



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FRUTICULTURA

**INJERTO DE APROXIMACIÓN EN LA
RECUPERACIÓN DE RENDIMIENTO Y
CALIDAD DE FRUTO DEL MANZANO
`BROOKFIELD GALA`/BUD.9**

MARIANA SÁNCHEZ CERVANTES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE :

MAESTRA EN CIENCIAS

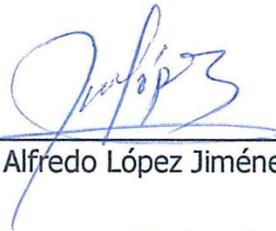
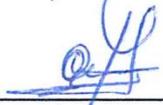
MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2020

La presente tesis titulada: **INJERTO DE APROXIMACIÓN EN LA RECUPERACIÓN DE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DEL MANZANO `BROOKFIELD GALA/BUD.9**, realizada por la alumna: **MARIANA SÁNCHEZ CERVANTES** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FRUTICULTURA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO	 _____ Dr. Alfredo López Jiménez
ASESOR	 _____ Dr. José Isabel Cortés Flores
ASESOR	 _____ M.C. José Pablo Cruz Hernández

Montecillo, Texcoco, Estado de México, febrero de 2020

INJERTO DE APROXIMACIÓN EN LA RECUPERACIÓN DE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DEL MANZANO `BROOKFIELD GALA´/BUD.9

Mariana Sánchez Cervantes, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2020

RESUMEN

En huertos de manzano de alta densidad, los portainjertos enanizantes juegan un papel clave, son resistentes a plagas y enfermedades, promueven o estimulan la producción temprana, incrementan el rendimiento y calidad de fruto por unidad de superficie. Sin embargo, en condiciones limitantes de suelos someros algunos portainjertos enanizantes no son capaces de satisfacer los requerimientos de agua y nutrimentos para la variedad. En Aquixtla Puebla, el crecimiento y desarrollo en arboles de manzano `Brookfield Gala´/Bud.9 son débiles, con sintomatología de deficiencias minerales, en contraste a los árboles injertados en EMLA 7. Por ello, el objetivo de este trabajo fue conocer el efecto del injerto por aproximación del portainjerto EMLA7, realizado en dos fechas, en el crecimiento radical, estatus nutrimental, rendimiento y calidad de fruto del manzano cv. Brookfield Gala/Bud.9. La investigación se realizó en los años 2018 y 2019 en Aquixtla, Puebla, con árboles de cuatro años de edad, bajo un diseño experimental de bloques al azar generalizado y tres repeticiones. El suelo es del tipo Tecnosol, con contenido de materia orgánica bajo, pH neutro, concentración de macro y micronutrimentos de bajo a medio. La mayor cantidad y longitud de raíces se encontró a finales de mayo en la profundidad de 10-20 cm indistintamente del portainjerto. El análisis foliar en 2018 mostró una concentración más alta de Mn y B en árboles de `Brookfield Gala´/Bud.9 + EMLA7 de 2016 y 2017, así como mayor contenido de reservas de almidón y nitrógeno. En 2019, la concentración de Cu y B fue mayor en `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA7-2017. En todos los árboles, la concentración de K y Zn fue baja y la concentración de Ca y B fue alta. El mayor rendimiento se encontró en el testigo `Brookfield Gala´/EMLA7, y éste fue sobresaliente en el peso, diámetro polar y ecuatorial del fruto. La firmeza, el contenido de sólidos solubles totales y la acidez titulable no fueron afectados por los tratamientos. Sin embargo, con injerto de aproximación se observó mejora en el rendimiento, aunque los resultados son incipientes.

Palabras clave: *Malus pumila* Mill., portainjertos enanizantes, injerto por aproximación.

