. Las otras variables que fueron significativas estuvieron relacionadas con el número y peso seco de la hoja, peso fresco de 10 hojas y % MS de tallo y hojas, pero con ajuste a un modelo cuadrático. En este sentido, Ruiz *et al.* (2010) señalaron que las características de estructura como las anteriormente mencionadas deben ser consideradas en la determinación del crecimiento de *T. diversifolia* y, por ende, ser utilizadas para la selección de genotipos con mayor productividad y adaptación.

Cabe resaltar que el número de variables que resultaron significativas en la estación lluviosa (10) fue mayor que en la estación seca (5), como indicativo del comportamiento de este material a las diferencias del clima según época del año; además, sólo coincidieron en ambas estaciones climáticas las variables peso de la planta íntegra y peso de hojas pero con modelo lineal y cuadrático, respectivamente.

Por último, y por la importancia que tiene la evaluación de materiales vegetales, al comparar algunas variables entre la colecta efectuada para el occidente (2006-2010) y el oriente de Cuba (2015-2019), se puede interpretar en sentido general que los materiales de esta última región tienen crecimiento promedio para la altura de la planta mayor que las del occidente (Ruiz *et al.*, 2013) y respecto al peso total fue mejor para los materiales del occidente (Ruiz *et al.*, 2012; 2013). Este comportamiento también fue encontrado para el material O-23 que proviene del oriente de Cuba.

Estos estudios ratifican que la selección de plantas se debe realizar por la integración de las variables en el estudio y no por sus valores absolutos, ya que se necesita que las plantas logren un crecimiento equilibrado de sus componentes. De acuerdo con estos estudios, Rivera *et al.* (2019) ratifican que existen múltiples diferencias entre materiales de *T. diversifolia* que obedecen a diferencias genéticas, razón por la cual es necesario identificar, caracterizar y seleccionar genotipos superiores dentro de esta especie, y llevar

a cabo evaluaciones integrales multicriterio para optimizar su uso. Esto permitirá tener materiales vegetales adaptados a condiciones específicas de producción, con la capacidad de ofrecer mayor biomasa, mayor oferta de nutrientes y mayor persistencia en el tiempo.

Al integrar la información se puede caracterizar este material vegetal de crecimiento adecuado para evaluar en estudios futuros la producción de forraje en sistemas de corte o en pastoreo, al conocerse el comportamiento de diferentes componentes de la planta en el tiempo, y que sea utilizado de forma correcta, según la productividad que se desee.

## Conclusiones

El material vegetal O-23 en sentido general expresó sus mejores valores para influir en la producción de biomasa entre las semanas ocho y 11 en ambas estaciones climáticas. Lo que se debe tener presente en el desarrollo de estudios futuros para la producción de forraje o pastoreo.

Los modelos lineal y cuadrático con seis y ocho variables respectivamente, resultaron más adecuados para describir el comportamiento de las variables en el tiempo.

El modelo lineal en la estación lluviosa se ajustó a la altura de la planta, peso de la planta íntegra y peso del tallo/planta, así como % de materia seca de la planta íntegra. En la estación seca sólo lo hizo para el peso de la planta íntegra y rendimiento.

El modelo cuadrático en la estación lluviosa se ajustó a número y grosor del tallo, número de hojas secas/planta y peso seco de hojas/planta, así como % de hojas/planta y peso fresco de 10 hojas. En la estación seca lo hizo para peso de hojas/planta y % de materia seca de tallo.

Las variables peso de la planta íntegra MS y peso de hojas/planta MS en ambas estaciones climáticas se ajustaron al modelo lineal y cuadrático, respectivamente.

El modelo cúbico se ajustó para el peso de hojas/planta MF en la estación seca.

## Agradecimientos

Se agradece a la especialista Lucía Sarduy García, del Departamento de Biomatemática del Instituto de Ciencia Animal, por el análisis de la información.

