

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

**BIOMASA DE MANZANOS JÓVENES EN
MACETA Y SUELO CV. AGUA NUEVA II CON
VERMICOMPOSTA *IN SITU***



TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

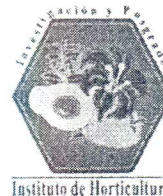
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

ARTURO CURIEL RODRÍGUEZ



**Junio del 2006
Chapingo, Estado de México**

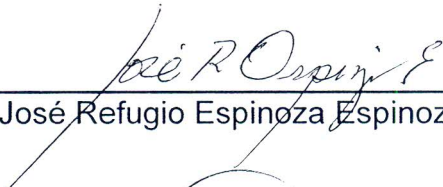


BIOMASA DE MANZANOS JÓVENES EN MACETA Y SUELO CV. AGUA
NUEVA II CON VERMICOMPOSTA *IN SITU*

Tesis realizada por **Arturo Curiel Rodríguez** bajo la dirección del Comité
Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:


Dr. José Refugio Espinoza Espinoza

ASESOR:


M.C. José Pablo Cruz Hernández

ASESOR:


Dr. Gustavo Almaguer Vargas

DEDICATORIA

Dedicación especial a mi esposa Graciela, hijo Arturo Tlacaelel e hija Jade Citlalli, en cuyos nombres de los hijos se desea reflejar y conformar en su idiosincrasia, la cosmovisión de la civilización nahua o mexicana.

Dedicada también a la sociedad mexicana que dispone su vida para que la producción que nos alimenta sea sana, económica y socialmente sostenible.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo por creer en mí como profesor y por permitirme apoyo económico e infraestructura para que día tras día mi mejoramiento en la formación profesional y formador de profesionistas agrónomos sea mejor.

Al Departamento de Fitotecnia que a través del Honorable Consejo Departamental dio su anuencia para que llevara a cabo de tiempo completo los estudios de postgrado.

A los profesores del Área de Metodología de la Investigación y de la Academia de Estadística que apoyaron mi decisión de estudios de posgrado y atendieron mi carga académica, por dos años de permiso.

Al Instituto de Horticultura y sus miembros que me aceptaron como estudiante en su programa de postgrado.

Al Programa Universitario de Investigación en Fruticultura que aceptó apoyar económicamente esta tesis.

A mis profesores que me dieron una síntesis de sus experiencias y conocimientos a través de las cátedras.

Al Dr. J. Refugio Espinoza, Presidente del Comité Asesor, que durante el tiempo que duró el postgrado, entregó en mi aquellos conocimientos que consideró que deberían moldear y mejorar mi formación profesional, respetó mi idiosincrasia para con la producción orgánica de frutales y mantuvo confianza y paciencia. Siempre dispuso de su tiempo en el momento que así fue conveniente.

Al M.C. José Pablo Cruz Hernández, que proporcionó los materiales para la investigación, mostró sus valiosas experiencias de campo en trabajos con productores de Aquixtla, Puebla y estuvo al pendiente del desarrollo de campo y en la atención de problemas en el desarrollo de esta tesis.

Al Dr. Gustavo Almaguer Vargas que en el momento que así le solicité apoyo, siempre dejó lo que estaba desarrollando para atenderme.

Colaboraron en esta tesis el Quim. Claudio A. Pérez Mercado en asesorías sobre interpretación del análisis químico del sustrato y suelo; al Sr. Antonio Díaz en la obtención del análisis químico; a los CC. Gpe. Vivar A. y Angel Ayala C. en la atención de la investigación en campo y a Graciela Díaz (esposa de su servidor) por su apoyo directo en mediciones de campo y captura de datos.

DATOS BIOGRÁFICOS

Ingeniero Agrónomo Fitotecnista en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), periodo escolar de 1978 a 1983, promedio general 9.0.

Estudios de postgrado en Estadística en el Centro de Estadística y Cálculo del Colegio de Postgraduados, periodo 1989-1990, completando todos los créditos correspondientes a las materias cursadas, promedio general de 9.7.

Cursos recibidos de actualización en las áreas de: cómputo, estadística, producción orgánica sustentable y cuatro cursos preparatorios en el 2002 para la formación de promotores para el Desarrollo con un total de horas acumuladas en estos cuatro cursos de 240 horas.

Profesor-investigador del Departamento de Fitotecnia de la (UACH) desde 1983. 76 cursos dictados en las áreas de Estadística, Computación y Metodológicos. Director y asesor de 10 y 70 tesis profesionales, respectivamente.

Miembro de la asociación Agricultura Alternativa Orgánica AALTERMEX. A.C. desde 1996, colaborando como instructor de varios cursos nacionales para la enseñanza de la producción de hortalizas biointensivas orgánicas con énfasis en el manejo nutrimental de los cultivos.

A partir del 2001 tengo a mi cargo el Módulo Universitario en la Transferencia de Tecnología Alternativa para el Desarrollo Rural Sustentable.

PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN MANZANOS JÓVENES CV. AGUA NUEVA II EN MACETA Y SUELO CON VERMICOMPOSTA PRODUCIDA *IN SITU*

BIOMASS PRODUCTION IN YOUNG CV AGUA NUEVA II APPLE TREES IN CONTAINER AND SOIL WITH *IN SITU* PRODUCED VERMICOMPOST

Arturo Curiel-Rodríguez¹

José Refugio Espinoza Espinoza²

RESUMEN

Para la conversión productiva orgánica en frutales, se buscan sistemas de alternativos intensivos y superintensivos. El objetivo de la presente investigación fue estimar la biomasa de árboles de manzano cv. Agua Nueva II sobre portainjerto EMLA7 creciendo en macetas y suelo, para los primeros dos ciclos de crecimiento. Se utilizó como sustrato una mezcla de tezontle con suelo y composta. Se evaluaron dos tipos de fertilización: una formulación de fertilizante químico (T1) y, vermicomposta de *Eisenia foetida* producida *in situ* (T2). Se utilizaron dos tamaños de macetas (L: 46.2 x 35.0 x 80.0 cm y, C: 48.4 x 43.0 x 42.0 cm) para un experimento y cepas de 50.0 x 50.0 x 80.0 cm, dichos tamaños fueron del diámetro superior, diámetro de la base y altura del contenedor y cepa. Modelos de regresión lineal múltiple se generaron para estimar la biomasa. La cantidad de biomasa estimada en macetas tipo C para T1 y T2 fue similar, y su distribución fue así: 10 % hojas, 13 % portainjerto, 12% tallo, 15 % ramas y 50 % raíz. En macetas tipo L, con T2 hubo acumulación excesiva de sales; lo que influyó en una baja cantidad de biomasa. El porcentaje de biomasa aérea para T1 y T2 de los árboles plantados en suelo fue similar. En el segundo ciclo de crecimiento en suelo, los tratamientos mostraron efectos similares para porcentaje de producción de biomasa en tronco, tallo y ramas.

Palabras clave: agricultura orgánica.

ABSTRACT

Alternative systems for the conversion of intensive and super-intensive organic fruit production are being sought. The purpose of this research was to estimate the biomass of cv. Agua Nueva II / EMLA7 apple trees (grown in containers and soil) in the first two growing cycles. A *tezontle* (volcanic rock), soil and compost mixture was used as the substrate. Two treatments were applied: chemical fertilizer (T1) and vermicompost from *Eisenia foetida* produced *in situ* (T2). Two container sizes were employed: type L 46.2 x 35.0 x 80.0 cm; type C 48.4 x 43.0 x 42.0 cm. The stock-soil was 50.0 x 50.0 x 80.0 cm, values which correspond to the upper and lower diameters, and height of both containers and stock, respectively. Multiple linear regression models were obtained to estimate the biomass. The amount of estimated biomass in container C was similar for both T1 and T2; and its distribution was: 10% leaves, 13% rootstock, 12% stems, 15% branches, and 50% roots. Container L with T2 had an excessive accumulation of salts, which yielded a low amount of biomass. In the second growing cycle in soil, the treatments showed similar effect in the percentage of biomass production in rootstock, stem, and branches.

Key words: organic agriculture.

¹ Tesista

² Director

¹ Thesis writer

² Thesis director

ÍNDICE

CONTENIDO	PAGINA
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	xiii
I. INTRODUCCION GENERAL	1
1.1 OBJETIVO GENERAL	3
II. MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMAR ÁREA DE LA HOJA Y BIOMASA AEREA EN ÁRBOLES JÓVENES DE MANZANO	5
2.1 RESUMEN	5
2.2 ABSTRACT	5
2.2 INTRODUCCIÓN	6
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS	9
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
2.6 CONCLUSIONES	19
2.7 LITERATURA CITADA	19
III. BIOMASA ESTIMADA EN ÁRBOLES JÓVENES DE MANZANO EN CONTENEDORES CON VERMICOMPOSTA <i>IN SITU</i> .	21
3.1 RESUMEN	21
3.2 ABSTRACT	21
3.3 INTRODUCCIÓN	22
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
3.6 CONCLUSIONES	44
3.7 LITERATURA CITADA	48
IV. BIOMASA AÉREA ESTIMADA EN ÁRBOLES JÓVENES DE MANZANO EN SUELO CON VERMICOMPOSTA <i>IN SITU</i> .	51
4.1 RESUMEN	51
4.2 ABSTRACT	51
4.3 INTRODUCCIÓN	52
4.4 MATERIALES Y MÉTODOS	54
4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
4.6 CONCLUSIONES	69
4.7 LITERATURA CITADA	70

LISTA DE CUADROS

II. MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMAR ÁREA DE LA HOJA Y BIOMASA AEREA EN ÁRBOLES JÓVENES DE MANZANO. Pág.

Cuadro 1. Coeficientes de correlación lineal Pearson para variables medidas en hoja de manzano cv. Agua Nueva II/EMLA7, en el segundo año de crecimiento.	15
Cuadro 2. Coeficientes de correlación lineal Pearson para las variables medidas en órganos de estructuras aéreas de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7, en el segundo año de crecimiento.	16
Cuadro 3. Modelos de regresión elegidos para estimar área foliar y pesos secos de partes aéreas en manzano cv. Agua Nueva II /EMLA7, para el segundo año de crecimiento.	17

III. BIOMASA ESTIMADA EN ÁRBOLES JÓVENES DE MANZANO EN CONTENEDORES CON VERMICOMPOSTA *in situ*

Cuadro 1. Cantidad de productos químicos utilizados para la formulación del tratamiento de fertilizante químico (T1) en dos ciclos de crecimiento de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7.	28
Cuadro 2. Modelos obtenidos de regresión lineal múltiple que sirvieron para la estimación de la biomasa aérea.	29
Cuadro 3. PH y conductividad eléctrica (C.E.) de lixiviados y sustratos en la producción de biomasa en contenedores tipos L y C, en los primeros dos años de crecimiento de árboles de manzano cv. Agua Nueva II /EMLA7, cuando se aplica fertilizante (T1) y vermicomposta (T2).	32

LISTA DE CUADROS

II. MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMAR ÁREA DE LA HOJA Y BIOMASA AEREA EN ÁRBOLES JÓVENES DE MANZANO.		Pág.
Cuadro 1. Coeficientes de correlación lineal Pearson para variables medidas en hoja de manzano cv. Agua Nueva II/EMLA7, en el segundo año de crecimiento.	15	
Cuadro 2. Coeficientes de correlación lineal Pearson para las variables medidas en órganos de estructuras aéreas de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7, en el segundo año de crecimiento.	16	
Cuadro 3. Modelos de regresión elegidos para estimar área foliar y pesos secos de partes aéreas en manzano cv. Agua Nueva II /EMLA7, para el segundo año de crecimiento.	17	
III. BIOMASA ESTIMADA EN ÁRBOLES JÓVENES DE MANZANO EN CONTENEDORES CON VERMICOMPOSTA <i>in situ</i>		
Cuadro 1. Cantidad de productos químicos utilizados para la formulación del tratamiento de fertilizante químico (T1) en dos ciclos de crecimiento de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7.	28	
Cuadro 2. Modelos obtenidos de regresión lineal múltiple que sirvieron para la estimación de la biomasa aérea.	29	
Cuadro 3. PH y conductividad eléctrica (C.E.) de lixiviados y sustratos en la producción de biomasa en contenedores tipos L y C, en los primeros dos años de crecimiento de árboles de manzano cv. Agua Nueva II /EMLA7, cuando se aplica fertilizante (T1) y vermicomposta (T2).	32	

Cuadro 4. Carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) y cloruros (Cl^-) de una muestra compuesta de lixiviados y sustrato en la producción de biomasa en contenedores tipos L y C, en contenedores, por dos años de crecimiento de árboles de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7, cuando se aplica fertilizante (T1) y vermicomposta (T2).	34
Cuadro 5. Comparación de promedios para peso seco estimado de follaje a lo largo de los primeros dos ciclos de crecimiento en manzano cv. Agua Nueva II /EMLA7 creciendo en dos tamaños de contenedores y dos tipos de fertilizaciones.	35
Cuadro 6. Modelo de regresión lineal simple que estima eficientemente al peso seco de raíz (PSRz) en manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7.	38
Cuadro 7. Porcentaje promedio en cada celda (valor a la izquierda) y desviación estándar (valor a la derecha) de los pesos secos estimados de Biomasa aéreas y de raíz de manzano cv. Agua Nueva II /EMLA7 para varios muestreos en dos ciclos de crecimiento por tratamiento.	41
Cuadro 8. Comparación de promedios para variables pesos secos (g) al final de cada ciclo de crecimiento en manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7 creciendo en 2 tipos de contenedores y con dos tipos de fertilizaciones.	43
Cuadro 9. Selección de la mejor ecuación de regresión lineal múltiple (STEPWISE) para estimar peso seco en diferentes órganos de la planta (órgano) en función de los días transcurridos (D) en el primer ciclo de crecimiento (2004), en manzano cv. Agua Nueva II /EMLA7, cuando se aplicó fertilizante (T1) y vermicomposta producida (T2), en contenedores tipo L y C.	45

Cuadro 10. Selección de la mejor ecuación de regresión lineal múltiple (STEPWISE) para estimar peso seco en órganos de la planta por días transcurridos a la brotación(D) en el segundo ciclo de crecimiento (2005), en manzano cv. Agua Nueva II /EMLA7, con fertilizante (T1) y vermicomposta (T2), en contenedores tipos L y C.	46
--	----

IV. BIOMASA AÉREA ESTIMADA EN ÁRBOLES JÓVENES DE MANZANO EN SUELO CON VERMICOMPOSTA *in situ*

Cuadro 1. Formulación del tratamiento de fertilizante químico (T1) en dos ciclos de crecimiento de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7.	56
Cuadro 2. Modelos obtenidos de regresión lineal múltiple que sirvieron para la estimación de la biomasa aérea en manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7.	57
Cuadro 3. PH y conductividad eléctrica (C.E.) de lixiviados y sustratos en cepas en el suelo en las que crecieron por dos años árboles de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7, cuando se aplica fertilizante (T1) y vermicomposta (T2).	59
Cuadro 4. Carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) y cloruros (Cl^-) de una muestra compuesta de lixiviados y sustrato de cepas en el experimento en suelo en las que crecieron por dos años árboles de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7, cuando se aplica fertilizante (T1) y vermicomposta (T2).	60
Cuadro 5. Efecto de las covariables peso fresco inicial de planta (g) para el primer año de crecimiento (2004) y pesos seco estimado de biomasa aérea (g) sin incluir biomasa foliar para el segundo año de crecimiento (2005) en suelo, en manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7, en noviembre de cada ciclo.	62

Cuadro 6. Efecto de fertilización química comercial (T1) y Orgánica con vermicomposta producida <i>in situ</i> (T2) en el peso seco estimado de follaje en diferentes fechas de muestreo en los primeros dos ciclos de crecimiento del manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7 en suelo.	63
Cuadro 7. Porcentajes de biomasa aérea estimada en partes de la planta de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7 al final de los ciclos de crecimiento.	66
Cuadro 8. Comparación de promedios para variables pesos secos (g) al final de cada ciclo de crecimiento en manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7 creciendo en cepas en suelo.	67
Cuadro 9. Mejor ecuación de regresión para estimar peso seco en diferentes partes de la planta, en función de los días transcurridos al inicio de la brotación (D), al final del primer (2004) y segundo (2005) ciclos de crecimiento, en manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7, creciendo en suelo.	68

LISTA DE FIGURAS

III. BIOMASA ESTIMADA EN ÁRBOLES JÓVENES DE MANZANO EN CONTENEDORES CON VERMICOMPOSTA *in situ*

Figura 1. Peso seco estimado foliar (PSF), de sostén (PSRm) y de raíz (PSRz) en manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7 cuando se aplicó fertilizante (T1) y vermicomposta (T2), para el primer año de crecimiento (A) y para el segundo año (B), en contenedores tipo L y C. 37

Figura 2. Peso seco estimado de partes aéreas de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7 donde se midió el tallo donde inicia el área de enraizamiento del portainjerto hasta donde inicia el tallo o brote principal del injerto (PSP), el tallo del injerto (PST) y de las ramificaciones a partir del tallo de injerto (PSR), cuando se aplicó fertilizante (T1) y vermicomposta (T2), para el primer año de crecimiento (A) y para el segundo año (B), en contenedores tipo L y C. 39

IV. BIOMASA AÉREA ESTIMADA EN ÁRBOLES JÓVENES DE MANZANO EN SUELO CON VERMICOMPOSTA *in situ*

Figura 1. Peso seco estimado foliar (PF), del portainjerto (PP), del tallo principal (PT) y de ramas (PR) en manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7 cuando se aplicó fertilizante (T1) y vermicomposta (T2), para el primer año de crecimiento (A) y para el segundo año (B), en cepas. 65

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La manzana es una actividad productiva mundial económicamente importante por la alta remuneración monetaria que tiene en varios países (Lal Kaushal y Sharma, 1995). Desde los años 80's, China ha ocupado el primer lugar como productor de manzana, en el año 2002 cultivó 2.5 millones de hectáreas y produjo 20.5 millones de toneladas, casi la mitad de la producción mundial, cinco veces más la producción de los Estados Unidos de Norteamérica y 30 % mayor que los países europeos (Anónimo, 2003). Los promedios de rendimiento en varios países para el año 2002 fueron: China $8.2 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$, E.U.A. $22.5 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$, Europa $10.8 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Anónimo, 2003). Para México en el año 2004 se reportó $10 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Anónimo, 2005).

La producción de manzana en México es una de las actividades agrícolas primordiales o emergentes para veintitrés entidades federativas, ya que considerando el 100% de la superficie cosechada de esta fruta (59,095 ha), el estado de Chihuahua ocupó el primer lugar, con el 41 %, seguido del estado de Durango con el 17 %, y de los estados de Coahuila y Puebla, ambos con el 12 % (Anónimo, 2005). Para el año 2004, Chihuahua reportó el máximo rendimiento estatal con $16.5 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ bajo riego, y Veracruz reportó el máximo rendimiento estatal con $12.6 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ en temporal, (Anónimo, 2005).

Es factible incrementar los rendimientos y volúmenes de producción de manzana, sólo hay que validar algunos sistemas de producción. Por ejemplo, cultivando frutales en contenedores (un árbol por maceta), se pueden aprovechar áreas rurales y urbanas (como bordos camellones, jardines, patios y azoteas, entre otras áreas); como recursos nutrimentales se pueden aprovechar residuos orgánicos de los hogares, del predio del productor, o de áreas comunitarias; el agua puede obtenerse de la potable, de lluvia o reciclable. El cultivo de plantas perennes en contenedores se puede considerar una forma de producción superintensiva, útil para contrarrestar problemas de suelo (o la falta de éste) y de clima, haciendo eficientes los recursos como el espacio, agua, nutrimentos, control de plagas, enfermedades y malezas, entre otros (Erez, 1990). Myers *et al.* (1992) cultivaron manzano Golden Delicious injertado sobre el portainjerto MM.111 en tamaños de cepas en suelo de 20, 43 y 100 litros, obteniendo los siguientes resultados: la restricción radical por efecto de la cepa reduce el volumen de la biomasa de la parte aérea; el número de grupos de flores y de frutos por rama se incrementan linealmente al disminuir el volumen del contenedor al tercer año de crecimiento de los árboles.