INARCHING IN THE RECUPERATION OF YIELD AND QUALITY OF APPLE TREE `BROOKFIELD GALA´/BUD.9

Mariana Sánchez Cervantes, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2020

ABSTRACT

In high density apple orchard, dwarfing rootstocks play a key role since they early crooping, they are resistant to pests and diseases, promote or stimulate early production, increase yield and fruit quality per unit area. However, under limiting conditions of shallow soils, some dwarfing rootstocks are not able to meet the water and nutrients requirements of scion. In Aquixtla Puebla, growth and development of apple trees `Brookfield Gala´/Bud.9 are weak, showing symptomology of mineral deficiencies, in contrast to trees on EMLA 7. Therefore, the objective of this work was to know the effect of EMLA 7 wich was inarched on two dates, in the annual roots growth, nutritional status, yield and fruit quality of the apple tree cv. Brookfield Gala/Bud.9. The research was conducted in 2018 and 2019 in Aquixtla, Puebla, with four-year old trees, under an experimental design of randomized generalized blocks and three repetitions. The soil is Tecnosol type, with low organic matter content, neutral pH, macronutrients and micronutrients concentration. The greatest amount and length ot roots was found at the end of may at a depth of 10-20 cm regardless of the rootstock and inarched with EMLA 7. Leaf analysis in 2018 showed a higher concentration of Mn and B in `Brookfield Gala´/Bud.9 + EMLA 7 inarched in 2016 and 2017, as well as higher content of starch and nitrogen reserves. In 2019, the concentration of Cu and B was higher in `Brookfield Gala´/Bud.9 + EMLA7-2017. In all the trees the concentration of K and Zn was low and the concentration of Ca and B was high. The highest yield was found in `Brookfield Gala´/EMLA 7 control, this was outstanding in the weight, polar and equatorial diameter of the fruit. Firmness, total soluble solids content and titratable acidity were not affected by the treatments. However, with the inarched, were was a tendency to increase the yield, although the results are incipient.

Key words: *Malus pumila* Mill., dwarfing rootstocks, inarched.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por haberme otorgado la beca para realizar el postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Fruticultura, y de esta manera ampliar mis conocimientos.

Al Programa de Fortalecimiento Académico-Apoyos Complementarios para Mujeres Indígenas Becarias CONACyT, por el apoyo económico brindado, que fue de gran ayuda en mi formación y conclusión de mis estudios en el postgrado.

Al Colegio de Postgraduados, PREGEP-Fruticultura, por brindarme la oportunidad de enriquecer mi formación como estudiante en el desarrollo y aprendizaje de mis estudios planteados.

Al Doctor Alfredo López Jiménez por su paciencia y disponibilidad en la dirección del trabajo de investigación, así como su confianza depositada en mí. Además, de sus observaciones y sugerencias pertinentes.

Al Doctor José Isabel Cortés Flores, por su disponibilidad en el apoyo del trabajo realizado y conocimientos compartidos, así como sus observaciones y sugerencias muy acertadas.

Al M.C José Pablo Cruz Hernández por su disponibilidad y conocimientos compartidos en campo; sus observaciones y sugerencias en el trabajo de investigación y por la confianza para que se desarrollara el trabajo.

Al M.C. David Jaén Contreras por su disponibilidad, amabilidad y asesoría en las actividades de laboratorio.

Al M.C Patricio Sánchez Guzmán por su colaboración en el trabajo de campo y asesoría en laboratorio.

A todos mis ami@s y compañer@s del Colegio de Postgraduados por su apoyo y amena compañía.

“Tlazocamati miack nochten tlen o´nech palewike itech inin tlamachtlistli”

“Muchas gracias a todos lo que me ayudaron en este aprendizaje”

DEDICATORIAS

A mi madre Eugenia por su apoyo y cariño incondicional y a enseñarme a luchar por lo que se quiere.

□ A mi padre por su apoyo, aunque ya no esté presente siempre estará conmigo.

A mis herman@s (Gudelia, Daniela, Raquel, Mónica, Elvia, Argelia e Israel) por su cariño y apoyo incondicional, que juntos hemos compartido momentos difíciles y de alegría.

