

ESTIMACIÓN DE BIOMASA DE ÓRGANOS AÉREOS DE PLANTAS DE MANZANA CV. AGUA NUEVA 2

J. R. Espinoza-Espinoza¹; G. Almaguer-Vargas

Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo.
Chapingo, Estado de México. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco.
C. P. 56230. MÉXICO. Tel. 01 595 95 215 00 ext. 6168.
Correo-e: jrespinoza13@yahoo.com (¹Autor responsable)

RESUMEN

La biomasa de órganos de las plantas es una variable muy útil en estudios de crecimiento, relaciones fuente-demanda y productividad. Dado que su medición involucra el secado en estufa, es destructiva por necesidad, lo cual no representa un inconveniente en plantas anuales y de bajo porte, pero sí lo es en plantas grandes, como los frutales, incluido el manzano. En este trabajo se generaron modelos matemáticos mediante regresión, que estiman la biomasa de ramas largas de varios grados de lignificación, de ramas cortas (dardos y lamburdas), de frutos y de hojas (tiernas y maduras), y que tienen coeficientes de determinación (R^2) superiores a 0.972 y valores para el estadístico de Mallow muy próximos al número de variables independientes participantes. Normalmente una variable independiente tiene una participación muy alta en cada modelo. Para las brindillas, dardos y lamburdas, el volumen calculado por las fórmulas de cono y del cono truncado para ramas no podadas y podadas, respectivamente, fue la principal (R^2 parciales entre 0.933 y 0.995). En el caso del fruto, la principal variable en el modelo generado es el diámetro polar mínimo en su forma cuadrática (R^2 parcial de 0.974). Para los modelos de las hojas tiernas y maduras, la variable que más contribuye es la longitud de la lámina (R^2 parciales de 0.936 y 0.962, respectivamente).

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: regresión, ramas, frutos, hojas, estadístico de Mallow.

ESTIMATION OF BIOMASS OF AERIAL ORGANS OF APPLE CV. AGUA NUEVA 2 TREES

ABSTRACT

The biomass of plant organs is a very useful variable for studies on growth, source-sink relationships and productivity. Inasmuch its measure implies the dry in stoves, it is necessarily destructive, not representing a problem in annual and little plants but it is very difficult in big ones, such as fruit and forestal trees, including the apple trees. In this work, models generated by regression estimate biomass of several organs of plants of apple cv. Agua Nueva 2 and have high precision, given by the high values of the coefficient of determination (R^2 over 0.972), and by the values of the statistic of Mallow, very near the number of the independent variables. Normally, one variable had a high participation in each model. For long and short branches (arrows and spurs included), the variable volume calculated by the formula of cone and truncated cone for non-pruned and pruned branches, respectively, was the main one (partial R^2 between 0.933 and 0.995). For the model of fruit biomass, the main variable was the minimum polar diameter in the quadratic form (partial R^2 of 0.974). For the models of the young and mature leaves, the main variable is blade length (partial R^2 of 0.936 and 0.962, respectively).

ADDITIONAL KEY WORDS: regression, branches, fruits, leaves, Mallow statistic.

INTRODUCCIÓN

La biomasa, considerada como la cantidad de material orgánico acumulado por las plantas o por alguno de sus órganos, es una variable ampliamente usada en estudios de fisiología, de crecimiento y de productividad de las plantas, toda vez que es un indicador del material estructural y energético que la planta produce o destina a sus órganos en un periodo o en toda su vida (Roberts *et al.*, 1988; Zamski y Schaffer, 1996).

El proceso de la cuantificación de la biomasa de un órgano, normalmente requiere el aislamiento de ese órgano del resto de la planta y su desecación en una estufa a una temperatura alrededor de 70 °C hasta que pierde la mayor parte del agua y adquiere peso constante. Este proceso es, evidentemente, destructivo y el material que es evaluado ya no puede continuar su crecimiento, razón por la cual en estudios del desarrollo se hacen evaluaciones secuenciadas en plantas diferentes que tienen cierta homogeneidad (Roberts *et al.*, 1988; Esau, 1972).

En plantas anuales y otras de porte bajo, es común que en cada medición se evalúen varias plantas, a fin de disminuir el error experimental causado, entre otras cosas, por la variabilidad entre las plantas y los errores en las mediciones (Evans y Wardlaw, 1996). En estas plantas, las mediciones son fáciles y el costo de su destrucción es relativamente bajo.