Para huertos existentes, la conversión productiva gira en torno a sistemas intensivos que tienen que reestructurarse paulatinamente, ya que los factores limitantes como la disponibilidad de agua para riego, restricciones nutrimentales y recursos energéticos, así lo exigen. Cuando la conversión productiva se ha enfocado a la producción orgánica se aprovecha la descomposición y

mineralización de residuos orgánicos como estiércoles y esquilmos como parte de la nutrición de los cultivos (Lind, *et al.*, 2003). El humus obtenido de la descomposición de la materia orgánica es un material que mejora las propiedades física y químicas del suelo y de los sustratos, tales como: la capacidad de intercambio catiónico (como reservorio de nutrimentos), la estructura del suelo, la retención hídrica, la conductividad hidráulica, el drenaje y la porosidad (Labrador, 2001).

En investigaciones para producción de manzana, la biomasa se cuantifica como expresión final de los procesos bioquímicos y fisiológicos que se dan en el interior de cada planta, para ciertas condiciones de producción (Gárate y Bonilla, 2000). La biomasa se ha estimado en durazno, con el uso de modelos matemáticos que se han generado a través de investigaciones diseñadas *ex profeso*, en las que hubo necesidad de destruir la planta viva o alguna parte de ella (Espinoza *et al.*, 1998). Los métodos estadísticos de regresión lineal múltiple se pueden emplear para la construcción de modelos matemáticos empíricos, con los cuales se podrán estimar la biomasa área y el área foliar en manzano (Drapper y Smith, 1981).

1.1 Objetivos

- Obtener modelos empíricos para estimar la biomasa de árboles jóvenes de manzano cv. Agua Nueva II injertados sobre M7.

- Caracterizar y cuantificar la biomasa estimada de diferentes partes de la planta en dos sistemas de producción orgánicos alternativos: macetas y suelo, que tienen potencial para una reconversión productiva en manzana.

II. MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMAR ÁREA DE LA HOJA Y BIOMASA AEREA EN ÁRBOLES JÓVENES DE MANZANO

MATHEMATICAL MODELS TO ESTIMATE LEAF SHEET AREA AND BIOMASS SHOOTS IN YOUNG APPLE TREES

Arturo Curiel Rodríguez¹ y José Refugio Espinoza Espinoza²

2.1 RESUMEN

El área foliar y la biomasa de la hoja en manzano son útiles para estudiar el crecimiento, las relaciones fuente-demanda y predecir la productividad. El propósito de esta investigación fue obtener modelos matemáticos empíricos con las técnicas de regresión lineal múltiple para estimar el área de la hoja (AFE) y la biomasa aérea en manzano "Agua Nueva II". Los modelos de regresión elegidos tuvieron alta precisión (R^2 por arriba de 0.969). El área de la hoja (en centímetros cuadrados), se estimó como $AFE = -3.24140(AL) + 0.67616(AL)^2 + 0.63287(AL)(LL/AL)$, donde AL y LL es el ancho máximo y el largo de la lámina de la hoja, respectivamente. El peso seco de la lámina de la hoja se estimó como $PSL = 0.02699(AFE) + 0.00021917(AFE)^2$. El peso seco de pecíolo se estimó como $PSP = 0.00384(AFE) - 0.04432(LL/AL) + 0.02291(LL/AL)^2$. Los pesos secos de tronco (PST), de tallo principal (PSTP), de ramas grandes (PSRG), de ramas medianas (PSRM), y de ramas pequeñas mas dardos (PSRP), están en función del volumen en fresco (V) de las ramas (en cm^3). Con la fórmula de un cono truncado se calculó V, para esto se necesitó la longitud (L), el diámetro proximal (basal) y el diámetro distal (apical) de las ramas. Los pesos secos, expresados en gramos, se estimaron con los modelos: $PST = 0.66882(V)$, $PSTP = 0.55902(V)$, $\ln PSRG = 0.77462[\ln(V)]$, $PSRM = 0.49349(V)$ y $PSRP = 0.57297(V)$. Las longitudes y los diámetros se expresaron en centímetros.

Palabras clave: cv. Agua Nueva II, EMLA7.

2.2 ABSTRACT

In apple trees, leaf sheet area and shoot biomass variables are basic in growth, source-sink relationships and productivity researches. The aim of studio was to found empirical mathematical models using multiple linear regression techniques to estimate leaf sheet area (LSA) and shoot biomass in "Agua Nueva II" young apple trees. All linear regression models were obtained with hight precision (R^2 above 0.969). LSA (in square centimeters), was estimated with the model $LSA = -3.24140(MWS) + 0.67616(MWS)^2 + 1.63287(MWS)(LS/MWS)$, where MWS stands for maximum wide of leaf and LS stands for leaf lenght. The dry weight of leaf sheet (DWLS) was estimated as $DWLS = 0.02699(LSA) + 0.00021917(LSA)^2$. The dry weight of petiole (DWP) was estimated as $DWP = 0.00384(LSA) - 0.04432(LS/MWS) + 0.02291(LS/MWS)^2$. The dry weights (in g) of different parts of the plant as: rootstock, including grafting union area (DWR), below the grafting union area and of principal stem (DWPT), of branch large (DWBL), of branch medium (DWBM), and of branch short (DWBS) are a function of fresh branch volume (V). The formula of truncated cone was used to volume calculation (in cubic centimeters); for this, it was required proximal (basal) and distal (apical) diameters of branches, and its length. The branch dry weights were estimated with the following models: $DWR = 0.66882(V)$, $DWPT = 0.55902(V)$, $\ln(DWBL) = 0.77462[\ln(V)]$, $DWBM = 0.49349(V)$ and $DWBS = 0.57297(V)$. The lenght and diameter variables in leaf, trunk, stem and branches were expressed in centimeters.

key words: cv. Agua Nueva II, EMLA7.

¹ Tesista
² Director

2.3 INTRODUCCIÓN

El valor de la producción en el año 2004 de las actividades agrícola en México fue de \$210,640,000,718 m.n. De ésta cantidad, la producción de hortalizas ocupó el 22 %, la de cereales ocupó el 19 %, la de forrajes ocupó el 18 % y la frutícola ocupó el 17 % (Anónimo (2005). En cuanto a superficie cosechada y volumen de producción en el año 2004, la actividad frutícola ocupó el quinto y el sexto lugar, con el 6 % (1,206,510 ha) y el 3 % (15,488,573 ton), respectivamente (Anónimo, 2005). En el ámbito de la actividad frutícola del país del año 2004, reportada por Anónimo (2005), la producción de manzana ha tenido un papel preponderante respecto a otros frutales, ya que ocupó el sexto lugar por la superficie cosechada, con el 4.9 % (59,095 ha), y el octavo lugar por el valor de la producción, con el 5.6 % (\$2,035,586,475 m.n.). La producción de manzana en México en el año 2004 es una de las actividades agrícolas primordiales o emergentes para veintitrés entidades federativas y, considerando el 100% de la superficie cosechada de esta fruta (59,095 ha), el estado de Chihuahua ocupa el primer lugar, con el 41 % seguido del estado de Durango, con el 17 %, y de los estados de Coahuila y Puebla, ambos con el 12 % (Anónimo, 2005). Los rendimientos promedios estatales en la producción de manzana para el año 2004 varían de acuerdo a las condiciones de producción de cada estado; por ejemplo, en riego, Chihuahua reportó el máximo rendimiento estatal con $16.5 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$, y en condiciones de temporal, en Veracruz se obtuvo el máximo rendimiento estatal con $12.6 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Anónimo, 2005).

Para incrementar los volúmenes de producción de manzana, se requiere que las condiciones de producción prevalecientes en el ciclo de vida de las plantas y la utilización de portainjertos e injertos adecuados a la zona de producción, logren una adecuada expresión de los procesos bioquímicos y fisiológicos que se dan en el interior de cada planta. Un indicador de todos estos procesos es la biomasa (Gárate y Bonilla, 2000). Evaluar la biomasa en frutales como el manzano no es fácil, ya que por su alta variabilidad, se requiere manejar un número alto de repeticiones para obtener una buena precisión al evaluar los indicadores estadísticos que se utilizan para el análisis de las variables del estudio (Steel y Torrie, 1960). Otro inconveniente es que se destruye material vivo en alguna etapa del ciclo de desarrollo de la planta, y que por el tamaño que alcanzan los árboles, conlleva a costos económico y biológico altos, en comparación a plantas anuales que pueden producirse en cantidades altas y son de menor tamaño.

La biomasa es una variable de interés y se ha estimado para algunos frutales como el durazno con modelos que se han generado a través de investigaciones diseñadas *ex profeso* en las que hubo necesidad de destruir la planta viva o alguna parte de ella (Espinoza *et al.*, 1998).

Un modelo matemático es la simplificación de un sistema real, generado para entender, explicar, estimar o predecir la realidad (Thornley, 1976). Dos tipos de modelos pueden ser generados y empleados para explicar los procesos

fisiológicos de las plantas: los modelos “mecanicistas” y los “empíricos”; los primeros requieren de un conocimiento profundo de los diversos procesos involucrados (subsistemas) para llegar a un objetivo final, en el que cada proceso se expresa como una ecuación diferencial, y cada una de estas ecuaciones se concentran en un sistema de ecuaciones que se simplifican para la obtención de una ecuación final que posteriormente se verifica con datos reales; el segundo tipo de modelos se basa en observaciones de datos experimentales, a los cuales se les hacen ciertos tipos de análisis, tratando de hacer supuestos inteligentes (arbitrarios) y formular un conjunto de ecuaciones que pueden ser utilizadas como modelos matemáticos (Thornley, 1976). Los métodos estadísticos de regresión lineal múltiple (modelos estocásticos para los cuales se minimiza de estos el término error experimental), y los datos experimentales de variables asociadas al área foliar, al peso seco del follaje y otras estructuras aéreas, se pueden emplear para la construcción de modelos matemáticos empíricos, con los cuales se podrán estimar la biomasa área y el área foliar en manzano (Draper y Smith, 1981; Martínez y Castillo, 1987).

Cuando se usan técnicas estadísticas de regresión, se aplican en ellas algunos procedimientos estadísticos particulares, como el procedimiento “Stepwise”, utilizado para elegir variables regresoras, o sea, aquellas que se miden en el estudio y sirven para calcular o para estimar alguna otra variable a la que denotamos como “variable dependiente” o “de interés” (Martínez y Castillo, 1987). Para la elección del mejor modelo estadístico, se considera como tal a

aquél en el que se calculan ciertos valores de indicadores estadísticos, como es el coeficiente de determinación (R^2), que debe estar cercano a 1; el cuadrado medio del error (CME), que debe ser pequeño, y el estadístico de Mallows (C_p), que debe ser igual o próximo al número de componentes del modelo que se elija (Draper y Smith, 1981; Martínez y Castillo, 1987).

Los componentes de los modelos matemáticos empíricos que se eligen de una especie vegetal a otra y de un cultivar a otro, cambian. Es por esto que la presente investigación tiene como objetivo: generar modelos matemáticos empíricos con las técnicas de regresión lineal múltiple, que estimen el área foliar y la biomasa de órganos aéreos de plantas de manzano “Agua Nueva II”.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en Chapingo, Estado de México. El material vegetal evaluado fue manzano “Agua Nueva II” sobre portainjerto semi-vigoroso de manzano EMLA7. Las plantas evaluadas tenían dos ciclos de edad (2004-2005). Este material se manejó con poda de formación “líder central” efectuada al término del letargo del primer ciclo de crecimiento.

Para la obtención de los modelos empíricos que servirán para estimar tanto el área de la lámina de la hoja como el peso seco de la misma y del pecíolo, se cortaron 221 hojas maduras y sanas de 42 plantas, e inmediatamente se colocaron en refrigeración. En los tres días siguientes se le midieron varias

variables. El largo de la lámina de la hoja se midió a lo largo de la nervadura central, desde donde se une al pecíolo hasta la punta de la hoja. El ancho máximo de la lámina de la hoja se midió en sentido perpendicular al largo de la lámina de la hoja, en su parte más ancha. el largo del pecíolo se midió desde la inserción de la lámina de la hoja hasta la inserción a la rama en el lado adaxial (arriba). El diámetro del pecíolo se midió en la parte media del mismo, entre la parte adaxial (arriba) y abaxial (abajo). Para obtener el área de la lámina de la hoja, se escaneó cada hoja y se guardó como fotografía; enseguida, se obtuvo el área de su lámina, utilizando el paquete computacional "Image Tool", versión 3.00 para Windows (Wilcox *et al.*; 1995). Para el peso seco de la lámina de la hoja y del pecíolo, primeramente, ambas partes de la hoja pasaron por secado en estufa a 60° C hasta peso constante y se procedió a pesar. Dividiendo la longitud máxima de la lámina de la hoja entre su ancho máximo se obtuvo la variable índice de la lámina de la hoja. Dividiendo del pecíolo su longitud entre su parte media se obtuvo la variable índice del pecíolo.

Para la obtención de los modelos empíricos que servirán para estimar la biomasa de troncos y ramas, se cortaron ramas, tallos y troncos de 12 plantas. Se le llamó "tronco" al fragmento de la planta pegada a la parte radical compuesta por el portainjerto más el área de unión del injerto. Se le llamó "tallo principal" al fragmento adherido por su parte proximal al tronco. Se le llamó "rama" a cualquier tallo que no entra en alguno de los dos tipos de estructuras anteriormente mencionadas. Con base en la clasificación de Calderón (1983),

las ramas se agruparon, por su longitud, en tres categorías: en la clase “rama pequeña” se incluyeron a todas las ramas que tuvieron menos de 10 centímetros de longitud incluyendo los dardos; en la clase “rama mediana” se incluyeron a las ramas que tuvieron longitudes entre 10 y 30 centímetros, y en la clase “rama grande” se incluyeron a aquellas ramas que tuvieron longitudes mayores de 30 centímetros. Todas las ramas tenían un año de edad, y no se les aplicó la poda.

Tanto a troncos como a tallos y ramas se les midieron las variables siguientes. Diámetros del tronco fueron medidos en ambos extremos del mismo, los diámetros proximales se midieron de la parte más angosta y de la más ancha del tronco, a un centímetro por encima de la corona, con estos dos diámetros se obtuvo el diámetro proximal promedio del tronco; los diámetros distal del tronco se midieron en la parte más angosta y en la más ancha, a un centímetro por debajo de la inserción con el tallo principal, con estos dos diámetros se obtuvo el diámetro distal promedio del tronco. Los diámetros del tallo fueron medidos en ambos extremos del mismo; el diámetro proximal del tallo fue medido a un centímetro por arriba del tronco por su lado adaxial (arriba); mientras que el diámetro distal del tallo fue medido a un centímetro por debajo de entrenudo distal. Los diámetros de ramas fueron medidos en su parte proximal y en la distal; el diámetro proximal fue medido a un centímetro por arriba del extremo adaxial (arriba) donde estuvo unido con el tallo principal o con alguna rama; el diámetro distal fue medido en el extremo próximo a la

yema apical, considerando la parte más delgada del entrenudo que se encuentra por abajo de ésta. La longitud del tronco fue medida desde la corona hasta su extremo distal. La longitud del tallo fue medida desde el punto de unión con el tronco por el lado adaxial (arriba) hasta su extremo distal. La longitud de ramas fue medida desde el extremo proximal de la rama en su lado adaxial (arriba), hasta la punta de la yema apical. Los troncos, tallos y ramas, se les sometió a un secado en estufa a 60° C, antes de que se obtuvieran sus pesos secos. Con la longitud y los diámetros de troncos, tallos y ramas, y utilizando la fórmula de un cono truncado, se calculó el volumen en fresco de cada una de esas partes de la planta. Las escalas de medida de las variables fueron: en diámetros y longitudes se midió en centímetros, en pesos secos se midió en gramos, en área de la lámina de la hoja se midió en centímetros cuadrados, y en volúmenes de ramas en general se midieron en centímetros cúbicos. Las variables obtenidas como índices son adimensionales.

En análisis estadístico de las variables consistió de cada una de las siguientes técnicas estadísticas: análisis de correlación, análisis de regresión lineal múltiple y pruebas de ji-cuadrada para bondad de ajuste, en todas ellas se usó una $P \leq 0.01$. El análisis estadístico se hizo por etapas.

En la primera etapa se agruparon por separado las variables de: hoja, tronco, tallo principal y para cada tipo de rama. Dentro de cada grupo se identificaron aquellas variables que servirían en los modelos como “regresoras” y como

“dependientes”. Las variables que potencialmente se considerarían como “regresoras” en las etapas posteriores del análisis estadístico son: ancho máximo y largo de lámina de la hoja, diámetro y largo del pecíolo, índices de la lámina de la hoja y del pecíolo, área de la hoja estimada, así como las longitudes y los diámetros de las ramas en general. Las variables que potencialmente se considerarían como “dependientes” en las etapas posteriores del análisis estadístico son: área y peso seco de la lámina de la hoja, peso seco del pecíolo, y los pesos secos de tronco tallos y ramas. Se obtuvieron los coeficientes de correlación lineal simple de “Pearson” (Martínez y Castillo, 1987) entre todas las variables de cada grupo. La segunda etapa consistió en elegir dentro de cada grupo de variables a aquellas “regresoras” que tuvieran valores de correlación cercanas a 1.0 con las variables “dependientes”. Enseguida se eligieron dentro de cada grupo y entre las variables “regresoras” elegidas del párrafo anterior a aquellas que estuvieran débilmente correlacionadas entre sí (correlaciones no significativas o correlaciones con valores significativos pero bajos), para reducir el riesgo de elegir variables con dependencia lineal cercana o “multicolineales” (Myers, 1990). La tercera etapa consistió en la elaboración de varias funciones matemáticas entre cada variable “dependiente de cada grupo con sus respectivas variables regresoras elegidas de la etapa anterior.

En la cuarta etapa se ejecutó el procedimiento de selección de variables “Stepwise” dentro de la técnica estadística de regresión lineal múltiple para

cada función obtenida en la etapa anterior. Al ejecutarse el procedimiento “Stepwise” APRA cada función se obtienen los valores de los siguientes indicadores estadísticos de interés: coeficiente de determinación (R^2), cuadrado medio del error (CME) y el coeficiente de Mallows (C_p). Enseguida se eligieron para cada variable “dependiente” el uno, o dos de los modelos de regresión que tuviesen las siguientes características: R^2 cercana a 1.0; CME lo más pequeño posible; y C_p igual o cercano al número de componentes del modelo elegido (Draper y Smith, 1981; Martínez y Castillo, 1987).

En la quinta y última etapa a cada modelo elegido de la etapa anterior se le aplicó una prueba de Ji-cuadrada para bondad de ajuste. Con esta prueba además de verificar que los valores ajustados por los modelos matemáticos fueron similares estadísticamente con los valores reales medidos en el estudio (Scheaffer y McClave, 1993), se seleccionaron los modelos definitivos para los resultados, considerando a aquellos en el que la ji-cuadrada calculada tuviera el menor valor.

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las correlaciones más altas entre las variables “dependientes” con las “regresoras” y la poca o nula correlación entre las variables “regresoras” dentro de cada grupo de variables (cuadros 1 y 2), permitieron ser seleccionadas para construir varias funciones matemáticas. Así las mejores relaciones de la variable “dependiente” con las mejores de las variables “regresoras”

encontradas fueron: el área de la lámina de la hoja principalmente estaría en función del ancho máximo de su lámina; el peso seco de la lámina de la hoja y del pecíolo de la misma estarían en función del área foliar; los pesos secos del tronco, del tallo principal y de los tipos diferentes de ramas estarían en función del volumen en fresco calculado con la fórmula del cono truncado. Además se utilizó el índice de lámina de la hoja para mejorar el ajuste del área foliar y del peso seco de pecíolo, aunque no hubiese correlación de la primera con las dos últimas.

Cuadro1. Coeficientes de correlación lineal Pearson para variables medidas en hoja de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7, en el segundo año de crecimiento.