Aquell@s personas que siempre estuvieron en los momentos difíciles y por su apoyo.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE CUADROS	xii
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
OBJETIVOS	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos	2
HIPÓTESIS	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Portainjertos enanizantes en la nutrición y rendimiento de manzano	3
Características de los portainjertos Bud.9 y EMLA7	4
Interacción entre cultivar y portainjerto	5
Compatibilidad e incompatibilidad entre cultivar/portainjerto	6
Alternativas para mejorar el vigor, nutrición y rendimiento en frutales.....	8
CAPÍTULO I. CRECIMIENTO DE RAÍCES	9
1.1 RESUMEN.....	9
1.2 ABSTRACT	10
1.3 INTRODUCCIÓN	11
1.4 REVISIÓN DE LITERATURA.....	12
1.4.1 Función e importancia de las raíces	12
1.4.2 Épocas de crecimiento de las raíces	16
1.4.3 Factores edafoclimáticos que influyen en el crecimiento de raíces	17
1.4.4 Métodos para estudiar el crecimiento de raíces	19
1.5 MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
1.5.1 Sitio experimental	21
1.5.2 Material vegetal.....	21
1.5.3 Manejo del cultivo	22
1.5.4 Caracterización del medio ambiental.....	23
1.5.4.1 Microclima del huerto.....	23

1.5.4.2 Fertilidad del suelo.....	23
1.5.4.3 Descripción del perfil de suelo	24
1.5.4.4 Crecimiento de raíces.....	25
1.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
1.6.1 Temperatura ambiental y precipitación	26
1.6.2 Temperatura del suelo y humedad relativa	28
1.6.3 Intensidad lumínica y punto de rocío.....	29
1.6.4 Fertilidad de suelo.....	30
1.6.5 Descripción del perfil de suelo	32
1.6.6 Crecimiento de raíces primarias	36
1.6.7 Porcentaje de raíces terciarias	41
1.7 CONCLUSIONES	43
1.8 LITERATURA CITADA.....	43
CAPÍTULO II. ESTATUS NUTRIMENTAL, RESERVAS DE ALMIDÓN Y NITRÓGENO	53
2.1 RESUMEN	53
2.2 ABSTRACT	54
2.3 INTRODUCCIÓN	55
2.4 REVISIÓN DE LITERATURA.....	56
2.4.1 Factores que influyen en la nutrición del manzano	56
2.4.2 Intervalos de suficiencia nutrimental en manzano	59
2.4.3 Asimilación y utilización de carbohidratos y nitrógeno	60
2.5 MATERIALES Y MÉTODOS.....	62
2.5.1 Diseño experimental	62
2.5.2 Estatus nutrimental	63
2.5.3 Reservas de almidón y nitrógeno.....	64
2.5.4 Análisis estadístico	65
2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
2.6.1 Estatus nutrimental	65
2.6.2 Reservas de almidón y nitrógeno.....	76
2.7 CONCLUSIONES	78

2.8 LITERATURA CITADA.....	79
CAPÍTULO III. VIGOR DEL ÁRBOL, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO.....	85
3.1 RESUMEN	85
3.2 ABSTRACT	86
3.3 INTRODUCCIÓN	87
3.4 REVISIÓN DE LITERATURA.....	88
3.4.1 Vigor y rendimiento en la producción del manzano	88
3.4.2 Comportamiento de los portainjertos Bud.9 y EMLA7 en el rendimiento .	90
3.4.3 Producción e importancia del manzano	92
3.4.4 Calidad del fruto de manzana	92
3.5 MATERIALES Y MÉTODOS.....	94
3.5.1 Diseño experimental	94
3.5.2 Vigor del árbol.....	94
3.5.3 Rendimiento y eficiencia de rendimiento	95
3.5.5 Análisis estadístico	96
3.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	97
3.6.1 Rendimiento.....	97
3.6.2 Área de la sección transversal del tronco	99
3.6.3 Eficiencia de rendimiento.....	100
3.6.4 Calidad del fruto.....	101
3.6.4.1 Peso y tamaño del fruto.....	101
3.6.4.2 Firmeza.....	102
3.6.4.3 Sólidos solubles totales	103
3.6.4.4 Acidez titulable y color	106
3.7 CONCLUSIONES	107
3.8 LITERATURA CITADA.....	107
CONCLUSIONES GENERALES	115
ANEXOS	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación del Municipio de Aquixtla, Puebla, México.	21
Figura 1.2. A) Placa de vidrio (rizotrón) cuadrículado, B) lámina de acetato puesta sobre la placa de vidrio.....	25
Figura 1.3. Temperatura máxima, media y mínima, y precipitación registrados en 2018 y 2019 el huerto de manzano en Aquixtla, Puebla.	27
Figura 1.4. Temperatura del suelo a 20 cm de profundidad y humedad relativa ambiental en el huerto de manzano con el cv. Brookfield Gala-en Aquixtla, Puebla.	29
Figura 2.1. Curva de calibración para la determinación de almidón en la porción basal de yemas del manzano `Brookfield Gala´.	65
Figura 2.2. Efecto del injerto por aproximación de EMLA7 en la concentración de A) hierro y B) cobre en hojas del manzano cv. Brookfield Gala a los 24 DDPF.....	66
Figura 2.3. Efecto del injerto por aproximación de EMLA7 en la concentración de A) magnesio, B) boro y C) manganeso de hojas maduras del manzano cv. Brookfield Gala, a los 106 DDPF.....	68
Figura 2.4. Efecto del injerto de aproximación del portainjerto EMLA 7 en A) fósforo y B) magnesio, C) cobre y D) boro en hojas jóvenes de manzano cv. Brookfield Gala a los 24 DDPF.....	71
Figura 3.1. Cultivar Brookfield Gala injertado sobre Bud.9, con el portainjerto EMLA 7 injertado por aproximación.	95