Por otro lado, en plantas de porte alto, como son los árboles frutales (incluido el manzano) y algunas forestales, la evaluación de su biomasa resulta un proceso difícil, por el abundante número de órganos y el gran tamaño de muchos de ellos; además, debido a la variación alta, se debe usar un número relativamente alto de repeticiones (órganos evaluados). El costo de esa evaluación es alto, ya que involucra la destrucción de plantas cuya reposición es cara y la pérdida de sus cosechas implica una pérdida financiera considerable. Ante esto, es deseable una herramienta metodológica que permita evaluar la biomasa sin destruir los órganos evaluados y los modelos matemáticos representan una excelente alternativa, ya que permiten la estimación de una variable (de difícil medición) con apoyo de variables de fácil medición (Espinoza *et al.*, 1998).

Se considera como “modelo” a la representación de un sistema, y existen modalidades muy diversas de modelos: maquetas, dibujos, esquemas, imitaciones, etc. Los modelos matemáticos, por su parte, son representaciones en las que se pretende describir el comportamiento de una variable (variable dependiente), con base en la variación de otras (variables independientes), y existen varios tipos de modelos (Afifi y Clark, 1984).

Cuando se tiene un conocimiento profundo del sistema que se pretende describir, de las componentes (variables independientes) relevantes para el estudio y de la manera

en cómo éstas interactúan entre sí para dar un resultado (variable dependiente), es posible construir un modelo mecánico, que hace una representación veraz y precisa del sistema. Ejemplos de modelos mecánicos son las fórmulas de cálculo de áreas y volúmenes de figuras geométricas, como el triángulo, el rectángulo y el cuadrado. Por otro lado, cuando se sabe o se sospecha que cuáles variables independientes pudieran explicar el comportamiento de la variable dependiente, pero se desconocen las relaciones cuantitativas que se dan entre ellas, se puede recurrir a la construcción de un modelo empírico (Thornley, 1976; Afifi y Clark, 1984).

Si bien los modelos mecánicos suelen ser precisos, su construcción es más difícil, por la exigencia del conocimiento de las relaciones cuantitativas entre variables, sobre todo en sistemas complejos, como los relacionados con los seres vivos. Por otro lado, la construcción de modelos empíricos aceptables depende del investigador y de su pericia para elegir variables independientes que expliquen el comportamiento de la variable dependiente (Thornley, 1976; Afifi y Clark, 1984).

Cuando se establecen de manera inequívoca las relaciones entre variables independientes para describir a la dependiente, se está hablando de un modelo determinístico, y cuando el modelo incluye un término de error que impide una descripción totalmente veraz de la variable dependiente, se hace referencia a un modelo estocástico (Afifi y Clark, 1984; Myers, 1990).

La regresión es una técnica estadística que permite construir modelos empíricos estocásticos, esto es, con un término de error, cuando no se conocen las relaciones cuantitativas entre las variables independientes participantes. Para la elección de variables independientes que participen en la construcción de este tipo de modelos, el investigador puede recurrir al pensamiento lógico, tratando de dilucidar, con base en la información disponible, que variables independientes determinan los valores de la variable dependiente, y cuando aquellas son de difícil medición, se puede recurrir a otras muy relacionadas que puedan medirse más fácilmente (Myers, 1990). Para la selección de los modelos más adecuados, se usan algunas de sus características, y entre ellas hay dos estadísticos muy útiles: el coeficiente de determinación (R^2 ó r^2) y el estadístico de Mallow ($C(p)$) (Infante y Zárate, 1984; SAS Institute Inc., 1985).

Para generar modelos que estiman la biomasa de órganos de plantas, es preciso considerar algunos aspectos. Mientras más grande es el órgano, mayor cantidad de biomasa tendrán, razón por la cual se pueden usar como variables independientes, dimensiones asociadas con el tamaño, como son la longitud, la anchura, el grosor, el volumen, etc. Conforme avanza la edad de los órganos, su composición química cambia, de manera que el contenido

de agua normalmente disminuye e incrementa el contenido de sólidos orgánicos (Lehninger, 1993), por lo que en el caso de las hojas y las ramas, podría resultar conveniente generar modelos para cada una de las categorías de dichos órganos, establecidas con base en su edad o avance ontogénico (Espinoza *et al.*, 1998). En el caso de las ramas, su forma asemeja a la de un cono, y, si han sido podadas, a la de un cono truncado, por lo que los valores resultantes de la aplicación de las fórmulas de esas figuras geométricas pueden usarse como variables independientes (Espinoza *et al.*, 1998).