VAR	LL	AL	ILH	LP	DP	INDP	ALH
AL	0.85519**						
ILH	0.25920**	-0.26601**					
LP	0.60862**	0.48355**	0.23249**				
DP	0.86847**	0.80512**	0.10523 ^{NS}	0.58727**			
IP	-0.44235**	-0.49262**	0.11008 ^{NS}	0.29364**	-0.57884**		
ALH [†]	0.92218**	0.96172**	-0.05682 ^{NS}	0.51464**	0.85008**	-0.50097**	
PSL [†]	0.90012**	0.92569**	-0.46994**	0.49229**	0.83118**	-0.49179**	0.97758**
PSP [†]	0.88091**	0.80187**	-0.14546 ^{NS}	0.74629**	0.88763**	-0.30741**	0.87433**

[†]: variable dependiente; VAR: variables; LL: longitud de la lámina de la hoja (cm);

^{NS}, **, no significativo y significativo a una $P \leq 0.01$, respectivamente.

AL: ancho máximo de la lámina de la hoja (cm); ALH: área de la lámina de la hoja (cm²);

ILH: índice de la lámina de la hoja LL / AL; PSL: peso seco de lámina de la hoja (g);

LP: longitud de pecíolo (cm); DP: diámetro de la parte media del pecíolo entre la parte adaxial (arriba) y abaxial (abajo), en cm; IP: índice de pecíolo obtenido como LP / DP;

PSP: peso seco de pecíolo (g).

Después de ejecutarse el procedimiento “Stepwise” del modelo de regresión lineal múltiple se eligieron como mejores modelos a aquellos con una R^2 cercano a uno, CME muy bajo y C_p cercano al número de componentes. Los resultados de J_i^2 permitieron la selección definitiva de los modelos (cuadro 3).

Cuadro 2. Coeficientes de correlación lineal Pearson para las variables medidas en órganos de estructuras aéreas de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7, en el segundo año de crecimiento.

PRPL	VAR	DPA	DDA	LG	VOL
TRONCO	DDA	0.9053**			
	LG	-0.4548 ^{NS}	-0.6871**		
	VOL	0.4307 ^{NS}	0.1487 ^{NS}	0.5840 ^{NS}	
	PS [†]	0.1577 ^{NS}	-0.0260 ^{NS}	0.6517**	0.8732**
TALLO	DD	0.7656**			
	LG	0.6334**	0.5692 ^{NS}		
	VOL	0.9588**	0.8570**	0.7534**	
	PS [†]	0.9241**	0.8176**	0.7413**	0.9399**
Rm30	DD	0.4652**			
	LG	0.7809**	0.5592**		
	VOL	0.9151**	0.5829**	0.9317**	
	PS [†]	0.7526**	0.5253**	0.9399**	0.9191**
R10_30	DD	0.5920**			
	LG	0.6549**	0.3215 ^{NS}		
	VOL	0.8745**	0.6790**	0.8601**	
	PS [†]	0.8316**	0.6308**	0.8488**	0.9650**
Rm10	DD	0.3295 ^{NS}			
	LG	-0.0577 ^{NS}	-0.4815**		
	VOL	0.3923 ^{NS}	0.1064 ^{NS}	0.7672**	
	PS [†]	0.2277 ^{NS}	0.1794 ^{NS}	0.6978**	0.9148**

†: variable dependiente; PRPL: Parte aérea de la planta; VAR: variable;
DPA: diámetro proximal de la parte aérea (cm); DDA: diámetro distal de la parte aérea (cm);
PS: peso seco de la parte aérea (g); LG: longitud de la parte aérea del tipo de rama (g);
VOL: volumen en fresco de la parte aérea usando la fórmula de un cono truncado (cm³);
Rm30, RM10_30 y RM10: ramas mayores de 30 centímetros, entre 10 y 30 centímetros y menores de 10 centímetros de largo, respectivamente.
^{NS}, **: no significativo y altamente significativo a una $P \leq 0.01$, respectivamente.

En la elección de los modelos se consideraron también aquellos con pocos componentes, y de fácil manejo de las variables en el campo. El modelo matemático elegido para la estimación del área de la lámina de la hoja se obtuvo un valor de la $R^2 = 0.9985$, al parecer tiene mayor precisión respecto a los modelos utilizados por Parra *et al.*, (2004) para estimar área

foliar (R^2 entre 0.58 - 0.94) en manzanos cv. Golden Delicious sobre portainjerto M_7, considerando como variable regresora el tiempo (días julianos), en condiciones de manejo de humedad y nutrición.

Cuadro 3. Modelos de regresión elegidos para estimar área foliar y pesos secos de partes aéreas en manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7, para el segundo año de crecimiento.

Modelo para estimación	R^2	CME	Cp	Ji_c^2 ^Y	Ji_{tab}^2 ^X
ALH = (-3.24140)(AL) + 0.67616(AL) ² + 1.63287(AL)(ILH)	0.9981	0.89673	2.329	8.614	$Ji_{217,0.01}^2$ = 267.7 ^w
PSLH= 0.02699(AFE) + 0.00021917(AFE) ²	0.9922	0.00388	2.000	1.3498	$Ji_{218,0.01}^2=268.8$
PSP = 0.00384(AFE) + (- 0.04432(ILH) + 0.02291(ILH) ²	0.9741	0.000165	3.000	0.6973	$Ji_{217,0.01}^2=267.7$
PSPA = 0.66882(VOL)	0.9802	68.1694	1.000	18.97	$Ji_{16,0.01}^2=32.0$
PST = 0.55902(VOL)	0.9718	125.955	1.000	28.88	$Ji_{16,0.01}^2=32.0$
ln(PSRm30) = 0.77462[ln(VOL)]	0.9933	0.03776	1.000	1.0564	$Ji_{70,0.01}^2=100.4$
PSRm10_30= 0.49349(VOL)	0.9856	0.09955	1.000	1.323	$Ji_{40,0.01}^2=63.7$
PSRm10= 0.57297(VOL)	0.9693	0.00813	1.000	0.523	$Ji_{24,0.01}^2=43.0$

^Z modelos que estiman al área de la hoja (ALH) y a los pesos secos, se usó el procedimiento "Stepwise"; ^Y estadístico chi-cuadrada; ^X valor tabular de chi-cuadrada.

^w Se usó la fórmula $(0.5)[(2m-1)^{0.5} + 2.33]^2$ donde m= a los grados de libertad indicados en la Ji_{tab}^2 , la cual se obtuvo de Kreyszig, E. 1973. Introducción a la Estadística Matemática. Ed. Limusa. Pp 488.

R^2 : coeficiente de determinación; CME: cuadrado medio del error; Cp: estadístico de Mallows.

PSLH: peso seco (g) de la lámina de la hoja; PSP: peso seco (g) de pecíolo;

PSPA: peso seco (g) de tronco; PST: peso seco (g) del tallo principal;

PSRm30: peso seco (g) de ramas mayores de 30 cm de largo; PSRm10_30: peso seco (g) de ramas entre 30 y 10 cm de largo; PSRm10: peso seco (g) de ramas menores de 10 cm de largo.

Uno de los mejores modelos para estimar el peso seco de la lámina de la hoja es aquel que esta en función del área foliar estimada, ya que los parámetros estadísticos $R^2 = 0.9922$ y Ji-cuadrada (cuadro 3) permiten considerar a dicho modelo como adecuado para la estimación de dicha variable dependiente.

Parte de la biomasa foliar se encuentra en el pecíolo de la hoja, por lo que debe considerarse como parte del total del peso seco de la hoja. Uno de los modelos que mejor estiman el peso seco de la hoja está en función del área foliar estimada y del índice de la lámina de la hoja (cuadro 3), cuya R^2 es 0.9741. La selección de este modelo, no implica la necesidad de medir ni la longitud ni el diámetro de la parte media del pecíolo, como sí sucedió con modelos que no fueron elegidos en este estudio.

Los modelos elegidos para la estimación de los pesos secos (biomasa) de troncos, tallos y ramas (cuadro 3), están asociados con el volumen en fresco estimado con la fórmula de un cono truncado, como sucedió en duraznero (Espinoza *et al.*, 1998). Parra *et al.* (2004), utilizando la función logarítmica de la tasa relativa de crecimiento, generó modelos para el cálculo de peso seco total, obteniendo para manzano cv. Golden Delicious sobre el portainjerto M_7, valores de R^2 que oscilan entre 0.42 y 0.94.

2.6 CONCLUSIONES

Con los modelos electos se puede estimar el área de la lámina de la hoja y la biomasa aérea de hojas, pecíolo, troncos, tallos y ramas en manzano “Agua Nueva II” sobre EMLA7, con una precisión relativamente alta de R^2 (0.9690 - 0.9985), valores bajos en sus cuadrados medios del error, valores de coeficientes de Mallows igual o cercanos al número de componentes del modelo (C_p entre 1 y 3) y no se rechazaron las hipótesis nula (H_0) en cada uno de los modelos que indica que el modelo es adecuado para estimar las variables “dependientes”, y sólo se utilizaron siete variables, dos de las cuales se generan con variables originales medidas directamente en la planta.

2.7 LITERATURA CITADA

ANÓNIMO. 2005. Estadísticas agropecuarias 1980-2004. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON). Servicio de Información Estadística Agroalimentaria (SIAP). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). D. F., México.

CALDERON A., E. 1983. La Poda de los Árboles Frutales. LIMUSA S.A. México. 549 p.

DRAPPER, N. D., H. SMITH. 1981. Applied Regression Analysis. John Wiley & Son. New York. U.S.A. 707 p.

ESPINOZA E., J. R., J. ORTIZ C., Ma. del C. MENDOZA C., J. A. VILLASEÑOR A., A. VILLEGAS M., C. PEÑA V., G. ALMAGUER V. 1998. Modelos de

regresión para la estimación del peso fresco y seco de ramas de duraznero (*Prunus persica* L. Batsch). Revista Chapingo: Serie Horticultura 4(2):125-131.

GÁRATE, A., I. BONILLA. 2000. Nutrición mineral y producción vegetal, pp 113-130. In: Fundamentos de Fisiología Vegetal. AZCON-BIETO, J; TALÓN, M. (coordinadores). Edicions Universitat de Barcelona y McGraw-Hill Interamericana. Madrid, España.

MARTÍNEZ G., A., A. CASTILLO M. 1987. Teoría de la Regresión con Aplicaciones Agronómicas. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Estado de México, México. 490 p.

MYERS, R. H. 1990. Classical and modern regression with applications. PWS-Kent Publishing Co. U S A. 488 p.

PARRA Q., R. A., E. BECERRIL R., A. CASTILLO M. 2004. Crecimiento de manzano [*Malus sylvestris* (L.) Mill. var. *domestica* (Borkh.) Mansf.] cv. Golden Delicious afectado por humedad del suelo, nutrición y portainjerto. Rev. Fitotecnia Mex. 27(4): 339 - 348.

SCHEAFFER, R. L., J. T. McCLAVE. 1993. Probabilidad y Estadística para Ingeniería. Grupo Editorial Iberoamericana. D. F., México, 683 p.

STEEL, R. G. D, J. H. TORRIE. 1960. Principles and Procedures of Statistics. Mc-Graw Hill Co. Inc. New York, USA. 481 p.

THORNLEY, J. H. M. 1976. Mathematical Models in Plant Physiology. Academic Press. Salisbury, England. 318 p.

III. BIOMASA ESTIMADA EN ÁRBOLES JÓVENES DE MANZANO EN MACETAS, CON VERMICOMPOSTA PRODUCIDA *in situ*

ESTIMATED BIOMASS IN YOUNG APPLE TREES, WHICH WERE GROWING ON CONTAINERS WITH *IN SITU* PRODUCED VERMICOMPOST

Arturo Curiel Rodríguez¹ y José Refugio Espinoza Espinoza²

3.1 RESUMEN

Técnicas alternativas como la producción frutícola-ornamental superintensiva en macetas, con enfoque orgánico para adaptarse a techos, patios azoteas y jardines, es lo que justifica la presente investigación, cuyo objetivo es caracterizar la producción de biomasa en los primeros dos ciclos de crecimiento de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7 en contenedores. Se estudiaron los tratamientos siguientes: fertilizante químico con 150 – 75 – 35 – 35 gramos de N – P₂O₅ – K₂O – Mg •planta⁻¹•año⁻¹ (T1), y abono con vermicomposta de *Eisenia foetida* producida *in situ* (T2); cada uno de ellos en dos tamaños de maceta 46.2 x 35.0 x 80.0 cm (maceta L), y 48.4 x 43.0 x 42.0 cm (maceta C), para ambas, las medidas fueron para diámetro superior x diámetro inferior x altura, respectivamente. Se evaluaron los pesos secos de las siguientes partes de la planta: foliar, portainjerto, tallo, ramas y raíz. Los resultados sobresalientes fueron: en maceta tipo C se puede obtener la misma cantidad de biomasa si se aplica T1 o T2, siempre que en el sustrato no se acumulen altas concentraciones de sales. La biomasa de las partes de la planta en general se acumulan en las proporciones aproximadas siguientes: 10 % en hojas, 13 % en portainjerto, 12 % en tallo y 15 % en ramas, y 50 % en raíz. Se obtuvieron modelos empíricos para estimar biomasa de órganos de la planta en función de los días acumulados a partir de la brotación.

PALABRAS CLAVE: cv. Agua Nueva II, *Eisenia foetida*, agricultura orgánica.

3.2 ABSTRACT

Alternative techniques in ornamental and fruiting super-intensive orchard as organic production in containers are searching for to produce apple fruit on roofs, terraced roofs, patios and gardens is motive of this paper. The objective was to characterize the production of biomass in cv. Agua Nueva II apple trees on EMLA7 rootstock in the first and second year of growing on containers. During this time it was evaluated the biomass production in different parts of the apple plant. Two factors (nutrients source and container size) with two levels each one were studied. As T1, it was used chemical fertilizer with 150 – 75 – 35 – 35 grams of N – P₂O₅ – K₂O – Mg •plant⁻¹•year⁻¹; as T2, it was used vermicompost of *Eisenia foetida* produced *in situ*; as type L container, it was used a size container of 46.2 x 35.0 x 80.0 cm and as type C, it was used a size container of 48.4 x 43.0 x 42.0 (values are in centimeters and correspond to inferior diameter, superior diameter and height). The dry weight of shoot and root was estimated in grams. Outstanding results were: it is possible to obtain on type C container the same quantity of biomass with T1 and T2. In general, organ biomass in plants is distributed as: 10 % leaves, 13 % rootstock, 12 % stem, 15 % branches and 50 % roots. For all parts of plant, empirical models were obtained to estimate biomass; for this, accumulated days since sprouting as independent variable in the models, was used.

KEY WORDS: cv. Agua Nueva II, *Eisenia foetida*, organic agriculture.

¹ Tesista

² Director

3.3 INTRODUCCIÓN

La manzana es económicamente redituable en zonas productivas templadas de varios países (Lal Kaushal y Sharma, 1995). Los promedios de rendimientos a nivel mundial para el 2002 fueron: China con $8.2 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$, E.U.A con $22.5 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ y Europa con $10.8 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ para (Anónimo, 2003). Para el año 2002 Anónimo (2005) reportó para México una superficie cosechada de 59,095 hectáreas, un volumen de producción de 575,906 toneladas y un rendimiento promedio nacional de $10 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$. Comparativamente con México, China cultivó 42 veces más superficie y produjo 35.5 veces más tonelada de manzana, aunque nuestro país es 18% más productivo, pero éste, produce siete veces menos que E.U.A.

El volumen de producción de manzana que se está importando anualmente puede ser cubierta cultivando con técnicas alternativas como la producción de frutales en contenedores, la cual es posible si cada habitante produjera entre dos y cinco kilogramo por árbol en cada contenedor (maceta). Áreas rurales y urbanas como bordos, camellones, jardines, patios y azoteas pueden aprovecharse, materiales para producir abonos como residuos orgánicos de varias fuentes y lugares; agua potable, de lluvia y reciclable.

Árboles de manzana en macetas es un sistema de producción superintensiva, Erez (1990) ha considerado factible para contrarrestar problemas de suelo (o la falta de éste) y de clima, y hacer uso eficiente del espacio, agua, nutrimentos,

control de plagas, enfermedades y malezas. Myers *et al.* (1992) plantaron manzano Golden Delicious injertado sobre el portainjerto MM.111, en contenedores (cepas) con plástico en suelo de 20, 43 y 100 litros, manejaron sus árboles en poda en formación “Líder Central”, encontrando que la restricción radical por efecto del contenedor reduce el volumen de la biomasa de la parte aérea, aunque el número de grupos de flores y de frutos por rama al tercer año de crecimiento de los árboles, se incrementaron linealmente al disminuir el volumen del contenedor, en relación con el manejo convencional en suelo. Hsu *et al.* (1988), a los dos y medio años de cultivar *Syzygium samarangense* encontraron que la biomasa foliar y radical está correlacionada positivamente con el volumen del contenedor, y cualquier tamaño de contenedor con un volumen de sustrato por abajo de 730 litros es limitante para la producción de esta especie; además, la reducción de la raíz por efecto del contenedor es un medio para producir plantas pequeñas para huertos superintensivos y plantas de ornato.

En la producción frutícola orgánica se aprovecha la descomposición y mineralización de residuos orgánicos como estiércoles y esquilmos en la nutrición de los cultivos (Lind, *et al.*, 2003).

El humus es un material que mejora las propiedades físicas y químicas del suelo y de los sustratos, tales como: la capacidad de intercambio catiónico (como reservorio de nutrientes), la estructura del suelo, la retención hídrica, la

conductividad hidráulica, el drenaje y la porosidad (Labrador, 2001). El estiércol de la lombriz de tierra o “lombriabono” o “humus de lombriz” contiene altas poblaciones de microorganismos que mineralizan relativamente rápido (seis meses) la materia orgánica del suelo o sustrato liberando paulatinamente nutrimentos que las plantas utilizan para su crecimiento y desarrollo (Daly y Stewart, 1999).

El manejo de cubiertas orgánicas es básico en la producción orgánica de los frutales, Ibáñez *et al.* (2000), experimentaron con pastos como cubiertas orgánicas y manejando el cultivo con diversos tipos de riego en manzana “Agua Nueva II”, encontraron incrementos en la longitud y densidad radical que estuvieron correlacionadas con mayor y mejor absorción nutrimental y mayor producción de biomasa.

El contenido de materia seca, particularmente la biomasa aérea en los primeros años de crecimiento de las plantas, es uno de los indicadores de los procesos de intensidad del crecimiento y desarrollo de las plantas; así, la biomasa está directamente relacionada con la producción y distribución de los carbohidratos en los diferentes órganos de la planta (Zamski y Schaffer, 1996).

La producción de biomasa en frutales que crecen en contenedores con sustratos que contengan residuos orgánicos deben tener cierta cantidad y balance de nutrimentos como el nitrógeno (N) y fósforo (P), que son esenciales

para los nuevos crecimientos en árboles frutales deciduos, Raese (1985), al determinar el efecto de diferentes proporciones y formas de N y P sobre el crecimiento de árboles de manzano plantados en macetas de plástico negras (con 2.7 kg de sustrato), encontró que 12 gramos por árbol de $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (1.32 y 2.64 $\text{g}\cdot\text{árbol}^{-1}$ de N y P) produjeron más hojas por árbol y menos hojas con tintes púrpuras en sus márgenes, y más crecimiento de brotes de 26.3 centímetros que para el resto de tratamientos evaluados. Neilsen *et al.* (2003), experimentaron con polipropileno negro (PB), paja de alfalfa (PA) y papel de oficina picado (PO) como acolchados, estas dos últimas cubiertas se aplicaron con 15 kg por árbol, y lodos (en seco) de aguas residuales Vancouver (BV) y Kelowna (BK), Canadá, (con 45 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ de biosólidos de ambos lugares), aplicados en un huerto de manzana cv. "Spartan" sobre M.9 de alta densidad y fertigados, obteniendo que con papel de oficina picado, sea con o sin biosólidos, se obtuvo 80% más de rendimiento que el tratamiento testigo sin aplicación y, la aplicación de biosólidos incrementó el P, Zn y Cu de la hoja; así como el uso de acolchado con alfalfa incrementó el K de la hoja.