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1. Fechas de registro del número y longitud de raíces en los rizotrones.....	26
Cuadro 1.2. Características físicas y químicas del suelo a la profundidad de 0-30 y 30-60 cm en el huerto de manzano `Brookfield Gala´ en Aquixtla, Puebla	31
Cuadro 2.1. Intervalos de suficiencia nutrimental en manzano, (Jones <i>et al.</i> , 1991). ...	59
Cuadro 2.2. Efecto del injerto de aproximación en la concentración mineral de macro y micronutrientos en hojas jóvenes de árboles del manzano `Brookfield Gala´, 24 DDPF en el año 2018	72
Cuadro 2.3. Efecto del injerto de aproximación en la concentración mineral de macro y micronutrientos en hojas maduras de árboles de manzano `Brookfield Gala´ a los 106 DDPF en el año 2018.....	72
Cuadro 2.4. Efecto de injerto por aproximación en la composición mineral de macro y micronutrientos en hojas jóvenes de árboles de manzano `Brookfield Gala´, 24 DDPF en el año 2019.	73
Cuadro 2.5. Efecto del injerto de aproximación en el contenido de almidón en la base de las yemas del manzano cv. Brookfield Gala: A) área de la copa con injerto de aproximación y B) área de la copa sin injerto de aproximación.	76
Cuadro 2.6. Efecto del injerto de aproximación en la concentración de nitrógeno en la base de las yemas del manzano cv. Brookfield Gala: A) área de la copa con injerto de aproximación y B) área de la copa sin injerto de aproximación.	77
Cuadro 3.1. Rendimiento, área de la sección transversal del tronco, rendimiento y eficiencia de rendimiento del manzano `Brookfield Gala´ en respuesta al injerto de aproximación en dos ciclos de producción.	98

Cuadro 3.2. Peso, diámetro polar y ecuatorial, firmeza y sólidos solubles de frutos del manzano cv. Brookfield Gala en respuesta al injerto de aproximación en dos años de producción.	105
Cuadro 3.3. Efecto del injerto de aproximación en la acidez titulable (expresado en ácido málico) y color de frutos del manzano cv. Brookfield Gala en el año de producción 2018.	106

INTRODUCCIÓN GENERAL

La producción de manzana a nivel mundial ha aumentado mediante el mejoramiento genético y la selección de portainjertos y cultivares. En las plantaciones de manzano al igual que otras especies frutales, los portainjertos enanos tienen un impacto significativo no solo en la tolerancia, resistencia a plagas y enfermedades, sino también en el crecimiento del árbol, calidad del fruto (Li *et al.*, 2004) y garantizan altos rendimientos por unidad de superficie y son precoces. Además, el porte bajo de los árboles facilita las labores culturales como es la poda, cosecha, y ocupan menos espacio comparado con portainjertos vigorosos. Actualmente los huertos tradicionales han pasado a huertos de alta densidad que varía de 1,000 a 6,000 árboles/ha (Robinson, 2007).