OBJETIVO

Por lo anterior, se realizó el presente trabajo, con el objetivo de generar modelos matemáticos por regresión que estimen con alta precisión la biomasa de varios órganos aéreos de plantas de manzana cv. Agua Nueva 2, con apoyo de variables de fácil medición, no destructivas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio. El estudio se realizó con plantas del huerto "San Martín", del campus Chapingo, de la Universidad Autónoma Chapingo, localizado en el municipio de Texcoco, Estado de México, que tiene un clima templado con lluvias en verano.

Material vegetal. Se usaron plantas de manzano cv. Agua Nueva 2, de doce años de edad, injertadas sobre portainjertos clonales MM106. El estudio se realizó en el mes de julio, con el fin de aprovechar la presencia de todos los órganos sobre los que se pretendía realizar el estudio.

Órganos Evaluados. Se realizaron mediciones sobre los órganos que constituían la parte aérea de las plantas, y son los siguientes:

Brindillas. Se evaluaron brindillas de varias edades y grados de dureza. La dureza de las brindillas se dividió en cuatro categorías (Espinoza *et al.*, 1998), que se describen en el Cuadro 1.

A las brindillas se les midieron o se generaron las variables siguientes. La longitud, medida desde la parte media entre las caras adaxial y abaxial hasta la punta. Se consideró la punta como la posición donde aparentemente emergen las hojitas más pequeñas, en las ramas completas que estaban creciendo, y en las ramas que habían dejado de crecer se consideró a la yema apical.

El diámetro de las brindillas se midió con variantes. En las ramas podadas (de años anteriores), se midieron los diámetros basales (DB) y apicales (DA); los diámetros basales se midieron en un entrenudo, arriba del hinchamiento basal; los diámetros apicales se midieron en el entrenudo

CUADRO 1. Escala usada para la evaluación de la dureza de las ramas de árboles de manzano.

Dureza	Descripción de las Ramas
1	Ramas suculentas, recién aparecidas, flexibles, foliadas.
2	Ramas jóvenes, con incipiente lignificación, menos flexibles que las recién aparecidas, con una corteza en la base que empieza a perder el color original y adquieren un color café con tonos rojizos.
3	Las ramas tienen poca flexibilidad; una corteza rígida en la mitad basal sustituye a la epidermis.
4	Las ramas son de madera dura, lignificada, suberificada e inflexible; no foliadas; de años anteriores; con corteza bien formada de color café claro a café rojiza. Son consideradas ramas estructurales.

más apical en que pudiera medirse sin eliminar las nuevas hojas. En cada posición se midieron los diámetros en los sentidos adaxial-abaxial (AA, arriba-abajo) y lateral (L). Se calculó la relación de diámetros basales (DBAA/DBL) y diámetros apicales (DAAA/DAL). También se calcularon los diámetros promedio basales y diámetros promedio apicales.

Para contabilizar el número de hojas, se consideraron solamente aquellas que tenían una longitud de al menos el 70 % de las hojas maduras. Cuando las hojas de la base de una rama se habían caído, se contaron las yemas persistentes y se sumaron al número de hojas presentes. El número total de yemas se evaluó en las ramas que no tenían hojas contando las yemas que se podían distinguir en la rama. Estas dos variables se consideraron como fuentes de variabilidad en el volumen de las ramas, con relación al volumen del cono (ramas sin podar) o del cono truncado (ramas podadas).

Con los datos de los diámetros basales promedio (en todas las ramas), los diámetros apicales promedio (sólo para las ramas podadas) y la longitud de cada rama, se calcularon los volúmenes de las ramas (volúmenes calculados por fórmulas, VCF), aplicando las fórmulas del cono y del cono truncado, para las ramas no podadas y podadas, respectivamente.

Dardos. Los dardos se evaluaron en una sola categoría, e incluyeron a las lamburdas (dardos que han adquirido capacidad de floración y fructificación), aun cuando su eje tenía fuertes curvaturas. Se midieron o generaron las siguientes variables. La longitud se midió desde la base hasta la punta. El diámetro se midió en la base, evitando el hinchamiento que normalmente tienen estas ramas en la base donde se unen a su rama madre. El volumen calculado por fórmulas se obtuvo aplicando la fórmula del cono.