Como parte del programa de investigación para la conversión productiva de frutales, se ha considerado la producción de manzana en contenedores, con subproductos orgánicos del campo y la ciudad para producir enmiendas orgánicas, generando alternativas de producción socialmente viable. Dentro de esta línea de investigación, se llevó a cabo la siguiente investigación con el objetivo de caracterizar la producción de biomasa aérea y radical de árboles de

manzano “Agua Nueva II” de uno y dos años de crecimiento, en dos diferentes tamaños de contenedores de plástico, en cuyo sustrato (mezcla de tezontle, tierra de cultivo con composta) se abonó con estiércol de lombriz (*Eisenia foetida* L.) *in situ*.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en Chapingo, Estado de México; sitio ubicado a los 19° 29' Latitud Norte y 98° 53' Longitud oeste, y una altitud de 2250 metros sobre el nivel del mar. El sitio posee un clima cuya fórmula C(Wo)(W)b(i')g indica clima templado subhúmedo, el más seco de los de este tipo, con lluvias en verano y una precipitación pluvial anual de 644 mm; con poca oscilación en las temperaturas medias mensuales, y con una temperatura media anual de 15° $\pm$ 3° C; con verano fresco y largo; el mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano, con presencia de heladas tempranas a finales del mes de septiembre y tardías en el mes de abril (García, 1981).

El experimento comprendió los primeros dos ciclos de crecimiento de las plantas de manzano; desde mediados de mayo de año 2004 hasta inicio de enero del año 2006. Los materiales biológicos utilizados fueron: el cv. De bajo requerimiento de frío “Agua Nueva II” sobre el portainjerto de manzano EMLA7. Las plantas crecieron en dos tipos de contenedores de plástico cuyas medidas: diámetro superior, diámetro de la base y altura, en ese orden, fueron,

respectivamente, 46.2 x 35 x 80 centímetros para contenedor alto, y 48.4 x 43 x 42 centímetros para contenedor de tamaño bajo. En el fondo de cada contenedor, por su parte lateral, se abrió un orificio de media pulgada al que se conectó un tubo de plástico de doce centímetros para drenar lixiviados; en la unión de éste con el contenedor se aplicó un sellador comercial. Como filtro físico de lixiviados se colocaron en cada contenedor aproximadamente 20 litros de tezontle rojo con tamaño de partícula entre 0.5-1.0 cm; sobre esta capa se añadieron 5 litros de tezontle rojo con tamaño de partícula entre 0.25-0.5 cm. Sobre esta capa se aplicaron 30 litros de sustrato (base seca) cuya mezcla inicial estuvo elaborada con 40.8 % de tierra arcillo-arenosa, 40.8 % de tezontle rojo de tamaño menores a 0.5 cm, mas 18.4 % de estiércol de lombriz o “lombriabono” de un año en proceso de maduración, generado con pajas de maíz y frijol, estiércol caballar y alfalfa fresca. Adicionalmente en el 2004 se elaboró una composta con paja seca de maíz, alfalfa en fresco, estiércol de bovino y tierra archillo-arenosa en las proporciones 4:2:10.5:0.5, que sirvió durante el ciclo para alimentar a la lombriz que se desarrolló en cada contenedor de uno de los tratamientos. Para el segundo ciclo de crecimiento las compostas que se utilizaron para alimentar a las lombrices que producirían estiércol *in situ* para fertilización de las plantas se produjo cada dos meses sin estiércol y se utilizó exclusivamente para la elaboración de composta la proporción de 4 : 2 : 1 de paja seca de maíz, alfalfa verde y composta elaborada de dos meses de maduración, respectivamente.

Los factores de estudio fueron dos tamaños de contenedor (indicados anteriormente) y dos tipos de fertilización: una mezcla con fertilizantes químicos (cuadro 1), y estiércol de lombriz de *Eisenia Foetida* L. producido en *in situ* o conocido como “lombriabono”.

Cuadro 1. Cantidad de productos químicos utilizados para la formulación del tratamiento de fertilizante químico (T1) en dos ciclos de crecimiento de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7.

Material	Cantidades (g)•planta ⁻¹ •año ⁻¹	
fertilizantes	2004	2005
UREA	153.54	153.54
Ca ₃ (PO ₄) ₂	111.5	167.25
K(NO ₃)	227.3	85.23
Ca(NO ₃) ₂	-	489.5
Mg(SO ₄)	238.1	238.1
Mn(SO ₄)	135.3	-
Fe(SO ₄)	103.4	-
Cu(SO ₄)	79.2	-
Zn(SO ₄)	137.5	-

Para producir lombriabono (T2), se utilizó siempre 4 litros de composta por mes⁻¹•contenedor, inoculando en el primer mes de cada ciclo con 100 gramos de lombriz de tierra de la especie *Eisenia Foetida* L. En diciembre 2004, y enero y febrero 2005, en los contenedores con el T2, se extrajo toda el lombriabono producido en el ciclo de crecimiento junto con la población de lombrices para poner a las raíces de las plantas en estrés y éstas pudieran entrar en reposo, además se aplicó una defoliación manual en la primera semana de enero del 2005 .

El experimento se condujo en un diseño experimental bloques al azar con 5 repeticiones para cada combinación de tipo de contenedor y tratamiento de fertilización.

Con información que se obtuvo en el primer artículo de este documento (páginas de la 5 a la 22), se generaron modelos matemáticos para estimar variables de biomasa aérea y área de foliar (cuadro 2).

Cuadro 2. Modelos obtenidos de regresión lineal múltiple que sirvieron para la estimación de la biomasa aérea.

Modelo utilizado para estimación de biomasa
$AFE = -3.24140(AL) + 0.67616(AL)^2 + 1.63287(AL)(LL/AL).$
$PSL = 0.02699(AFE) + 0.00021917(AFE)^2.$
$PSP = 0.00384(AFE) - 0.04432\left(\frac{LL}{AL}\right) + 0.02291\left(\frac{LL}{AL}\right)^2.$
$PSPA = 0.66882(Vol)$
$PST = 0.55902(Vol)$
$^{\dagger}PSRm30 = (Vol)^{0.77462}$
$^{\dagger}PSRm10_30 = 0.49349(Vol)$
$^{\dagger}PSRm10 = 0.57297(Vol)$

LL: largo de la lámina de la hoja medido a lo largo de la nervadura central, en cm; **AL:** ancho máximo de la lámina de la hoja medido en sentido perpendicular al largo de la lámina de la hoja en su parte más ancha, en cm; **AFE:** área foliar estimada, cm²; **PSP:** peso seco del pecíolo (g); **PSL:** peso seco de la lámina de la hoja (g); **Vol:** volumen en fresco utilizando fórmula de cono truncado; **PSPA:** peso seco estimado de tronco (g); **PST:** peso seco del tallo principal (g); **PSRm30:** peso seco de ramas mayores de 30 centímetros de longitud (g); **PSRM10_30:** peso seco de ramas entre 10 y 30 centímetros de longitud (g); y **PSRm10:** peso seco de ramas menores de 10 centímetros de longitud (g).

[†] determinados con base en la clasificación de Calderón (1983).

Como “tronco” se consideró al fragmento de la planta pegada a la parte radical compuesta por el portainjerto más el área de unión del injerto; como “tallo principal” se consideró al fragmento adherido por su parte proximal al tronco; y como “rama” se consideró a cualquier tallo que no entra en alguno de los dos

tipos de estructuras anteriormente mencionadas y tenían un año de edad, y no se les había aplicado la poda. Tanto a troncos como a tallos y ramas se les midieron los diámetros en ambos extremos y sus longitudes. El diámetro proximal del tronco fue un promedio entre la parte más angosta y la más ancha, a un centímetro por encima de la corona; el diámetro distal del tronco fue un promedio de la parte más angosta y más ancha, a un centímetro por debajo de la inserción con el tallo principal. El diámetro proximal del tallo se midió a un centímetro por arriba del tronco, por su lado adaxial (arriba); mientras que el diámetro distal del tallo fue medido a un centímetro por debajo de entrenudo distal. El diámetro proximal de las ramas fue medido a un centímetro por arriba del extremo adaxial (arriba) donde estuvo unido con el tallo principal o con alguna rama; mientras que el diámetro distal fue medido en el extremo próximo a la yema apical, considerando la parte más delgada del entrenudo que se encuentra por abajo de ésta. La longitud del tronco fue medida desde la corona hasta su extremo distal; la longitud del tallo fue medida desde el punto de unión con el tronco por el lado adaxial (arriba) hasta su extremo distal; y la longitud de ramas fue medida desde el extremo proximal de la rama en su lado adaxial (arriba), hasta la punta de la yema apical. Con la longitud y los diámetros de troncos, tallos y ramas, y utilizando la fórmula de un cono truncado, se calculó el volumen en fresco.

Para el análisis de los datos se hizo un análisis de covarianza, cuyas covariables fueron: el peso fresco de planta antes de la plantación para el

primer ciclo de crecimiento y de peso seco estimado total después de la poda para el segundo ciclo de crecimiento. Se hizo análisis de varianza para un diseño de bloques al azar como experimento factorial y como tratamientos. Además se hicieron comparaciones de medias múltiples Tukey (Steel y Torrie, 1960). Se hicieron análisis de regresión múltiple para la obtención de modelos que estimasen la biomasa de las diferentes partes de la planta, cuya variable independiente fue días acumulados a partir de la brotación. Para cualquier análisis estadístico se utilizó un nivel de significancia de la prueba $P \leq 0.05$.

Con base en el análisis de sales al final del primer ciclo de crecimiento, al inicio del segundo ciclo hubo necesidad de utilizar lavados de sustratos y aplicación de ácido fosfórico vía riego para bajar el pH del agua de riego (pH=9.6) y del sustrato de cada maceta, además de haberse aplicado a éste último, 100 g de azufre por maceta.

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1 Indicadores de la alcalinidad y la salinidad en los contenedores en la producción de biomasa

La calidad del agua de riego fue baja (pH mayores de 9.0) en el primer ciclo de crecimiento y tuvo que modificarse con ácido fosfórico en el segundo ciclo. En el primer ciclo de crecimiento el pH promedio del sustrato en las unidades experimentales con el tratamiento de fertilización química (T1) se mantuvo de

mediana y moderadamente ácido a neutro; en cambio, con el lombriabono *in situ* (T2) el pH promedio se mantuvo medianamente alcalina (cuadro 3).

Cuadro 3. PH y conductividad eléctrica (C.E.) de lixiviados y sustratos en contenedores tipos L y C, en los primeros dos años de crecimiento de árboles de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7, cuando se aplica fertilizante (T1) y vermicomposta (T2).

Enmienda pectínica (T2)									
Contenedor	Trat	pH		C.E.		pH		C.E.	
		lixiviados [†]		lixiviados [¶]		sustrato [†]		Sustrato [¶]	
		media	Std	media	Std	media	Std	media	Std
-----Primer ciclo de crecimiento (2004)-----									
Largo [§]	T1	6.53	±0.098	3.53	±0.272	5.74 ^{††}	±0.089	1.19 ^{††}	±0.311
						6.5 ^{¶¶}	±0.566	0.60 ^{¶¶}	±0.148
	T2	7.55	±0.072	3.80	±0.157	7.5	±0.158	0.96	±0.224
						8.0	±0.050	1.30	±0.138
Corto ^Φ	T1	6.44	±0.132	3.25	±0.268	6.26	±0.288	0.98	±0.329
						6.4	±0.495	1.00	±0.060
	T2	7.66	±0.208	3.49	±0.108	7.42	±0.110	0.80	±0.106
						8.0	±0.000	1.30	±0.247
-----Segundo ciclo de crecimiento (2005)-----									
Largo [§]	T1	6.26	±0.059	6.05	±0.226	6.44 ^{¶¶}	±0.241	0.61 ^{¶¶}	±0.134
	T2	7.73	±0.028	4.74	±0.166	6.56	±0.195	2.50	±0.248
Corto ^Φ	T1	6.00	±0.079	6.60	±0.249	6.32	±0.179	0.91	±0.145
	T2	7.74	±0.033	4.82	±0.162	6.66	±0.251	2.75	±0.934

[†]: medición con un potenciómetro portátil HI 9813 HANNA Instruments.

[¶]: Medido en $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ con el puente de conductividad portátil HI 9813 HANNA instruments.

Factor de conversión es $1 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} = [0.56 - 0.72] \text{ ppm}$.

[§]: con 46.2 cm de diámetros superior, 35 de diámetro inferior y 80 cms de altura.

^Φ: con 48.4 cm de diámetros superior, 43 de diámetro inferior y 42 cms de altura.

^{††}: medidos en el 2004 el 25 de agosto después de la segunda fertilización química.

^{¶¶}: medidos al final del primer y segundo ciclos de crecimiento.

El pH y la concentración de sales de la composta utilizada para alimentar la lombriz *in situ*, al medirse en la pila donde se almacenó la composta a tres profundidades 10, 30 y 50 cm, se obtuvieron los valores siguientes de pH's: 7.4, 8.5 y 8.6; y la C.E. 5.78, 3.94 y 5.30, para cada una de esas profundidades.

El tratamiento con lombriabono tuvo efecto desfavorable para el crecimiento de

las plantas por deficiencias de absorción de algunos nutrimentos como el Mg, Fe y Zn. Los microorganismos que mineralizan el humus o “lombriabono”, la falta de oxigenación por exceso de humedad y la acumulación de sales creó un ambiente desfavorable para el adecuado crecimiento de las raíces, limitando la liberación de nutrimentos e inhibiendo la absorción de microelementos como el hierro, el calcio y el magnesio (Bohn *et al.*, 1993; Santamaría- Romero *et al.*, 2001).

La aplicación del ácido fosfórico en el agua de riego, los lavados de sustratos y aplicación de compostas elaborada sin estiércol de bovino en el segundo ciclo de crecimiento permitieron reducir valores de pH ligeramente ácido y mantener las sales en el T2 en un punto crítico entre exceso y toxicidad (cuadro 3). Altos niveles de sales en el sustrato pueden afectar la composición y el crecimiento reduciendo los niveles de N y K en las hojas, daños severos en el aparato fotosintético por su disminución y caída (Benton *et al.*, 1991).

El en primer ciclo de crecimiento se encontró exceso de carbonatos y cloruros para el tratamiento con “lombriabono” (T2) , no así para el tratamiento con fertilizante químico (T1) que estuvo en el rango de satisfactorio (Cuadro 4). En el segundo ciclo de crecimiento hubo mayor presencia de bicarbonatos y menor concentración de cloruros respecto al primer ciclo (Cuadro 4). La acumulación de cloruros como indicador de fuerte presencia de sales y los altos contenidos de bicarbonato en el sustrato compiten con la absorción de nitratos creando deficiencias de nitrógeno (Pfeffer, 1962).

Cuadro 4. Carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) y cloruros (Cl^-) de una muestra compuesta de lixiviados y sustrato en la producción de biomasa, en contenedores tipo L y C, por dos años de crecimiento de árboles de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7, cuando se aplicó fertilizante (T1) y vermicomposta (T2).

Material y condición	Contenedor	Trat	CO ₃ ⁻² (mmol•L ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ (mmol•L ⁻¹)	Cloruros (Cl ⁻) (mmol•L ⁻¹)
Primer ciclo de crecimiento (2004)					
Sustrato al final	Largo [†]	T1	0	3.79	5
		T2	9.096	1.516	11.5
	Corto [¶]	T1	0	1.516	4
		T2	4.548	2.274	13.75
		T1_S/P	0	3.79	5
		T2_S/P	9.096	2.274	10
		composta	0	0	8.75
Segundo ciclo de crecimiento (2005)					
Sustrato Al final	Largo [†]	T1	0	5.064	6.25
		T2	0	10.761	11.125
	Corto [¶]	T1	0	3.165	7.75
		T2	0	4.431	9.5
		T1SP	0	10.761	10
		T2SP	0	4.431	7.5
		aqua	pileta B5	0	3.798

[†]: con 46.2 cm de diámetros superior, 35 de diámetro inferior y 80 cms de altura.

[¶]: con 48.4 cm de diámetros superior, 43 de diámetro inferior y 42 cms de altura.

T1_S/P y T2_S/P indican la aplicación de los tratamientos T1 y T2 al sustrato sin plantas.

3.5.2 Tipo de contenedor y fertilizante en la producción de biomasa.

La biomasa foliar estimada en el primer ciclo de crecimiento se vio mermada por el efecto de las sales (cuadro 5) en el tratamiento de lombriabono (T2) que se fueron acumulando en el sustrato y pesar de que hubo lavados por lixiviación cuando hubo exceso de lluvia y del riego (cuadro 3).

Para el segundo año de crecimiento, la aplicación del azufre y los lavados periódicos vía riegos con ácido fosfórico permitió bajar los valores del pH de 9.6

a 4.5. Esta acción permitió drenar mayor cantidad de sales (Cuadro 3); aún así, a partir de septiembre, se observó efectos de daños por sales al follaje que fue acentuándose hasta iniciar una defoliación excesiva e incluso total en el mes de octubre (cuadro 5).

Cuadro 5. Comparación de promedios para peso seco estimado de follaje a lo largo de los primeros dos ciclos de crecimiento en manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7 creciendo en dos tamaños de contenedores y dos tipos de fertilizaciones.

fecha [†]	Contenedor largo [¶]		Contenedor corto [§]		DMS(H) ^Φ
	T1 ^{††}	T2 ^{¶¶}	T1	T2	
-----2004-----					
F1	7.29a ^{§§}	0.70b	5.96ab	3.35ab	5.50
F2	8.85a	1.89b	6.68ab	6.39ab	6.08
F3	26.65a	9.04b	24.57a	21.01a	10.60
F4	27.24a	10.17b	27.31a	21.92a	10.78
F5	28.60a	13.03b	38.12a	28.90a	12.27
F6	32.23a	13.98b	36.93a	30.81a	13.85
F7	28.35a	10.66b	36.50a	27.44a	13.36
F8	15.79a	4.47b	13.71a	15.58a	9.05
-----2005-----					
F1	35.58a----	38.33a	46.70a	30.51a	39.25
F2	30.95a	44.85a	38.51a	32.33a	34.81
F3	32.94a	56.04a	30.75a	46.96a	35.91
F4	55.83a	39.17a	56.73a	45.99a	43.15
F5	50.91a	27.98a	52.38a	22.53a	36.47
F6	48.79a	4.64b	55.30a	3.92b	36.40
F7	22.69ab	0.419b	25.36a	0.898b	22.56

†: diferentes fechas de muestreo a lo largo de cada ciclo

¶: con 46.2 cm de diámetros superior, 35 de diámetro inferior y 80 cms de altura.

§: con 48.4 cm de diámetros superior, 43 de diámetro inferior y 42 cms de altura.

Φ: diferencia mínima significativa para la prueba de comparación de medias Tukey.

††: con fertilización química;

¶¶: con fertilización orgánica (lombriabono *in situ*).