## Literatura citada

- Calsavara, L.; Ribeiro, R.S.; Rocha e Silveira, S.; Delarota, G.D.; Freitas, D.S.; Sacramento, J.P.; Paciullo, D.S. y Mauricio, R.M. (2016). Potencial forrajero da *Tithonia diversifolia* para alimentação de ruminantes. *Livestock Research for Rural Development*. 28(2): Article #17. <http://www.lrrd.org/lrrd28/2/ferr28017.html>
- Guerra, W.; Cabrera, A.; y Fernández, L. (2003). Criterios para la selección de modelos estadísticos en la investigación científica. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 37(1): 3-10.
- Hernández, A.; Pérez, J. M.; Bosch, D. y Castro, N. (2015). *Clasificación de los Suelos de Cuba 2015*. Ediciones INCA. Mayabeque, Cuba. 64 p. ISBN: 978-959-7023-77-7.
- IBM-SPSS. (2013). IBM SPSS Statistics 22. Algorithms. Chicago: IBM SPSS Inc.
- INFOSTAT. (2001). *Manual del usuario*. Software estadístico. Versión 1.0 Triunfar S.A. La Rioja. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.

- Rivera, J.E. (2020). Variabilidad fenotípica y genética de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, una planta para la producción animal sostenible en Colombia. Tesis de Doctorado en Ciencias Animales Programa de posgrado Universidad de Antioquia, Colombia
- Rivera, J.; Lopera, J.; Chará, J.; Gómez-Leyva, J.; Barahona, R. y Enrique, E. (2019). *Genetic and morphological diversity of Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray for use in silvopastoral systems of Latin America. Dupraz, C., Gosme, M., Lawson, G. (Editors). Book of Abstract 4th World Congress on Agroforestry. Montpellier: CIRAD, INRA, World Agroforestry. 712 p.
- Ruiz, T.E.; Febles, G.; Torres, V.; González, J.; Achang, G.; Sarduy, L. y Díaz, H. (2010). Assessment of collected materials of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) (Hemsl.) Gray in the center-western region of Cuba. *Cuban J. Agric. Sci.* 44(3): 285-289.
- Ruiz, T. E.; Torres, V.; Febles, G.; Díaz, H.; Sarduy, L. y González, J. (2012). Use of modeling for studying the growth of *Tithonia diversifolia* collection 10. *Cuban J. Agric. Sci.* 46(3): 237-242.
- Ruiz, T.E.; Torres, V.; Febles, G.; Díaz, H. y González, J. (2013). Estudio del comportamiento de ecotipos destacados de *Tithonia diversifolia* en relación con algunos componentes morfológicos. *Livestock Research for Rural Development.* 25(9): #154. <http://www.lrrd.org/lrrd25/9/ruiz25154.html>.
- Ruiz, T.E.; Alonso, J.; Torres, V.; Valenciaga, N.; Galindo, J.; La O, O.; Febles, G.; Díaz, H.; Tuero, R. y Mora, C. (2018). Evaluación de materiales recolectados de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la zona de Las Tunas y Granma en el oriente de Cuba. *Avances en Investigación Agropecuaria.* 22 (1): 19-27.
- Ruiz, T.E.; Alonso, J.; Torres, V.; Valenciaga, N.; Galindo, J.; La O, O.; Febles, G.; Díaz, H.; Tuero, R. y Mora, C. (2021). Evaluación durante la estación lluviosa de materiales recolectados de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la zona de Las Tunas y Granma en el oriente de Cuba. *Avances en Investigación Agropecuaria.* 25(1): 75-85.
- Torres, V.; Ramos, N.; Lizazo, D.; Monteagudo, F. y Noda, A. (2008). Modelo estadístico para la medición del impacto de la innovación o transferencia tecnológica en la rama agropecuaria. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 42(2): 133-139.
- Torres, V. (2015). Aspectos estadísticos a considerar en el diseño, muestreo, procesamiento e interpretación de datos en la investigación de sistemas productivos agropecuarios. En Vargas, J.C. y Torres, A. Retos y posibilidades para una ganadería sostenible en la provincia de Pastaza de la Amazonia ecuatoriana. Puyo, Ecuador. Universidad Estatal Amazónica. 2015. Pp. 83-108.

Recepción: 16 de febrero 2021

Arbitraje: 02 de marzo 2021

Dictamen: 27 de marzo 2021

Aceptado: 26 de abril 2021