Hojas. Se evaluaron dos tipos de hojas: hojas maduras, consideradas como aquellas que habían alcanzado su

tamaño máximo, con color verde oscuro, y hojas tiernas, que estaban en proceso de crecimiento y normalmente tenían color verde más claro que las hojas maduras. Se les midió las siguientes variables. La longitud de la lámina y la anchura máxima de la lámina se midieron en un plano. Al peciolo de cada hoja se le midió su longitud y su anchura lateral en su parte media. Se generaron modelos para hojas maduras y otros para las tiernas.

Frutos. Se evaluaron frutos de tamaños variables y se consideraron todos en una categoría. Las variables siguientes. El diámetro ecuatorial máximo se midió en sentido horizontal en la parte más ancha del fruto. Los diámetros polares máximo y mínimo se midieron en sentido vertical (longitudinal o basal-apical) del fruto, considerando que en cada fruto su altura alrededor del pedúnculo no es uniforme, medida desde el hombro basal hasta el apical.

Todos los órganos se aislaron de la planta madre, se secaron en una estufa a 70 °C hasta peso constante y se registró su biomasa (peso seco).

Procedimiento. Para cada órgano, se consideró a la biomasa como la variable dependiente y a las demás como

variables independientes en la generación de modelos, por medio de la regresión. Para ello se usó el procedimiento REG de SAS (Statistical Analysis System), y el método STEPWISE de selección de variables. Los modelos que se generaron tuvieron interceptada igual a cero; se incluyeron solamente variables que fueran significativas con $P \leq 0.05$. La selección del mejor modelo se basó en el mayor coeficiente de determinación (R^2), en el coeficiente de Mallows ($C(p)$) que se aproximara más al número de variables independientes que participa en el modelo respectivo y en un menor número de variables independientes. Para generar el modelo respectivo de cada órgano, se usaron números variables de registros (órganos), cada uno con su juego de valores para las variables independientes y la dependiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los modelos generados para la estimación de la biomasa de los órganos aéreos de las plantas de manzana.

Biomasa de las brindillas

En el Cuadro 2 se presentan los modelos generados y

CUADRO 2. Modelos generados para estimar la biomasa de brindillas de varios grados de dureza de plantas de manzana cv. Agua Nueva 2.

Tipo de brindilla	Modelo	R ²	C(p)
Dureza 1	$B = 0.862 (VCF) + 0.052 (NH) - 0.0745 (DBL) - 0.0957 (DAAA)$	0.972	2.34
Dureza 2	$B = 0.4279 (VCF) + 0.0803 (LONG) - 0.1625 (DBL) - 0.1476 (DAAA)$	0.987	3.59
Dureza 3	$B = 0.577 (VCF) - 0.1862 (NH) - 0.0537 (NYT) + 0.2115 (DAAA)$	0.995	3.60
Dureza 4	$B = 0.6217 (VCF)$	0.995	20.5

C(p): estadístico de Mallows; R²: coeficiente de determinación; B: biomasa (g); VCF: volumen calculado por fórmulas (cm³); NH: número de hojas; DBL: diámetro basal lateral (mm); DAAA: diámetro apical adaxial-abaxial; LONG: longitud de rama (cm); NYT: número total de yemas.

CUADRO 3. Valores de los coeficientes de determinación parciales de las variables independientes de los modelos seleccionados para estimar la biomasa de brindillas de manzana cv. Agua Nueva 2.

Modelo	Variable	R ² Parcial
Brindillas de dureza 1	volumen calculado por fórmulas	0.933
	diámetro apical adaxial-abaxial	0.017
	número de hojas	0.010
	diámetro basal lateral	0.013
Brindillas de dureza 2	volumen calculado por fórmulas	0.935
	longitud	0.041
	diámetro basal lateral	0.099
	diámetro apical adaxial-abaxial	0.002
Brindillas de dureza 3	volumen calculado por fórmulas	0.989
	número de hojas	0.004
	diámetro apical adaxial-abaxial	0.001
	número total de yemas	0.001
Brindillas de dureza 4	volumen calculado por fórmulas	0.995

seleccionados para estimar la biomasa de las brindillas de las plantas de manzana.