§§: promedio con la misma letra (por año e hilera) indican no diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

El tipo de contenedor influyó en el daño de las sales al follaje cuando se utiliza vermicomposta (T2), fue más fuertemente en el primer ciclo que en el segundo; hubo mayor daño foliar en aquel más largo y angosto que el más corto y ancho (cuadro 5). Esto puede estar asociado con la posición de la concentración de pelos radicales en el volumen del sustrato confinado en el contenedor. Ansorena (1994) indica que el reducido volumen del medio de cultivo que disponen las raíces de plantas cultivada en contenedor, hace que la concentración de nutrimentos en la solución acuosa suela ser muy elevada respecto al cultivo en suelo; con esto, se incrementa el riesgo de niveles excesivos de sales disueltas principalmente de nitrato, potasio y cloruro de sodio. En los primeros tres meses de desarrollo del segundo ciclo de crecimiento en el tratamiento de fertilización química hubo exceso de nitrato de potasio que se acumuló en la solución acuosa, generando daños al follaje, además se redujo el pH del sustrato y en la hoja se presentó efectos de salinidad, cuyo resultado fue una defoliación repentina que fue corregida por lavado de sustrato y no aplicación posterior de KNO_3 . La acumulación de biomasa de tronco, tallo y ramas es sensible a los cambios que ocurran en el sustrato (nutrición y absorción de agua), en la raíz (crecimiento y daños), en las hojas (área foliar y eficiencia fotosintética), y por la estación de crecimiento (temperatura, humedad, granizadas), ya que a mayor cantidad de peso seco foliar mayores incrementos de parte aérea y radical (figura 1). En el primer ciclo de crecimiento (figura 1-A) la biomasa acumulada de la parte aérea es mayor que el de la parte radical y se invierte en el segundo ciclo de crecimiento

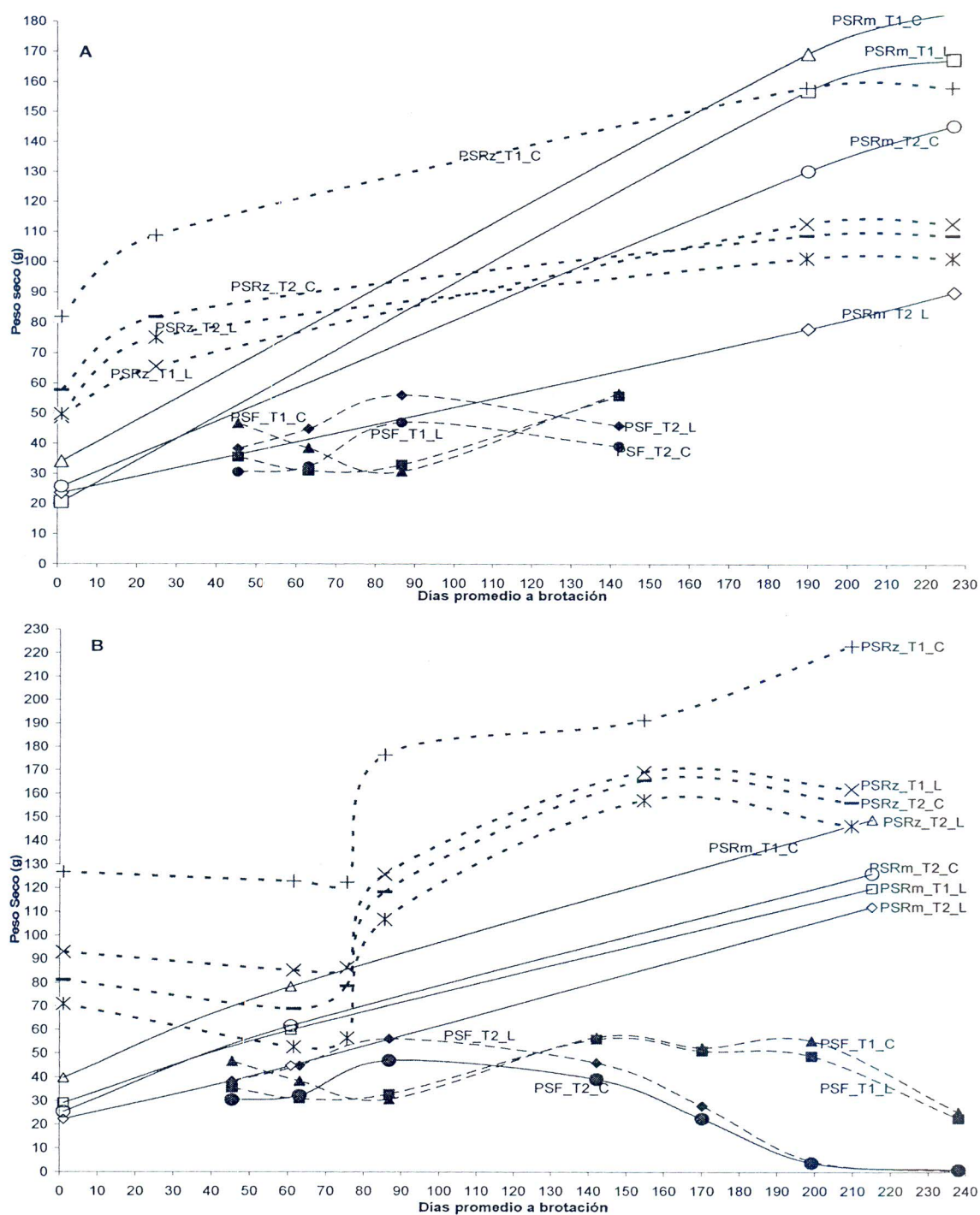


Figura 1. Peso seco estimado foliar (PSF), de sostén (PSRm) y de raíz (PSRz) en manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7 cuando se aplicó fertilizante (T1) y vermicomposta (T2), para el primer año de crecimiento (A) y para el segundo año (B), en contenedores tipo L y C.

(figura 1-B). Los órganos y tejidos aéreos que contienen mayor actividad de sus meristemos apicales para desarrollar crecimiento longitudinal y el meristemo lateral o cambium que produce mayor cantidad de xilema y floema, y por ende, mayor crecimiento lateral (Díaz, 2002) producirán mayor cantidad de biomasa.

En el primer año de crecimiento (figura 2-A), el único brote principal que se le dejó al injerto tuvo la mayor acumulación de biomasa, seguido jerárquicamente en orden descendente del peso seco del portainjerto, y del peso seco de ramas; en cambio, en el segundo año de crecimiento (figura 2-B), mayor acumulación de biomasa se obtuvo para peso seco de portainjerto, seguido de peso seco de tallo, y por último de peso seco de ramas. El portainjerto no tienen meristemo apical, sólo cambium, así, el peso seco está relacionado linealmente con el desarrollo radical (cuadro 6) en el segundo ciclo de crecimiento por el incremento en el cambium.

Cuadro 6. Modelo de regresión lineal simple que estima eficientemente al peso seco de raíz (PSRz) en manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7.

Modelos que estima a PSRz		R ²
PSRz = 2.12906(VolPt)	PSRz = 3.1833(PSEPt)	0.9618

VolPt : Volumen de portainjerto; PSEPt: Peso seco estimado de portainjerto.

R²: coeficiente de determinación.

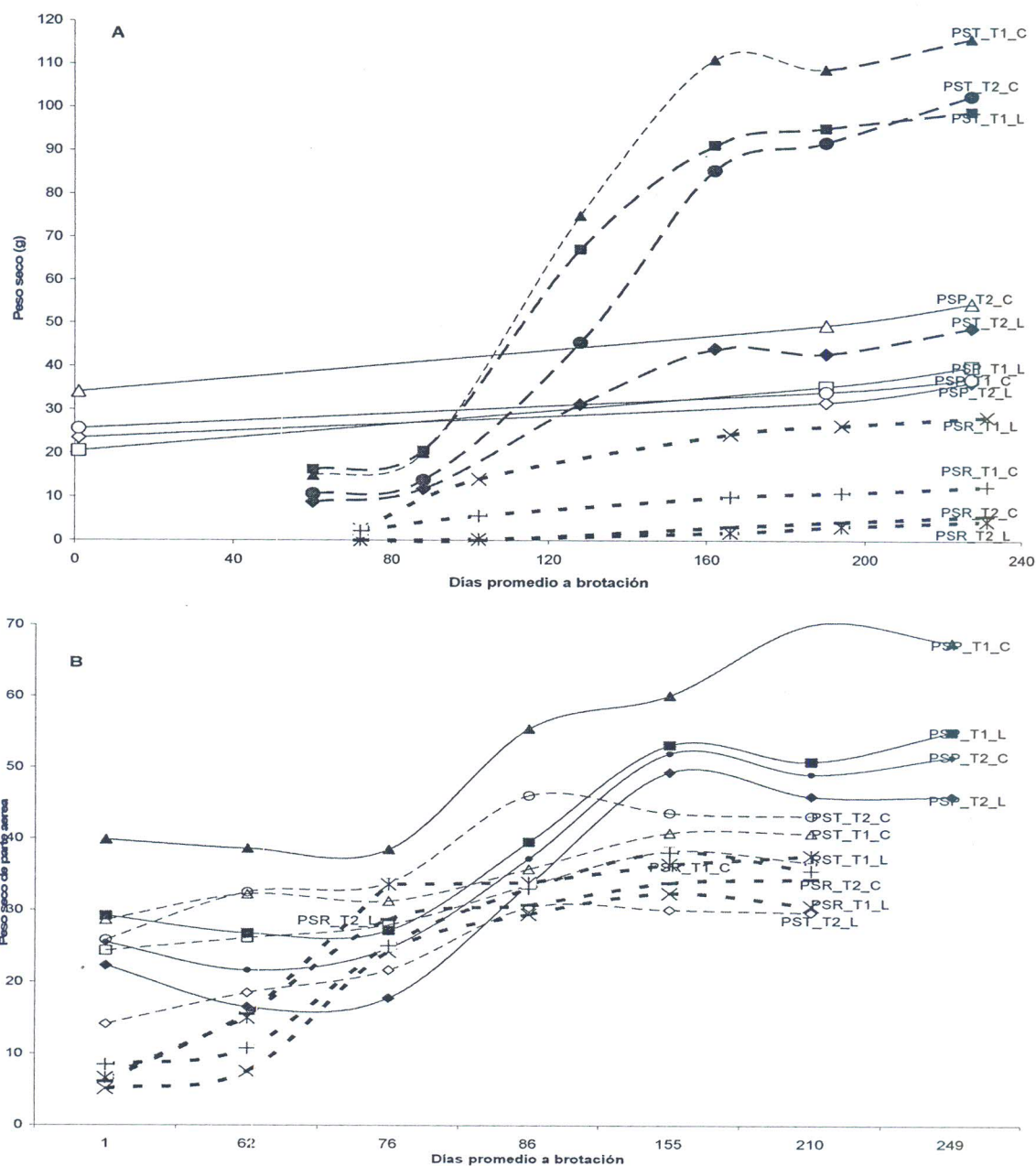


Figura 2. Peso seco estimado de partes aéreas de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7 en la que se midió el tallo donde inicia el área de enraizamiento del portainjerto hasta donde inicia el tallo o brote principal del injerto (PSP), el tallo del injerto (PST) y de las ramificaciones a partir del tallo de injerto (PSR), cuando se aplicó fertilizante (T1) y vermicompsota (T2), para el primer año de crecimiento (A) y para el segundo año (B), en contenedores tipo L y C.

La biomasa aérea estuvo por arriba del 50% excepto para el tratamiento con lombriabono en contenedor largo. En la relación biomasa aérea/radica, en el último periodo de crecimiento del primer ciclo se incrementó en general entre 2 y 4 % (cuadro 7). El daño de las sales al follaje y a la acumulación de la biomasa interaccionó negativamente más con el contenedor largo que con el contenedor corto en el tratamiento de “lombriabono” (T2), esto puede estar asociado con la distribución de los pelos radicales en el volumen del sustrato disperso en un volumen muy reducido, concentró más sales en la solución del sustrato (Ansorena, 1994).

En el segundo ciclo de crecimiento, tanto la poda al inicio del ciclo como por el efecto de exceso de nitrato de potasio en el primer trimestre de desarrollo y por pH y C.E. alto a lo largo del ciclo (cuadro 3) generaron defoliación y posterior rebrotes que modificaron a lo largo del ciclo las proporciones de biomasa (cuadro 6). Cuando las condiciones del sustrato se van alejando cada vez más del óptimo para la disponibilidad de agua y nutrimentos a la raíz, ésta no podrá proveerlos a las estructuras aéreas (incluso hormonas) y reducirá otras de sus funciones (Waisel *et al.*, 1996), cuyo impacto inicial es la reducción de la eficiencia fotosintética, y hormonal, por lo cual las relaciones fuentes demandas de dichas sustancias se modifican, y por ende, el desarrollo de la biomasa de cada uno de los órganos de la planta (Gil, 1999).

Cuadro 7. Porcentaje promedio en cada celda (valor a la izquierda) y desviación estándar (valor a la derecha) de los pesos secos estimados de Biomasa aéreas y de raíz de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7 para varios muestreos en dos ciclos de crecimiento por tratamiento.

crecimiento por tratamiento.					
fecha [†]	Parte de la planta	Contenedor largo [¶]		Contenedor corto [§]	
		T1 ^Φ	T2 ^{††}	T1	T2
-----2004-----					
F5	► Aérea	58.87±4.746	45.66±2.482	56.23±1.950	58.54±3.202
	Hoja	10.10±1.527	6.61±1.086	10.97±1.100	10.97±2.203
	Portainjerto	12.92±1.491	17.07±0.780	13.75±0.613	13.03±1.006
	Tallo	34.06±4.536	21.19±3.140	29.66±2.189	34.26±3.959
	Ramas	1.49±3.332	0.80±1.482	1.84±2.134	0.28±0.633
	► Radical	41.13±4.746	54.34±2.482	43.77±1.950	41.46±3.202
F6	► Aérea	60.95±2.871	49.82±3.236	57.76±1.684	60.85±3.328
	Hoja	11.18±1.764	6.57±1.870	10.35±0.967	11.09±2.642
	Portainjerto	13.91±2.025	18.76±1.575	14.63±0.827	13.30±0.387
	Tallo	34.19±3.370	23.50±3.338	30.86±1.376	36.10±4.066
	Ramas	1.67±3.743	0.98±1.942	1.91±1.904	0.35±0.775
	► Radical	39.05±2.871	50.18±3.236	42.24±1.684	39.15±3.328
-----2005-----					
F1	► Aérea	50.14±6.374	61.50±6.642	47.90±3.511	54.48±8.035
	Hoja	17.35±8.391	34.35±10.859	15.63±6.205	19.75±9.617
	Portainjerto	15.66±2.002	12.09±2.086	16.37±1.103	14.30±2.524
	Tallo	14.17±0.903	10.37±2.068	12.30±2.134	16.72±3.669
	Ramas	2.95±0.991	4.69±1.354	3.61±1.183	3.71±2.143
	► Radical	49.86±6.374	38.50±6.642	52.10±3.511	45.52±8.035
F3	► Aérea	49.57±5.153	57.94±5.993	44.71±3.011	54.64±4.584
	Hoja	12.91±4.933	22.70±7.116	9.79±3.542	16.83±6.507
	Portainjerto	15.84±1.619	13.21±1.883	17.37±0.946	14.25±1.440
	Tallo	11.37±2.631	8.68±2.066	9.81±1.081	12.86±2.992
	Ramas	9.44±2.896	13.36±1.227	7.74±1.699	10.70±1.630
	► Radical	50.43±5.153	42.06±5.993	55.29±3.011	45.36±4.584
F5	► Aérea	50.76±3.286	44.39±2.299	47.05±5.305	45.15±3.406
	Hoja	14.11±4.339	1.61±2.531	11.84±6.072	1.19±2.437
	Portainjerto	15.46±1.032	17.47±0.722	16.63±1.667	17.23±1.070
	Tallo	11.92±2.634	11.38±1.416	9.80±1.529	15.19±2.500
	Ramas	9.29±3.197	13.94±2.588	8.78±1.918	11.54±2.762
	► Radical	49.22±3.286	55.61±2.299	52.95±5.305	54.85±3.406
F6	► Aérea	44.98±2.935	46.70±1.942	43.65±5.182	44.17±3.795
	Hoja	6.72±2.951	0.14±0.236	6.12±5.374	0.275±0.593
	Portainjerto	17.29±0.922	17.69±0.610	17.70±1.628	17.54±1.192
	Tallo	11.79±2.923	11.33±0.966	10.80±1.426	14.80±3.189
	Ramas	9.18±3.128	14.55±3.032	9.03±2.278	11.56±3.136
	► Radical	55.02±2.935	56.30±1.942	56.35±5.182	55.83±3.795

†: fechas de muestreo diferentes, a lo largo de cada ciclo.

¶: con 46.2 cm de diámetros superior, 35 de diámetro inferior y 80 cms de altura.

§: con 48.4 cm de diámetros superior, 43 de diámetro inferior y 42 cms de altura.

Φ: con fertilización química; ††: con fertilización orgánica (lombriabono *in situ*).

Para los órganos de la planta en cada tratamiento con aparente desarrollo normal, en el primer ciclo de crecimiento hubo menor variabilidad de la biomasa que en el segundo ciclo (cuadro 7). Al final del primer ciclo de crecimiento la biomasa del tallo proveniente del brote único del injerto constituyó alrededor del 30% de la Biomasa total; la biomasa del portainjerto constituyó alrededor del 13% y la biomasa de la raíz osciló entre 40 y 50%. En el segundo ciclo, en el periodo de mayor crecimiento (v.g. fecha F1 y F3), lo que más cambió fue la del tallo por efecto de la poda. La biomasa de raíz en ambos ciclos de crecimiento siempre ocupó porcentajes entre el 40 y el 55%. Los árboles frutales por su prolongada longevidad, deben desarrollar un sistema vegetativo y radical equilibrado y sostenido (Díaz, 2002).

En general, el efecto de los contenedores para la biomasa estimada de los órganos de la planta fue independiente a los tratamientos de fertilización, al final de cualquier ciclo de crecimiento (cuadro 8).

La formulación de la fertilización química aplicada cada dos meses (primer ciclo) y cada mes (segundo ciclo) cuando las plantas de manzana crecieron en contenedores de mayor diámetro pero de menor altura, produjeron la mayor cantidad de biomasa de la raíz, portainjerto, tallo y ramas (cuadro 8). Por efecto de la acumulación de sales y pH alcalinos (Ansorena, 1994), el tratamiento con lombriabono (T2) aplicado a las plantas que crecieron en contenedor de mayor

Cuadro 8. Comparación de promedios para variables pesos secos (g) al final de cada ciclo de crecimiento en manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7 creciendo en dos tipos de contenedores y dos tipos de fertilizaciones.

Órgano de de la planta	Contenedor largo [†]		Contenedor corto [‡]		DMS(H) [§]
	T1	T2 ^{††}	T1	T2	
-----2004-----					
Porta	40.1b ^{¶¶}	36.5b	54.7a	37.2b	14.03
Tallo	98.9a	49.1b	115.7a	102.4a	36.15
Rama	28.4a	4.5b	12.4ab	5.67b	17.79
Aereo ^{§§}	144.6ab	86.1c	181.9a	140.78b	39.76
Raíz	112.9b	101.3b	158.0a	108.9b	35.51
Total ^{ΦΦ}	257.5b	185.1c	343.4a	249.7bc	65.06
-----2005-----					
Porta	55.0ab	45.9b	67.6a	51.5ab	19.21
Tallo	36.7ab	29.7b	40.8a	43.2a	10.07
Rama	30.6a	37.6a	35.5a	34.3a	21.87
Aereo ^{§§}	122.2a	113.2a	143.8a	129.0a	39.24
Raíz	175.1ab	146.3b	215.1a	164.0ab	61.16
Total ^{ΦΦ}	297.3ab	259.5b	358.9a	293.1ab	95.56

[†]: con 46.2 cm de diámetros superior, 35 de diámetro inferior y 80 cms de altura.

[‡]: con 48.4 cm de diámetros superior, 43 de diámetro inferior y 42 cms de altura.

[§]: diferencia mínima significativa para la prueba de comparación de medias Tukey.

^Φ: con fertilización química;

^{††}: con fertilización orgánica (lombriabono *in situ*).

^{¶¶}: promedio con la misma letra (por año e hilera) indican no diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

^{§§}: se incluyen sólo las partes aéreas de la planta, excepto las hojas.

^{ΦΦ}: incluye todas las partes de la planta, excepto las hojas.

altura pero más angosto fue el que produjo la menor cantidad de biomasa (cuadro 8). El efecto por aplicar vermicompostsota (T2) en contenedor ancho con diámetros en la base y en la parte superior de 48.4 x 43 cm y con una altura de 42 cm fue similar en biomasa estimada al efecto de aplicar fertilización química (T1) en contenedor angosto (cuadro 8). El portainjertos EMLA7 es semivigoroso, con raíces laterales de fácil producción y ramificación de raíces, de poca profundización (Tukey, 1964) que aprovechara mejor el agua y los nutrimentos que influyen en la biomasa de la planta.