En general, los modelos generados y seleccionados tienen altos ajustes, indicados por los altos coeficientes de determinación. Los valores del estadístico de Mallow (C(p)) también son adecuados, pues se acercan sensiblemente a la cantidad de variables independientes de cada modelo, excepto en el modelo para las brindillas de dureza 4, que tiene un valor relativamente alto, aunque aceptable (20.5), considerando que solamente tiene una variable independiente.

En todos los modelos participa como variable independiente el volumen calculado por fórmulas (VCF) y en todos, esta variable hace la mayor aportación al coeficiente de determinación de cada modelo (Cuadro 3), lo cual indica que sus variaciones están muy relacionadas con las de la biomasa, y eso es fácilmente comprensible, ya que mientras más grande sea una rama, mayor será su contenido de biomasa. Además, se corrobora la suposición de que las formas de las ramas podadas y no podadas semejan mucho a las del cono truncado y del cono, respectivamente.

Biomasa de dardos

El modelo seleccionado para estimar la biomasa de los dardos en las plantas de manzana cv. Agua Nueva 2, se presenta en el Cuadro 4, y se puede apreciar que tiene un alto ajuste (R^2 de 0.993).

Al igual que para las brindillas, el modelo seleccionado para estimar la biomasa de los dardos se basa principalmente en el volumen calculado por fórmula (Cuadro 5), mientras que la variable independiente longitud, sola, hace una aportación relativamente pequeña, aunque significativa (dado que fue seleccionada).

Sin embargo, debemos considerar que para generar la variable volumen calculado por fórmulas se empleó la fórmula del cono, que, a su vez, incluye a la variable longitud. Por otro lado, la fuerte participación de la variable volumen calculado por fórmulas confirma la semejanza que tienen los dardos y las lamburdas con las figuras de los conos.

CUADRO 4. Modelos generados y seleccionados para estimar la biomasa de órganos de la parte aérea de plantas de manzana cv. Agua Nueva 2.

Órgano	Modelo Seleccionado	R ²	C(P)
Dardos	$B = 0.931 (VCF) + 0.0262 (LONG)$	0.993	1.11
Frutos	$B = -0.2233 (DPMN) + 0.0045 (DPMN)^2 + 0.0046 (DECMX)^2$	0.992	4.83
Hojas maduras	$B = 0.00396 (ANLAMMX)^2 + 0.0025 (LONLAM)^2 + 0.0146 (ANLATPE)^2$	0.972	5.06
Hojas tiernas	$B = 0.00336 (ANLAMMX)^2 + 0.00299 (LONLAM)^2$	0.983	10.04

C(p): estadístico de Mallow; R²: coeficiente de determinación; B: biomasa (g); VCF: volumen calculado por fórmulas (cm³); LONG: longitud (cm); DPMN: diámetro polar mínimo (mm); DECMX: diámetro ecuatorial máximo (mm); ANLAMMX: anchura máxima de la lámina (cm); LONLAM: longitud de la lámina (cm); ANLATPE: anchura lateral del peciolo (mm).

Biomasa de frutos

El modelo seleccionado para estimar la biomasa de frutos se presenta en el cuadro 4; su coeficiente de determinación es alto (0.992), lo que indica que su ajuste a los datos reales que sirvieron para generarlo es alto. La variable que tiene una participación mayor en el modelo es el diámetro polar mínimo, tanto en su forma cuadrática (R^2 parcial de 0.9742) como en la lineal (R^2 parcial de 0.007), lo que indica que las variaciones de esta variable tienen una alta asociación con las variaciones de la biomasa de los frutos. Aunque de manera marginal, la contribución de la variable diámetro ecuatorial máximo también es significativa ($P \leq 0.05$) para la construcción del modelo respectivo.

Hojas

Los dos modelos generados para estimar la biomasa de hojas, tanto la de hojas maduras como de las tiernas, tienen altos coeficientes de determinación (0.972 y 0.983, respectivamente), lo que indica que su ajuste es alto (Cuadro 4). El modelo de las hojas maduras tiene una C(p) muy buena (5.06), que se acerca fuertemente al número de variables independientes participantes (3). Por otro lado, el modelo

CUADRO 5. Valores de los coeficientes de determinación parciales de las variables independientes de los modelos seleccionados para estimar la biomasa de varios órganos de la parte aérea árboles de manzana cv. Agua Nueva 2.