La biomasa de cada órgano de la planta de manzano y el total para los primeros dos ciclos de crecimiento, puede ser estimada con alta precisión a través de regresión lineal múltiple (cuadros 9 y 10), considerando días acumulados desde el inicio de brotación.

En el primer ciclo de crecimiento los modelos son más lineales, en cambio en el segundo ciclo la tendencia es polinomial de segundo y tercer grado. La capacidad de una planta para producir materia seca (productividad total primaria) cuya eficiencia está dada por la tasa de asimilación neta (TAN, peso seco/superficie de hoja/tiempo) y por la superficie total de hojas, por la cantidad de CO₂ fijado por unidad de área foliar y tiempo, por la energía radiante total recibida y las condiciones de humedad y nutricional que se maneje (Gil, 1999). Por lo cual, para condiciones ambientales homogéneas a todos los árboles, el potencial productivo medido como peso seco o biomasa dependerá de las variaciones que los tratamientos produzcan y a medida que se alejan de las condiciones óptimas afectarán la fotosíntesis neta y por lo tanto, a la biomasa. Los modelos en los cuadros 8 y 9 son sensibles a los tratamientos.

3.6 CONCLUSIONES

- La biomasa en manzano “Agua Nueva II” / EMLA7 fue producido bien en macetas de 60 litros para los primeros dos años de crecimiento con fertilizante mineral que se aplicó mensualmente al sustrato cuidando de que no disminuyera drásticamente el pH.

Cuadro 9. Selección de la mejor ecuación de regresión lineal múltiple (STEPWISE) para estimar peso seco en diferentes órganos de la planta (órgano) en función de los días transcurridos a brotación (D) en el primer ciclo de crecimiento (2004), en manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7, cuando se aplicó fertilizante (T1) y vermicomposta (T2), en contenedores tipo L y C.

Trat	Parte de la planta	Modelo electo	R ²	CM(E.E.)
L [†] -T1	Planta total	$y=2.32917D+ (-0.00532)D^2$	0.982	1446.477
	► Aérea	$y=0.65132D$	0.961	887.499
	Portainjerto	$y=0.17594D$	0.859	167.331
	Tallo	$y=0.45486D$	0.946	305.800
	Ramas	$y= 0.00064763D^2$	0.947	24.5546
	Hoja	$y= 0.49554D + (-0.00191) D^2$	0.952	29.433
	► Radical	$y= 0.52309D$	0.840	1718.369
L [†] -T2	Planta total	$y= 1.85961D + (-0.00473)D^2$	0.929	2829.349
	► Aérea	$y= 0.36318D$	0.894	792.395
	Portainjerto	$y= 0.16784D$	0.750	276.461
	Tallo	$y= 0.23487D$	0.855	211.206
	Ramas	$y= 0.000000280239D^3$	0.545	7.523
	Hoja	$y= 0.13444D + (-0.00000220) D^3$	0.669	42.495
	► Radical	$y= 0.49472D$	0.723	2750.815
C ^{††} -T1	Planta total	$y= 2.39349D + (-0.00001739)D^3$	0.987	1672.301
	► Aérea	$y= 1.15965D + (-0.00000714)D^3$	0.982	625.774
	Portainjerto	$y= 0.24718D$	0.806	467.468
	Tallo	$y= 0.53859D$	0.936	492.974
	Ramas	$y= 0.00029667D^2$	0.736	27.007
	Hoja	$y= 0.42989D + (-0.00000778)D^3$	0.954	36.397
	► Radical	$y= 0.74557D$	0.786	4802.483
C ^{††} -T2	Planta total	$y= 1.16613D$	0.975	1688.601
	► Aérea	$y= 0.64430D$	0.961	809.219
	Portainjerto	$y= 0.17187D$	0.782	253.813
	Tallo	$y= (-0.47327)D + 0.01059D^2 + (-0.00002869)D^3$	0.951	270.503
	Ramas	$y= 0.00012294D^2$	0.984	0.317
	Hoja	$y= 0.33468D + (-0.00000574)D^3$	0.944	29.234
	► Radical	$y=0.52183D$	0.764	2594.243

†: contenedor con 46.2 cm de diámetros superior, 35 de diámetro inferior y 80 cms de altura.

††: contenedor con 48.4 cm de diámetros superior, 43 de diámetro inferior y 42 cms de altura.

Cuadro 10. Selección de la mejor ecuación de regresión lineal múltiple (STEPWISE) para estimar peso seco en órganos de la planta por días transcurridos a la brotación (D) en el segundo ciclo de crecimiento (2005), en manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7, cuando se aplicó fertilizante (T1) y vermicomposta (T2), en contenedores tipo L y C.

Trat	Parte de la planta	Modelo electo	R ²	CM(E.E.)
L [†] -T1	Planta total	$y=2.09386D + (-0.00366)D^2$	0.980	1223.894
	► Aérea	$y=0.86466D + (-0.00150)D^2$	0.976	250.379
	Portainjerto	$y=0.38614D + (-0.00068013)D^2$	0.980	41.879
	Tallo	$y=0.50121D + (-0.00282)D^2 + 0.0000057D^3$	0.987	14.525
	Ramas	$y= 0.13500D$	0.824	124.007
	Hoja	$y= 0.68311D + (-0.00231) D^2$	0.790	458.753
	► Radical	$y= 1.2292D + (-0.00217)D^2$	0.980	424.377
L [†] -T2	Planta total	$y= 0.72858D + 0.0083D^2 + (-0.00002793)D^3$	0.979	1044.420
	► Aérea	$y= 0.36827D + 0.00314D^2 + (-0.00001108)D^3$	0.983	163.316
	Portainjerto	$y= 0.00287D^2 + (-0.00000852)D^3$	0.971	44.705
	Tallo	$y= 0.2251D + (-0.00041023)D^2$	0.950	35.121
	Ramas	$y= 0.00228D^2 + (-0.00000679)D^3$	0.970	29.071
	Hoja	$y= 1.31965D + (-0.00981)D^2 + 0.00001773D^3$	0.911	143.739
	► Radical	$y= 0.00912D^2 + (-0.00002712)D^3$	0.971	453.015
C [¶] -T1	Planta total	$y= 3.65468D + (-0.01641)D^2 + 0.00003152D^3$	0.969	3106.014
	► Aérea	$y= 1.05548D + (-0.00187)D^2$	0.966	533.384
	Portainjerto	$y= 0.71305D + (-0.00331)D^2 + 0.00000644D^3$	0.968	118.551
	Tallo	$y= 0.64533D + (-0.00402)D^2 + 0.00000844D^3$	0.970	41.834
	Ramas	$y= 0.15724D$	0.908	79.741
	Hoja	$y= 0.71833D + (-0.00239)D^2$	0.755	657.801
	► Radical	$y= 2.26985D + (-0.01055)D^2 + 0.00002051D^3$	0.968	1201.334
C [¶] -T2	Planta total	$y= 1.73527D + (-0.00000882)D^3$	0.986	834.430
	► Aérea	$y= 0.91590D + (-0.00154)D^2$	0.979	263.155
	Portainjerto	$y= 0.29892D + (-0.00000147)D^3$	0.986	25.690
	Tallo	$y= 0.53619D + (-0.00259)D^2 + 0.00000472D^3$	0.958	71.491
	Ramas	$y= 0.15260D$	0.901	82.098
	Hoja	$y= 1.08428D + (-0.00821)D^2 + 0.00001518D^3$	0.767	286.913
	► Radical	$y=0.95155D + (-0.00000469)D^3$	0.901	260.336

†: contenedor con 46.2 cm de diámetros superior, 35 de diámetro inferior y 80 cms de altura.

¶: contenedor con 48.4 cm de diámetros superior, 43 de diámetro inferior y 42 cms de altura.

- El abonamiento del sustrato en las macetas con vermicomposta de *Eisenia foetida* producida *in situ* puede ser una opción viable para la producción de biomasa en manzano cv. Agua Nueva II sobre portainjerto EMLA7 en los primeros dos años de crecimiento, siempre que la composta que se utilice como materia prima para alimentar a la lombriz sea de buena calidad (baja concentración de: sales, carbonatos y bicarbonatos). Además, se deberá aplicar micronutrientes foliares orgánicos, como el obtenido con savia de nopal y hierro oxidado.
- La producción de biomasa en los primeros dos años de crecimiento en manzano “Agua Nueva II” sobre portainjerto EMLA7 se expresó mejor en el tipo de maceta de 60 litros con diámetros de 48.6 x 43.0 cm superior y de la base, respectivamente (o mayores) y de poca altura (42.0 cm).
- El efecto de los tratamientos modificaron ligeramente las proporciones de la biomasa aérea respecto a la radical. Con el fertilizante químico se obtuvo de 1 a 2 % menos biomasa que aplicando vermicomposta.
- Respecto a la biomasa foliar, la biomasa foliar constituyó aproximadamente 10 %, la biomasa del portainjerto fue el 13 %, la biomasa del tallo antes de la poda fue el 30 %, y después de la poda fue alrededor del 12 %, y la biomasa de la raíz osciló entre el 40 y el 55 %.
- Se obtuvieron modelos empíricos que permitirán en otras investigaciones estimar la biomasa de manzano cv. Agua Nueva II sobre portainjerto EMLA7, éstos modelos utilizan como variable independiente o regresora, los días que

se acumularon a partir de la brotación. Las estimaciones con estos modelos dependen de los tratamientos de fertilización que se aplicaron y del tamaño de la maceta.

3.7 LITERATURA CITADA

ANÓNIMO. 2003. China now world leader in apple production. *Crónica Horticulturae* 43(2):21.

ANÓNIMO. 2005. Estadísticas agropecuarias 1980-2004. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON). Servicio de Información Estadística Agroalimentaria (SIAP). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). D. F., México.

ANSORENA M., J. 1994. Sustratos: Propiedades y Caracterización. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.

BENTON, J. J (Jr.); B. WOLF, H.A. MILLS, 1991. Plant Analysis Handbook: Ed. Micro-Macro Publishing, Inc. U.S.A. 213 p.

BOHN, H. L., B. L.MCNEAL, G.A. O'CONNOR,. 1993. Química del Suelo. LIMUSA-Noriega Editores. Pp 259-287.

CALDERON A., E. 1983. La Poda de los Árboles Frutales. LIMUSA S.A. México. 549 p.

DALY, M. J., D. P. C. STEWART. 1999. Influence of "Effective Microorganisms" (EM) on vegetable production and carbon mineralization- a preliminary investigation. *Journal of Sustainable Agriculture* 14(2/3): 15-25.

DÍAZ MONTENEGRO, D. H. 2002. Fisiología de Árboles Frutales. AGT EDITOR, S.A. D.F., México. 390 p.

EREZ, A. 1990. Container-grown trees: a new option for intensive culture of temperate zone fruit trees in the tropics. *Acta Horticulturae* (279): 159-165.

GARCÍA, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Tercera ed. D. F., México. 252 p.

GIL SALAYA, G. F. 1999. El Potencial Productivo. Ediciones Universidad Católica de Chile y Ed. Alfaomega. D.F., México. 331 p.

HSU Y.M., M. J. Tseng, C. H. Lin. 1988. Root restriction affects growth and development of wax-apple (*Syzygium samarangense* Merr. et Perry) *Journal of the Chinese Society for Horticultural Science*. 44(4):439-447.

IBAÑEZ M., A.; BECERRIL R., A. E.; CASTILLO M., A.; PARRA Q., R. A.; LÓPEZ C., C. 2000. Efecto de cubiertas, riego y fertilización foliar en el desarrollo radical de manzano. *Terra* 18(3):

LABRADOR-MORENO, J. 2001. La Materia Orgánica en los Agrosistemas. 2da. ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Ediciones Mundi-Prensa. España. 293 p.

LAL KAUSHAL, B. B, P. C. SHARMA. 1995. Apple, pp 91-122. In: *Handbook of Fruit Science and Technology: Production, Composition, Storage and Processing*. SALUNKHE, D. K.; KADAM, S. S (editors). Marcel Dekker, Inc. New York, U.S.A.

LIND, K., G. LAFER, K. SCHLOFFER, G. INNERHOFER, H. MEISTER. 2003. *Organic Fruit Growing*. CABI Publishing. Cromwell Press. Trowbridge, UK. 281p.

MYERS, S. C., M. FAUST. (ed.), S. S. MILLER. 1992. Root restriction of apple and peach with in-ground fabric containers. In *First International Symposium on Training and Pruning of Fruit Trees*, Shepherdstown, West Virginia, USA, (16-20 July 1991). *Acta-Horticulturae*. 1992 (322): 215-219;

NEILSEN, G. H., E. J. HOGUE, T. FORGE, D. NEILSEN. 2003. Mulches and biosolids affect vigor, yield and leaf nutrition of fertigated high density apple. HortScience 38(1):41-45.

PFEFFER, W. 1962. Factors affecting salt absorption, pp 47-71, vol 1. In: Mineral Salts Absorption in Plants. SUTCLIFFE, J.F. (editor). Pergamon Press. New York, U. S. A.

RAESE, J. T. 1985. Response of "Delicious" apple trees in the greenhouse to rates and forms of nitrogen and phosphorus in a low-phosphorus soil. HortScience 20(2):234-236.

SANTAMARÍA R., S., R. FERRERA C., J. J. ALMARÁZ S., A. GÁLVIS-S., I. BAROIS B. 2001. Dinámica y relaciones de microorganismos, C-orgánico y N-total durante el composteo y vermicomposteo. Agrociencia 35(4):377-384.

STEEL, R. G. D., J. H. TORRIE. 1960. Principles and Procedures of Statistics. Ed. McGraw-Hill. New York, U.S.A. 481 p.

TUKEY, H. B..1964. Dwarfed Fruit Trees. The MACMILLAN CO. U.S.A. 562 P.

WASEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. 1996. Plant Roots: The Hidden Half. Ed. Marcel Dekker, Inc. New York, U.S.A. 1002 p.

ZAMSKI, E.; SCHAFFER, A.A. (eds.). 1996. Photoassimilate Distribution in Plants and Crops. Ed. Marcel Dekker Inc. U.S.A. 904 p.

IV. BIOMASA AÉREA ESTIMADA EN ÁRBOLES JÓVENES DE MANZANO EN SUELO CON VERMICOMPOSTA PRODUCIDA *in situ*

ESTIMATED AERIAL BIOMASS IN YOUNG APPLE TREES, WHICH WERE GROWING ON CONTAINER WITH *IN SITU* PRODUCED VERMICOMPOST

Arturo Curiel Rodríguez¹ y José Refugio Espinoza Espinoza²

4.1 RESUMEN

En la actualidad, es necesario el mejoramiento de la eficiencia de los recursos existentes en la producción frutícola nacional orgánica, y como parte de un programa para esto, esta investigación pretende el siguiente objetivo: caracterizar la biomasa aérea en los dos primeros ciclos de crecimiento de árboles de manzano "Agua Nueva II" sobre portainjerto EMLA7 en un sistema de producción intensivo en suelo. Se utilizó como sustrato una mezcla de tezontle con suelo y composta. Se estudiaron dos fuentes contrastantes de abastecimiento nutricional: fertilizante químico con 150 – 75 – 100 – 35 gramos de N – P₂O₅ – K₂O – Mg •planta⁻¹•año⁻¹ (T1), y vermicomposta (*Eisenia Foetida* L.) producida *in situ* (T2). Se estimaron los pesos secos de las siguientes partes de la planta: follaje, portainjerto, tallo y ramas. La producción de biomasa en todas esas partes de la planta al aplicar el tratamiento químico (T1) o el orgánico (T2) fueron similares estadísticamente. Se obtuvieron modelos empíricos para estimar biomasa de órganos aéreos de la planta en función de los días acumulados a brotación.

Palabras clave: cv. Agua Nueva II, *Eisenia Foetida*, agricultura orgánica.

4.2 ABSTRACT

At the present time, it is necessary to improve the areas of apple production with intensive organic orchard. For that reason and as part of several works this paper has, a objective, to determinate aerial biomass of young apple trees under an intensive production system in soil. The cv. Agua Nueva II apple trees grafted onto EMLA7 rootstock, were used. This study was conducted during two years. Two nutrient sources were studied: as T1, it was used chemical fertilizer with 150 – 75 – 35 – 35 grams of N – P₂O₅ – K₂O – Mg •plant⁻¹•year⁻¹, and vermicompost produced by *Eisenia foetida* L. produced *in situ* (T2). The outstanding results were: there were no differences among treatments in all part of the plant evaluated, with respect to biomass production. The biomass of rootstock, stem with and branches, in the second cycle of growing, was similar with T2, but not with T1. For all aerial parts of plant, empirical models were obtained to estimate biomass; for this, accumulated days since sprouting as independent variable in the models, was used.

Key Words: cv. Agua Nueva II, *Eisenia Foetida* L., organic agricultura.

¹ Tesista

² Director

4.3 INTRODUCCIÓN

La manzana es una fruta económicamente redituable de climas templados en varios países (Lal y Sharma, 1995). El país líder mundialmente en producción de manzana es China; en el año 2002 cultivó 2.5 millones de hectáreas, con una producción de 20.5 millones de toneladas (casi la mitad de la producción mundial), equivalente a 5 veces la producción de los Estados Unidos de Norteamérica y 30 % más producción que toda Europa (Anónimo, 2003). Promedios de rendimientos mundiales para el 2002 fueron: $8.2 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ en China, $22.5 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ en E.U.A. y $10.8 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ para Europa (Anónimo, 2003).

En México, en el año 2004 se reportó una superficie cosechada de manzana de 59,095 hectáreas, un volumen de producción de 575,906 toneladas y un rendimiento promedio nacional de $10 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Anónimo, 2005).

En algunos estados de la República Mexicana las áreas productoras de manzana tienen baja producción (Anónimo, 2005). Cultivando con técnicas alternativas como la producción de frutales intensivos y superintensivos bajo los principios de producción orgánica puede ser una alternativa para los productores de estos estados sin incrementar el área de producción, en el que se aproveche residuos orgánicos como estiércoles y esquilmos como parte de la nutrición de los cultivos (Lind, *et al.*, 2003). El estiércol de la lombriz de tierra o “lombriabono” o “humus de lombriz” contiene altas poblaciones de

microorganismos que mineralizan relativamente rápido (seis meses) la materia orgánica (humus) del suelo o sustrato, liberando paulatinamente nutrientes que las plantas utilizan para su crecimiento y desarrollo (Daly y Stewart, 1999). El humus es un material que mejora las propiedades física y químicas del suelo y de los sustratos, tales como: la capacidad de intercambio catiónico (como reservorio de nutrientes), la estructura del suelo, la retención hídrica, la conductividad hidráulica, el drenaje y la porosidad (Labrador, 2001).

El contenido de materia seca o biomasa en los primeros años de crecimiento de las plantas, es uno de los indicadores de los procesos de intensidad del crecimiento y desarrollo de las plantas relacionados con la producción y distribución de los carbohidratos a los diferentes órganos de la planta (Zamski y Schaffer, 1996).

El acolchado y tiene importancia en la producción de biomasa. Neilsen *et al.* (2003) experimentó paja de alfalfa como acolchados, aplicando 15 kg por árbol en un huerto de manzana cv. "Spartan" sobre M.9 de alta densidad y fertigados, obteniendo incrementos significativos en el potasio de la hoja.

Como parte del programa de frutales orgánicos, el uso subproductos orgánicos del campo y la ciudad para producir abonos y enmiendas orgánicas en la producción de manzana con técnicas alternativas de producción intensiva puede ser viable. Dentro de ésta programa se lleva a cabo la siguiente

investigación cuyo objetivo fue caracterizar la biomasa aérea en los primeros dos ciclos de crecimiento de árboles de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7 en un sistema de producción intensivo en suelo con un sustrato cuya mezcla fue tezontle con suelo y composta, abonado con estiércol de lombriz *in situ*.

4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación experimental fue llevada a cabo en Chapingo, Estado de México ubicado a los 19° 29' Latitud Norte y 98° 53' Longitud oeste, a una altitud de 2250 metros sobre el nivel del mar. El sitio posee un clima C(Wo)(W)b(i')g, cuya fórmula indica templado subhúmedo, el más seco de los de este tipo, con lluvias en verano y una precipitación pluvial anual de 644 mm; con poca oscilación en las temperaturas medias mensuales, y con una temperatura media anual de $15^{\circ} \pm 3^{\circ} \text{C}$; con verano fresco y largo; el mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano, con presencia de heladas tempranas a finales del mes de septiembre y tardías en el mes de abril (García, 1981).

Los primeros dos ciclos de crecimiento de las plantas de manzano fueron evaluados (mayo 2004 - diciembre 2006). Se utilizó el manzano cv. Agua Nueva II 7 / EMLA7. Las raíces de las plantas se desarrollaron en cepas de 50.0 centímetros de diámetro y 80.0 cm de profundidad. En una orilla del fondo de cada cepa se hizo una cepa pequeña para el colector de lixiviados. Como

filtro físico de lixiviados se colocó en cada cepa aproximadamente 20 litros de grava de construcción de 1 a 3 centímetros de diámetro, sobre la cual se aplicó 20 litros de tezontle rojo con tamaño de partícula entre 0.5 y 1.0 centímetro; sobre esta capa se añadieron 5 litros de tezontle rojo con tamaño de partícula entre 0.25-0.5 cm. Sobre esta capa se aplicaron 30 litros de sustrato (base seca) cuya mezcla inicial estuvo elaborada con 40.8 % de tierra arcillo-arenosa, 40.8 % de tezontle rojo de tamaños de partículas menores a 0.5 cm de diámetro, mas 18.4 % de estiércol de lombriz o "lombriabono" de un año de maduración, generado con pajas de maíz y frijol, estiércol caballar y alfalfa fresca. En el 2004 se elaboró una composta para alimentar a la lombriz el todo el ciclo. Para su elaboración se utilizó paja seca de maíz, alfalfa en fresco, estiércol de bovino y tierra arcillo-arenosa en las proporciones 4.0:2.0:10.5:0.5. Para el segundo ciclo de crecimiento las compostas que se utilizaron para alimentar a las lombrices que producirían estiércol *in situ* para fertilización de las plantas se produjo cada dos meses, no se usó estiércol, en lugar de éste, se utilizó para la elaboración de composta la proporción de 4:2:1 de paja seca de maíz, alfalfa verde y composta elaborada de dos meses de maduración, respectivamente.

Como tratamiento de fertilización química (T1) se utilizó una fórmula de fertilización con las cantidades y productos indicados en el cuadro 1, además de 4 ml de BYFOLAN FORTE® por litro de agua para el segundo ciclo. Las aplicaciones se hicieron bimensual en el año 2004 y mensual en el año 2005.

Cuadro 1. Formulación del tratamiento de fertilizante químico (T1) en dos ciclos de crecimiento de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7.

Material fertilizantes	Cantidades (g)•planta ⁻¹ •año ⁻¹	
	2004	2005
UREA	153.54	153.54
Ca ₃ (PO ₄) ₂	111.5	167.25
K(NO ₃)	227.3	227.3
Ca(NO ₃) ₂	-	489.5
Mg(SO ₄)	238.1	238.1
Mn(SO ₄)	135.3	-
Fe(SO ₄)	103.4	-
Cu(SO ₄)	79.2	-
Zn(SO ₄)	137.5	-

Como tratamiento de abonamiento se utilizó estiércol de lombriz (*Eisenia Foetida* L.) o “lombriabono” *in situ* (T2). En el T2 se utilizó siempre 20 litros de composta por cepa y mes, inoculando en el primer mes de cada ciclo con 250 gramos de lombriz de tierra de la especie *Eisenia Foetida* L. En diciembre del 2004, y enero y febrero del 2005, en las cepas con el T2, se dejó de regar y alimentar a la lombriz para poner a las raíces de las plantas en estrés y éstas pudieran entrar en reposo, además se aplicó una defoliación manual en la primera semana de enero del segundo ciclo.

El experimento se condujo en un diseño experimental bloques al azar con 10 repeticiones. Con parte de la información de esta investigación (primer artículo de este trabajo) se generaron modelos matemáticos para estimar variables de biomasa aérea y área de foliar (cuadro 2).

Cuadro 2. Modelos obtenidos de regresión lineal múltiple que sirvieron para la estimación de la biomasa aérea en manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7.

Modelo utilizado para estimación de biomasa

$$AFE = -3.24140(AL) + 0.67616(AL)^2 + 1.63287(AL)(LL/AL).$$

$$PSL = 0.02699(AFE) + 0.00021917(AFE)^2.$$

$$PSP = 0.00384(AFE) - 0.04432\left(\frac{LL}{AL}\right) + 0.02291\left(\frac{LL}{AL}\right)^2.$$

$$PSPA = 0.66882(Vol)$$

$$PST = 0.55902(Vol)$$

$$PSRm30 = (Vol)^{0.77462}$$

$$PSRm10_30 = 0.49349(Vol)$$

$$PSRm10 = 0.57297(Vol)$$

LL: largo de la lámina de la hoja medido a lo largo de la nervadura central, en cm; AL: ancho máximo de la lámina de la hoja medido en sentido perpendicular al largo de la lámina de la hoja en su parte más ancha, en cm; AFE: área foliar estimada, cm²; PSP: peso seco del pecíolo (g); PSL: peso seco de la lámina de la hoja (g); Vol: volumen en fresco utilizando fórmula de cono truncado; PSPA: peso seco estimado de tronco (g); PST: peso seco del tallo principal (g); PSRm30: peso seco de ramas mayores de 30 centímetros de longitud (g); PSRm10_30: peso seco de ramas entre 10 y 30 centímetros de longitud (g); y PSRm10: peso seco de ramas menores de 10 centímetros de longitud (g);

Se consideró como “tronco” a la parte de la planta pegada a la parte radical compuesta por el portainjerto más el área de unión del injerto; como “tallo principal” a la parte adherido por su parte proximal al tronco y como “rama” a cualquier tallo que no entra en alguno de los dos tipos de estructuras anteriormente mencionadas. Con base en la clasificación de Calderón (1983), las ramas se agruparon, por su longitud, en tres categorías: “rama pequeña”, en las que se incluyeron ramas menos de 10 centímetros de longitud y dardos; en “rama mediana” se incluyeron a aquellas con longitudes entre 10 y 30 centímetros; en “rama grande” se incluyeron a aquellas con longitudes mayores de 30 centímetros. Todas las ramas tenían un año de edad y sin poda, se les estimó la biomasa, por muestreo.

El análisis de datos se inició con la revisión de homogeneidad de varianza. Posteriormente, analizó algún posible efecto del peso fresco de planta antes de la plantación en el primer ciclo y del peso seco estimado total después de la poda en el segundo ciclo, en la biomasa estimada de órganos aéreos de la planta. Posteriormente, se hizo análisis de la varianza como tratamientos en un diseño de bloques al azar y comparaciones de medias múltiples con el procedimiento "Tukey" (Steel y Torrie, 1960). Se hicieron análisis de regresión múltiple para obtener mejores modelos en función de los días acumulados a partir de la brotación. Para cualquier análisis estadístico se utilizó un nivel de significancia de la prueba $P \leq 0.05$.

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.5.1 Indicadores de la alcalinidad y la salinidad en los contenedores y la producción de biomasa

El valor promedio del pH del agua de riego en el 2005 fue de 9.5 ± 0.5 que indica un agua no de buena calidad, fuertemente alcalina (Anónimo, 2002). En ambos ciclos de crecimiento el pH de los lixiviados (cuadro 3) donde se aplicó tanto fertilizante químico (T1) como con abonamiento con lombriabono *in situ* (T2) se mantuvieron entre el límite superior de neutro y el límite inferior medianamente alcalino (Anónimo, 2002). Los pH's del T1 en el sustrato y de un ciclo a otro pasó de neutro a moderadamente ácido, aunque Ansorena (1994) lo

clasifica entre el rango de moderada a débilmente ácido; en tanto que los pH's para el T2 de un ciclo a otro estuvieron entre el límite superior de neutro y el límite inferior medianamente alcalino, aunque Ansorena (1994) lo clasifica en el rango de débilmente alcalino (cuadro 3).

Cuadro 3. PH y conductividad eléctrica (C.E.) de lixiviados y sustratos en cepas en el suelo en las que crecieron por dos años árboles de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7, cuando se aplica fertilizante (T1) y vermicomposta (T2).

Fertilizante	pH lixiviados [†]		C.E. lixiviados [¶]		pH sustrato [†]		C.E. Sustrato [¶]	
	media	Std	media	Std	media	Std	media	Std
-----Primer ciclo de crecimiento (2004)-----								
T1	7.12	±0.542	2.624	±1.577	6.8	±0.216	1.90	±1.053
T2	7.42	±0.386	3.073	±0.827	7.2	±0.058	1.70	±0.557
T1_S/P [§]	7.33	±0.808	1.970	±1.399	7.0	±0.321	1.20	±0.413
T2_S/P ^Φ	7.39	±0.284	2.737	±0.935	7.2	±0.153	1.30	±0.466
-----Segundo ciclo de crecimiento (2005)-----								
T1	7.11	±0.532	3.62	±1.823	5.65	±0.238	0.31	±0.069
T2	7.63	±0.374	3.94	±1.691	7.36	±0.188	2.76	±0.256
T1_S/P [§]	7.27	±0.493	2.70	±0.360	5.80	n.d.	0.38	n.d.
T2_S/P ^Φ	7.43	±0.371	4.52	±0.937	7.25	±0.071	2.63	±0.354

Agua de riego fue de PH= 9.45 (±0.495) y C.E.=0.220.

[†]: medido con un potenciómetro portátil HI 9813 HANNA Instruments.

[¶]: Medido en mS·cm⁻¹ con el puente de conductividad portátil HI 9813 HANNA instruments.

Factor de conversión es 1μS·cm⁻¹ = [0.56 – 0.72] ppm.

[§]: Aplicación de fertilizante químico en el sustrato de la cepa que no contenía plantas.

^Φ: Aplicación de lombriabono en el sustrato de la cepa que no contenía plantas.

La conductividad eléctrica para el tratamiento con fertilización química (cuadro 3) cambió de ligeramente salino a efectos despreciables de salinidad (Anónimo, 2002); en cambio, la conductividad eléctrica del sustrato en el tratamiento con lombriabono (cuadro 3), esto es T2, cambió de un ciclo a otro de ligeramente salino a moderadamente salino (Anónimo, 2002). Ansorena (1994) indica que en extracto de saturación en el rango de 2.0 a 3.49 mS·cm⁻¹, se considera

satisfactoria para la mayoría de las plantas aunque puede reducirse el crecimiento de algunas plantas sensibles.

De acuerdo al criterio de Chapman y Pratt (1979), los bicarbonatos y los cloruros para sustratos donde aplicó fertilizante químico (cuadro 4) estuvieron entre la gama de satisfactoria y alta para la mayoría de las plantas en ambos ciclos de crecimiento. Los bicarbonatos y los cloruros para sustratos donde se aplicó lombriabono (cuadro 4) estuvo en la gama de alta a excesiva, y sólo al final del segundo ciclo disminuyó al rango entre de satisfactoria y de alta.

Cuadro 4. Carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) y cloruros (Cl^-) de una muestra compuesta de lixiviados y sustrato de cepas en el experimento en suelo en las que crecieron por dos años árboles de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7, cuando se aplica fertilizante (T1) y vermicomposta (T2).

Material y condición	Trat	CO_3^{2-} (mmol•L ⁻¹)	HCO_3^- (mmol•L ⁻¹)	Cloruros (Cl^-) (mmol•L ⁻¹)
Primer ciclo de crecimiento (2004)				
Lixiviado al final del ciclo	T1	1.899	3.956	1.100
	T2	2.532	2.110	1.017
	T1_S/P	3.798	2.743	0.850
	T2_S/P	2.532	2.954	1.65
	T0	2.532	3.798	1.200
Sustrato al final del ciclo	T1	n.d.	3.032	4.75
	T2	9.096	9.854	11.00
	T1_S/P	n.d.	3.032	4.50
	T2_S/P	6.064	4.548	11.00
Suelo ini	T0	7.58	1.516	5.50
Comp_Ini	T0	1.266	16.458	1.200
Segundo ciclo de crecimiento (2005)				
Lixiviado al final del ciclo	T1	0.127	5.570	5.0
	T2	2.532	7.596	9.0
	T1SP	3.798	2.532	5.5
	T2SP	3.798	6.33	15.0
Sustrato a inicio del ciclo	T1	n.d.	3.798	8.0
	T2	n.d.	12.027	10.5
	T1_S/P	n.d.	2.532	4.25
	T2_S/P	n.d.	9.495	12.5
Sustrato Al final del ciclo	T1	n.d.	1.899	4.0
	T2	n.d.	4.431	5.5
	T1SP	n.d.	1.899	5.0
	T2SP	n.d.	14.559	12.0
agua	pileta B5	n.d.	3.798	4.5

n.d. : no detectado o no disponible.

4.5.2 Efecto del peso fresco inicial y peso seco estimado de troncos con ramas en la producción de biomasa

Para el primer ciclo de crecimiento se analizó la influencia en la biomasa por las variables peso fresco inicial (primer ciclo) y biomasa estimada del tronco, tallos y ramas después de la poda (segundo ciclo), encontrándose que ninguna de ellas tiene efecto en la biomasa al final de cada ciclo de crecimiento (cuadro 5), sólo en el primer mes. Con la poda del tallo principal para la forma de la planta en "líder central" si modifica la cantidad de biomasa que genera efectos más prolongados hasta por tres meses (cuadro 5).

4.5.3 Respuesta del fertilizante en la producción de biomasa

La biomasa foliar estimada fue mayor en ambos ciclos de crecimiento (cuadro 6) cuando se aplicó el tratamiento con "lombrifertilizante" (T2), respecto al tratamiento con fertilización química (T1); entre un 30 y un 40% de diferencia del primero respecto al segundo tratamiento. El incremento en la variabilidad de peso seco foliar a medida de que avanzaba el ciclo de crecimiento, permitió detectar diferencias estadísticas significativas sólo en los primeros tres meses del primer ciclo, así como en el segundo muestreo del segundo ciclo se pudo detectar. Parte de esta diferencia se puede deber a que en el T2 se tenía una capa de paja que cubría a la lombriz, pero además no permitía una evaporación drástica de la humedad de la cepa y por lo tanto había una constante humedad, no así sucedió con el T1, el cual ocupó cuatro veces más volumen de agua por semana que el T1 que no tenía acolchado.

Cuadro 5. Efecto de las covariables peso fresco inicial de planta (g) para el primer año de crecimiento (2004) y pesos seco estimado de biomasa aérea (g) sin incluir biomasa foliar para el segundo año de crecimiento (2005) en suelo, en manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7, en noviembre de cada ciclo.

Parte de	2004					2005				
La planta	Fc [†]	Pr>Fc [‡]	CM(E.E) [§]	R ² [¶]	C.V. ^{††}	Fc	Pr>Fc	CM(E.E)	R ²	C.V.
	Fecha ^{‡‡} = F0					Fecha = F0				
Portainj.	37.54*	0.0002	2.717	0.937	7.46	29.67*	0.001	5.573	0.920	13.6
Tallo	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	72.08*	<0.0001	5.573	0.949	13.2
	Fecha = F1					Fecha = F1				
Hojas	0.20 ^{NS}	0.6671	1.091	0.544	42.2	0.79	0.404	757.1	0.622	62.0
Tallo	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	30.04*	0.000	23.04	0.904	16.1
Rama	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.62 ^{NS}	0.458	122.1	0.344	91.1
	Fecha = F2					Fecha = F2				
Hojas	1.07 ^{NS}	0.3358	88.814	0.435	45.6	1.96 ^{NS}	0.204	710.9	0.704	51.5
Portainj.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7.84*	0.026	35.72	0.777	24.7
Tallo	0.52 ^{NS}	0.4985	21.389	0.596	44.9	9.98*	0.015	66.39	0.766	23.0
Rama	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.52 ^{NS}	0.258	417.9	0.388	85.0
	Fecha = F3					Fecha = F3				
Hojas	0.10 ^{NS}	0.7572	67.348	0.389	34.6	0.40 ^{NS}	0.546	813.8	0.684	54.7
Portainj.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.18 ^{NS}	0.183	143.4	0.555	39.1
Tallo	3.57 ^{NS}	0.0954	6.371	0.749	20.2	2.31 ^{NS}	0.172	241.4	0.581	35.9
Rama	0.87 ^{NS}	0.3765	0.146	0.798	209.3	1.07 ^{NS}	0.335	1127.	0.531	62.0
	Fecha = F4					Fecha = F4				
Hojas	0.01 ^{NS}	0.9152	23.722	0.552	31.71	0.06 ^{NS}	0.816	699.1	0.689	53.3
Portainj.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.33 ^{NS}	0.170	503.5	0.511	47.4
Tallo	0.67 ^{NS}	0.4355	17.04	0.781	19.88	2.69 ^{NS}	0.145	541.2	0.563	36.3
Rama	0.71 ^{NS}	0.4220	0.403	0.808	215.9	0.57 ^{NS}	0.475	1726.	0.461	65.8
	Fecha = F5					Fecha = F5				
Hojas	0.41 ^{NS}	0.5402	21.619	0.696	31.32	0.07 ^{NS}	0.802	620.5	0.590	57.8
Portainj.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.39 ^{NS}	0.276	497.0	0.503	48.5
Tallo	0.67 ^{NS}	0.4377	64.278	0.454	32.68	2.32 ^{NS}	0.171	940.9	0.518	41.6
Rama	0.76 ^{NS}	0.4074	0.251	0.916	134.4	0.83 ^{NS}	0.392	1821.	0.551	59.4
	Fecha = F6					Fecha = F6				
Aereo	0.36 ^{NS}	0.5655	189.9	0.519	24.9	0.43 ^{NS}	0.532	1189	0.377	46.0
Hojas	0.09 ^{NS}	0.7677	13.766	0.727	31.67	0.03 ^{NS}	0.872	404.5	0.503	71.9
Portainj.	0.46 ^{NS}	0.5136	25.485	0.755	17.51	0.08 ^{NS}	0.788	1384.	0.786	40.1
Tallo	0.50 ^{NS}	0.4988	69.482	0.487	32.8	2.78 ^{NS}	0.139	906.6	0.612	40.0
Rama	0.78 ^{NS}	0.4013	0.282	0.920	130.2	0.44 ^{NS}	0.526	2272.	0.475	69.0

†: estadístico F; ‡: Nivel de significancia observado para Fc; §: cuadrado medio del error exptal.; ¶: coeficiente de determinación; ††: coeficiente de variación; ‡‡: fechas de muestreo durante el ciclo de crecimiento.

Cuadro 6. Efecto de fertilización química comercial (T1) y Orgánica con vermicomposta producida *in situ* (T2) en el peso seco estimado de follaje en diferentes fechas de muestreo, en los primeros dos ciclos de crecimiento del manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7 en suelo.

fecha [†]	-----2004-----			-----2005-----		
	T1 [¶]	T2 [§]	DMS(H) ^Φ	T1	T2	DMS(H)
F1	5.600 b ^{††}	10.318 a	3.7563	34.28 a	55.54 a	25.166
F2	16.313 b	25.526 a	6.5287	38.50 b	66.53 a	23.334
F3	19.090 b	28.418 a	5.5564	42.26 a	63.12 a	27.147
F4	14.722 a	16.436 a	6.7281	42.57 a	57.47 a	26.675
F5	14.103 a	15.761 a	6.4596	39.23 a	47.44 a	25.953
F6	11.711 a	11.820 a	4.8499	25.04 a	31.24 a	20.183
F7	10.171 a	11.491 a	4.9941			

[†]: diferentes fechas de muestreo a lo largo de cada ciclo, fechas entre ciclos no coincidentes;

[¶]: con fertilización química; [§]: con fertilización orgánica (lombriabono *in situ*);

^Φ: diferencia mínima significativa para la prueba de comparación de medias Tukey.