Modelo	Variable	R ² Parcial
Dardos	Volumen calculado por fórmulas	0.978
	Longitud	0.015
Frutos	Diámetro polar mínimo ²	0.9742
	Diámetro polar mínimo	0.0071
	Diámetro ecuatorial máximo ²	0.0104
Hojas maduras	Longitud de lámina ²	0.9618
	Ancho máximo de lámina ²	0.0090
	Ancho lateral del peciolo ²	0.0012
Hojas tiernas	Longitud de lámina ²	0.9360
	Ancho máximo de lámina ²	0.0472

de hojas tiernas tiene una $C(p)$ relativamente alta (10.04) para el número de variables independientes del modelo (2), pero aún así es muy aceptable, sobre todo considerando que algunos valores de este estadístico en modelos rechazados, aun cuando tienen alto coeficiente de determinación, son superiores a 100.

CONCLUSIONES

Fue posible generar modelos que estiman la biomasa de brindillas, dardos y lamburdas, frutos y hojas, tanto tiernas como maduras, de manzana cv. Agua Nueva 2, y que tienen alto ajuste a los datos reales, indicados por los altos coeficientes de determinación, que tienen valores desde 0.972 a 0.995.

Se puede considerar que las ramas no podadas y podadas de manzano cv. Agua Nueva 2 tienen formas de cono y cono truncado, respectivamente.

Una variable muy útil para la generación de modelos que estimen la biomasa de brindillas de todas las durezas, y de dardos de manzana cv. Agua Nueva 2, es el volumen calculado por las fórmulas del cono y del cono truncado, para ramas no podadas y podadas, respectivamente.

La variable diámetro polar mínimo de frutos, en sus formas cuadrática y lineal, es la que tuvo una mayor participación en el modelo generado y seleccionado para estimar la biomasa de frutos de manzana cv. Agua Nueva 2.

En los modelos generados para estimar la biomasa de hojas de manzana cv. Agua Nueva 2, la variable que tuvo una mayor participación es la longitud de la lámina, en su forma cuadrática, y la variable ancho máximo de lámina, en

su forma cuadrática, tuvo una participación significativa aunque menos intensa que la longitud. En el modelo para hojas maduras, también participó significativamente la variable ancho lateral del peciolo.

LITERATURA CITADA

- AFIFI, A. A.; CLARK, V. 1984. Computer-aided multivariate analysis. Ed. Lifetime Learning Publications. USA. pp. 48-67, 142-146.
- ESPINOZA-ESPINOZA, J. R.; ORTIZ-CERECERES, J.; MENDOZA-CASTILLO, M. C.; VILLEGAS-MONTER, A.; PEÑA-VALDIVIA, C.; ALMAGUER-VARGAS, G.; VILLASEÑOR-ALVA, J. A. 1998. Modelos de regresión para la estimación de peso fresco y seco de ramas de duraznero (*Prunus persica* L. Batsch.). Revista Chapingo Serie Horticultura 4(2): 125-131.
- ESAU, K. 1972. Plant anatomy. Ed. John Wiley and Sons Inc. USA. pp. 46, 78.
- EVANS, L. T.; WARDLAW, F. 1996. Wheat. In: ZAMSKI, E.; SCHAFFER, A. Photoassimilate distribution in plants and crops. Ed. Marcel Dekker Inc. USA. pp. 501-518.
- INFANTE-GIL, S.; ZÁRATE-DE-LARA, G. P. 1984. Métodos estadísticos. Ed. Trillas. México. 327 pp.
- LEHNINGER, A. 1993. Bioquímica. Ed. Omega. 1117 pp.
- MYERS, R. H. 1990. Classical and modern regression with applications. Ed. PWS-Kent Publishing Company. U.S.A. 488 pp.
- ROBERTS, M. J.; LONG, S. P.; TIESZEN L., L.; BEADLE, C. L. 1988. Medición de la biomasa vegetal y de la producción primaria neta. pp. 1-16. In: COOMBS, J.; HALL, D. O.; LONG, S.; SCURLOCK J., M. O. Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad. Editorial Futura S. A. México. 258 pp.
- SAS Institute Inc. 1985. SAS/STAT guide for personal computers, version 6 edition. Ed. SAS Institute Inc. USA. pp. 280-281.
- THORNLEY, J. H. M. 1976. Mathematical models in plant physiology. Ed. Academic Press. USA. 318 pp.
- ZAMSKI, E.; SCHAFFER A., A. 1996. Photoassimilate distribution in plants and crops. Ed. Marcel Dekker Inc. USA. 904 pp.