^{††}: promedio con la misma letra (por año e hilera) indican no diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

La acumulación de biomasa de tronco, tallo y ramas es sensible a los cambios que ocurran en el sustrato (nutrición y absorción de agua), en la raíz (crecimiento y daños), en las hojas (área foliar y eficiencia fotosintética), por la estación de crecimiento (temperatura, humedad, granizadas, daños por plagas y enfermedades). En ambos ciclos (figura 1) se observa que a mayor cantidad de peso seco foliar del T2 mayores incrementos de peso de tallo y ramas que en troncos. Los órganos y tejidos aéreos que contienen mayor actividad de sus meristemas apicales para desarrollar crecimiento longitudinal y el meristemo lateral o cambium que produce mayor cantidad de xilema y floema, y por ende, mayor crecimiento lateral (Díaz, 2002) producirán mayor cantidad de biomasa. Los fotosintatos se reparten de acuerdo a la oferta-demanda por la acción genético-hormonal presente en cada etapa fenológica del árbol para producir mayor o menor cantidad de biomasa aérea y radical (Morris, 1999).

Para el segundo año de crecimiento la mayor acumulación de biomasa se produjo en el tallo principal, seguido en orden descendente de las ramas y del portainjerto. El peso seco foliar en la etapa de máxima actividad fotosintética superó al peso seco de los órganos estructurales antes indicado (figura 1-B). El peso seco de tallo y ramas, al igual que el del portainjerto no tienen meristemo apical, sólo cambium. La biomasa aérea está correlacionada fuertemente con la radical (Gil, 1999). Considerando sólo la Biomasa aérea, en el primer año alrededor del 50% se acumuló en el portainjerto, entre el 45 y 50% se acumuló al tallo y muy poco a ramificaciones. En el segundo ciclo de crecimiento esas proporciones disminuyeron, quedando aproximadamente en promedio un 33.33 % de biomasa tanto para el tallo como para portainjerto y ramas (cuadro 7), sin incluir la biomasa foliar. Díaz (2002) indica que los árboles frutales por su prolongada longevidad, deben desarrollar un sistema vegetativo y radical equilibrado y sostenido.

Cuando las condiciones físico-químicas del sustrato se van alejando cada vez más del óptimo, la disponibilidad de agua y nutrimentos a la raíz será cada vez menor, y ésta no podrá proveerlos a las estructuras aéreas (incluso hormonas) y generará una cascada de reducción de otras de sus funciones (Waisel *et al.*, 1996), cuyo impacto inicial es la reducción de la eficiencia fotosintética, fotosintatos y hormonas, por lo cual, las relaciones fuentes demandas de dichas sustancias se modifican, y por ende, también se modifica el desarrollo de la biomasa de cada uno de los órganos de la planta (Gil, 1999).

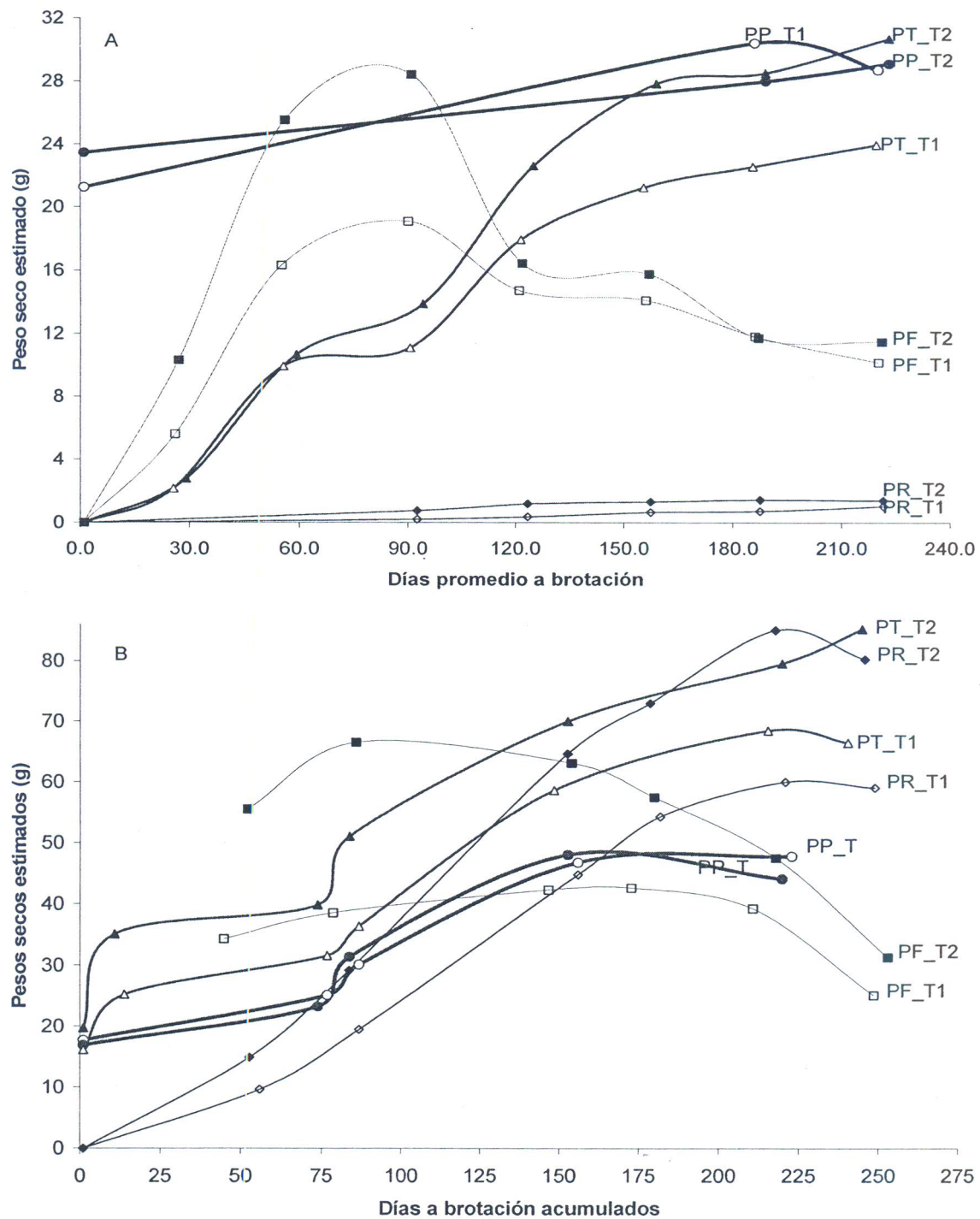


Figura 1. Peso seco estimado foliar (PF), del portainjerto (PP), del tallo principal (PT) y de ramas (PR) en manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7 cuando se aplicó fertilizante (T1) y vermicomposta (T2), para el primer año de crecimiento (A) y para el segundo año (B), en cepas en suelo.

Cuadro 7. Porcentaje de biomasa aérea estimada en partes de la planta de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7 al final de los ciclos de crecimiento.

Parte de la planta	-----2004-----		-----2005-----	
	T1 [†]	T2 [‡]	T1	T2
Portainjerto	58.55 [§] ± 6.76 ^Φ	48.49 ± 3.21	45.70 ± 17.07	33.01 ± 13.82
Tallo	40.88 ± 7.54	50.77 ± 3.41	29.81 ± 10.59	35.94 ± 8.48
Ramas	0.57 ± 1.75	0.73 ± 2.02	24.49 ± 8.56	31.05 ± 10.46

[†]: con fertilización química; [‡]: con fertilización orgánica (lombriabono *in situ*);

[§]: promedio; ^Φ: desviación estándar.

EL abonamiento a las plantas con composta aplicada cada dos meses (primer ciclo) y cada mes (segundo ciclo) producen igual o más biomasa aérea promedio comparado con la fertilización química. Tukey (1964) indica que el portainjertos EMLA7, cuyas características de semi-vigoroso, soporta cierto grado de anegamiento del sustrato, con raíces laterales de fácil producción, con alta ramificación radical, pero de poca profundización, aprovecha mejor el agua y los nutrimentos, produciendo mayor biomasa. Al final de los ciclos de crecimiento no se encontró diferencias estadísticas significativas entre la biomasa estimada de los tratamientos estudiados (cuadro 8).

La biomasa aérea total y de cada parte de la planta, en sus primeros dos ciclos de crecimiento puede ser estimada utilizando algún modelo de regresión lineal múltiple (cuadros 9), aunque la precisión es muy variable, al considerar como variable independiente días acumulados a partir de la brotación. Los modelos (figura 1) pueden expresar desde una función lineal simple hasta una función polinomial con elementos con grado seis. La capacidad de una planta para producir materia seca (productividad total primaria) cuya eficiencia está dada

Cuadro 8. Comparación de promedios para variables pesos secos (g) al final de cada ciclo de crecimiento en manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7 creciendo en cepas en suelo.

Parte de la planta	fecha [†]	-----2004-----			fecha	-----2005-----		
		T1 [‡]	T2 [§]	DMS(H) ^Φ		T1	T2	DMS(H)
Porta-injerto	F0	21.266 a	23.459 a	4.171	F0	17.724 a	16.932 a	5.355
	F6	30.413 a	28.002 a	5.816	F5	47.74 a	44.03 a	24.193
	F7	28.708 a	29.097 a	6.522	F6	108.38 a	75.55 a	37.08
Tallo Principal	F1	2.165 a	2.787 a	1.096	F0	16.167 a	19.721 a	7.864
	F2	9.934 a	10.671 a	4.974	F1	25.229 a	35.066 a	10.943
	F3	11.108 a	13.869 a	3.506	F2	31.554 a	39.827 a	12.579
	F4	17.936 a	22.611 a	4.986	F3	36.355 a	51.044 a	17.758
	F5	21.242 a	27.823 a	9.942	F4	58.63 a	69.99 a	27.123
	F6	22.580 a	28.525 a	10.218	F5	68.48 a	79.51 a	35.085
	F7	23.961 a	30.679 a	11.06	F6	66.46 a	85.16 a	35.28
Ramas	F3	0.210 a	0.750 a	1.149	F2	19.44 a	29.148 a	9.474
	F4	0.360 a	1.185 a	1.966	F3	44.76 a	64.65 a	35.733
	F5	0.645 a	1.316 a	1.537	F4	54.30 a	73.01 a	42.814
	F6	0.713 a	1.429 a	1.622	F5	60.02 a	84.96 a	44.741
	F7	1.033 a	1.394 a	0.659	F6	59.05 a	80.19 a	48.717
Toda la parte aérea no foliar	F0	21.983 a	23.032 a	3.738	F0	33.891 a	36.653 a	12.325
	F6	54.128 a	56.510 a	13.436	F2	76.12 a	92.19 a	38.358
	F7	53.582 a	60.035 a	14.551	F3	111.04 a	147.04 a	64.806
					F4	159.66 a	191.00 a	91.726
					F5	176.25 a	208.51a	100.2
					F6	233.99 a	240.90 a	111.35

[†]: fechas de muestreo durante cada ciclo de crecimiento, las fechas no son coincidentes.

[‡]: con fertilización química; [§]: con fertilización orgánica (lombriabono *in situ*).

^Φ: diferencia mínima significativa para la prueba de comparación de medias Tukey.

^{††}: promedio con la misma letra (por año e hilera) indican no diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

por: la tasa de asimilación neta (TAN, peso seco por superficie de hoja por tiempo), la superficie total de hojas, la cantidad de CO₂ fijado por unidad de área foliar y tiempo, la energía radiante total recibida, las condiciones de humedad y las condiciones nutricionales que se manejen (Gil, 1999).

Por lo cual, para condiciones ambientales homogéneas a todos los árboles, el potencial productivo medido como peso seco o biomasa dependerá de las variaciones que los tratamientos produzcan y a medida que se alejan de las

condiciones óptimas afectarán la fotosíntesis neta y por lo tanto, a la biomasa.

Los modelos son sensibles al efecto de los tratamientos (cuadro 9).

Cuadro 9. Mejor ecuación de regresión para estimar peso seco en diferentes partes aéreas de la planta, en función de los días transcurridos al inicio de brotación (D), al final del primer (2004) y segundo (2005) ciclos de crecimiento del manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7 creciendo en suelo.

Trat.	Parte de la planta	Modelo electo	$R^{2†}$	$C(p)^{¶}$	$CM(E.E)^{§}$
-----2004-----					
T1 ^Φ	Total aérea	$y = (22.27311)D + (-0.32344)D^2 + (0.00159)D^3 + (-0.00000260)D^4$	0.9710	3.0096	72.3035
	Portainjerto	$y = (0.14444)D$	0.7677	202.661	180.899
	Tallo	$y = (0.14424)D + (-1.596 \times 10^{-11})D^5$	0.9113	-1.6812	25.9267
	Ramas	$y = (0.00002179)D^2$	0.2522	-3.4417	1.06048
	Hoja	$y = (0.38364)D + (-0.00223)D^2 + (1.443264 \times 10^{-8})D^4$	0.8458	4.2199	35.3597
T2 ^{††}	Total aérea	$y = (0.28127)D$	0.8677	23.7524	357.413
	Portainjerto	$y = (0.13803)D$	0.6956	71.9713	247.007
	Tallo	$y = (0.17111)D + (-6.0215 \times 10^{-14})D^6$	0.9367	0.8508	29.0205
	Ramas	$y = (0.00754)D$	0.3002	-3.8076	3.13614
	Hoja	$y = (0.64773)D + (-0.00438)D^2 + (3.479621 \times 10^{-8})D^4$	0.9136	16.3098	32.4930
-----2005-----					
T1	Total aérea	$y = (0.84856)D$	0.8766	3.4203	3023.49
	Portainjerto	$y = (0.51595)D + (-0.00185)D^2 + (3.33674 \times 10^{-13})D^3$	0.7826	8.8972	824.679
	Tallo	$y = (0.41739)D + (-1.6673 \times 10^{-13})D^6$	0.8673	11.8616	338.059
	Ramas	$y = (0.18451)D + (0.00000555)D^3 + (-3.203 \times 10^{-13})D^6$	0.8071	1.1865	446.517
	Hoja	$y = (0.87944)D + (-0.00509)D^2 + (0.00000803)D^3$	0.7103	3.4946	583.172
T2	Total aérea	$y = (0.1.00380)D$	0.8658	0.1387	4515.72
	Portainjerto	$y = (0.27965)D$	0.7917	9.7999	504.364
	Tallo	$y = (0.9021)D + (-0.00337)D^2 + (3.42794 \times 10^{-13})D^6$	0.8705	13.7195	529.534
	Ramas	$y = (0.37730)D$	0.7835	-0.0276	988.215
	Hoja	$y = (1.43418)D + (-0.00894)D^2 + (0.00001517)D^3$	0.7955	1.1315	814.445

†: coeficiente de determinación; ¶: coeficiente de Mallows; §: cuadrado medio del error experimental; Φ: tratamiento con fertilización química; ††: tratamiento con fertilización orgánica (lombriabono *in situ*).

4.6 CONCLUSIONES

- La producción de biomasa de manzano “Agua Nueva II” / EMLA7 creciendo en suelo, en un sustrato cuya mezcla de tezontle con tierra de cultivo y composta fue similar cuando se aplicó 120 kg de composta por planta·año⁻¹ para alimentar a la lombriz *Eisenia foetida* que produjo *in situ* la vermicomposta para abonamiento (orgánico), respecto a fertilización química (150 – 75 – 35 – 35 gramos de N – P₂O₅ – K₂O – Mg por planta·año⁻¹). Por lo cual, el abonamiento con vermicomposta, puede ser una alternativa viable para la producción de biomasa en los primeros dos años de crecimiento del manzano. Enmiendas líquidas aplicadas para aportar nitrógeno al sustrato y micronutrientes vía foliar fueron necesarias en periodos de máximo desarrollo vegetativo.
- El tamaño de cepa de 50.0 centímetros de diámetro por 80.0 de profundidad puede considerarse adecuado para producción de biomasa aérea de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7 en un sistema intensivo orgánico, porque la concentración de pelos radicales se localizó (en un muestreo destructivo) a 30 centímetros del tronco y a 60 centímetros de profundidad.
- La producción de biomasa aérea cuando se abonó con vermicomposta producida *in situ* en el segundo año de crecimiento los valores fueron similares entre las siguientes partes de la planta: tronco, tallo y ramas.

Cuando se aplica fertilizante químico los porcentajes promedio de biomasa aérea se modifica en 45:30:25 para tronco, tallo y ramas, respectivamente.

- Se obtuvieron modelos empíricos para estimar la biomasa aérea de manzano cv. Agua Nueva II / EMLA7, los cuales están en función del número de días acumulados a partir de la brotación y de los tratamientos aplicados.

4.7 LITERATURA CITADA

ANÓNIMO. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Diario Oficial de la Federación. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Estados Unidos Mexicanos. D.F., México. 75p. Publicado el martes 31 de diciembre del 2002.

ANÓNIMO. 2003. China now world leader in apple production. *Crónica Horticulturae* 43(2):21.

ANÓNIMO. 2005. Estadísticas agropecuarias 1980-2004. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON). Servicio de Información Estadística Agroalimentaria (SIAP). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). D. F., México.

ANSORENA M., J. 1994. *Sustratos: Propiedades y Caracterización*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.

CALDERON A., E. 1983. *La Poda de los Árboles Frutales*. LIMUSA S.A. México. 549 p.

DALY, M. J., D. P. C. STEWART. 1999. Influence of "Effective Microorganisms" (EM) on vegetable production and carbon mineralization- a preliminary investigation. *Journal of Sustainable Agriculture* 14(2/3): 15-25.

- DÍAZ MONTENEGRO, D. H. 2002. Fisiología de Árboles Frutales. AGT EDITOR, S.A. D.F., México. 390 p.
- GARCÍA, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Tercera ed. D. F., México. 252 p.
- GIL SALAYA, G. F. 1999. El Potencial Productivo. Ediciones Universidad Católica de Chile y Ed. Alfaomega. D.F., México. 331 p.
- LABRADOR M., J. 2001. La Materia Orgánica en los Agrosistemas. 2da. ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Ediciones Mundi-Prensa. España. 293 p.
- LAL KAUSHAL, B. B, P. C. SHARMA. 1995. Apple, pp 91-122. In: Handbook of Fruit Science and Technology: Production, Composition, Storage and Processing. SALUNKHE, D. K.; KADAM, S. S (editors). Marcel Dekker, Inc. New York, U.S.A.
- LIND, K., G. LAFER, K. SCHLOFFER, G. INNERHOFER, H. MEISTER. 2003. Organic Fruit Growing. CABI Publishing. Cromwell Press. Trowbridge, UK. 281p.
- MORRIS D. A. 1996. Hormonal regulation of source-sink relationships: an overview of potencial control mechanisms; cap. 19, pp. 441-465. In Photoassimilate Distribution in Plants and Crops. ZAMSKI, E, A. A. SCHAFFER, (eds.). Ed. Mrcel Dekker Inc. U.S.A. 904 p.
- NEILSEN, G. H., E. J. HOGUE, T. FORGE, D. NEILSEN. 2003. Mulches and biosolids affect vigor, yield and leaf nutrition of fertigated high density apple. HortScience 38(1):41-45.

- STEEL, R. G. D., J. H. TORRIE. 1960. Principles and Procedures of Statistics. Ed. McGraw-Hill. New York, U.S.A. 481 p.
- TUKEY, H. B..1964. Dwarfed Fruit Trees. The MACMILLAN CO. U.S.A. 562 P.
- WASEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. 1996. Plant Roots: The Hidden Half. Ed. Marcel Dekker, Inc. New York, U.S.A. 1002 p.
- ZAMSKI, E.; SCHAFFER, A.A. (eds.). 1996. Photoassimilate Distribution in Plants and Crops. Ed. Mrcel Dekker Inc. U.S.A. 904 p.