En la relación cultivar/portainjerto, se puede afectar el vigor (Kviklys *et al.*, 2016), y modificar el estado nutrimental de los árboles (Fallahi *et al.*, 2013), de la cual influye en el desarrollo de las flores y la calidad del fruto (Kucukyumuk y Erdal, 2011). Una de las razones más importantes para el uso de los portainjertos es la eficiencia en la absorción y transporte de agua y nutrimentos, la cual está influenciado por la morfología y distribución espacial de las raíces, y la relación del árbol con el suelo (Gregory *et al.*, 2013). Dado que los portainjertos vigorosos tienen raíces más grandes y pueden explorar mayor volumen de suelo, aunque tienden a utilizar mayor cantidad de agua que los portainjertos enanos (Higgs y Jones 1990). Así mismo, el sistema de raíces de los portainjertos puede estar relacionado con el rendimiento de los cultivares (Lynch y Brown, 2012).

Los portainjertos enanizantes en condiciones de suelo y agua limitantes no siempre presentan la misma eficiencia con el cultivar injertado, reducen el crecimiento, desarrollo del árbol y causan deficiencias nutrimentales. Aunado a los escasos resultados de investigación que se tiene sobre su adaptación, por lo que se puede cometer el error al elegir el portainjerto. En el establecimiento de una huerta con un cultivar adaptado a las condiciones ambientales del lugar, pero no del portainjerto, se puede afectar seriamente el potencial productivo. Tal es el caso de un huerto de Aquixtla, Puebla, en el cual el

cultivar Brookfield Gala está injertado en los portainjertos Bud.9 y EMLA7. Los árboles en el primer portainjerto, presentan deficiencias nutrimentales temporales y bajo vigor. Una alternativa para este problema es plantar con un portainjerto adecuado, sin embargo, ésta es costosa y significa pérdida de tiempo. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto del injerto de aproximación del portainjerto EMLA7 para mejorar el funcionamiento de árboles de manzano cv. Brookfield Gala/Bud.9 que presentan crecimiento y desarrollo débiles, así como la baja producción de frutos en un suelo somero de Aquixtla, Puebla.

OBJETIVOS

Objetivo general

Estudiar el efecto del injerto de aproximación para mejorar el funcionamiento del árbol de manzano cv. Brookfield Gala/Bud.9 que presentan crecimiento y desarrollo débiles, así como baja producción de frutos en un suelo somero de Aquixtla, Puebla.

Objetivos específicos

- Estudiar la dinámica de crecimiento anual de raíces por el efecto del portainjerto EMLA 7 injertado por aproximación en el cv. Brookfield Gala/Bud.9.
- Evaluar el estatus nutrimental y contenido de reservas por la influencia del portainjerto EMLA7 injertado por aproximación en el tronco del cv. Brookfield Gala/Bud.9.
- Evaluar el efecto del portainjerto EMLA 7 injertado por aproximación en el tronco del cv. Brookfield Gala/Bud.9 en el rendimiento y calidad de fruto.

HIPÓTESIS

El desempeño del portainjerto Bud.9 se mejora significativamente con el injerto de aproximación con un portainjerto de mayor vigor en el estatus nutrimental, crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad del fruto de manzano cv. Brookfield Gala.

REVISIÓN DE LITERATURA

Portainjertos enanizantes en la nutrición y rendimiento de manzano

Los avances tecnológicos en la producción de manzana, selección y utilización de portainjertos y cultivares han evolucionado de tal manera que en la actualidad se cultiva el manzano en muchas partes del mundo (Fazio, 2014). El uso de portainjertos enanizantes y precoces, en los últimos 60 años han permitido cambiar de los sistemas de producción tradicionales a huertos de alta densidad (Robinson, 2007). Las densidades altas, requieren portainjertos que promueven árboles con rendimiento reducido por árbol, pero con rendimientos altos por unidad de área (Hampson *et al.*, 2002). Uno de los primeros portainjertos enanizantes utilizados fue Malling 9 (M.9) que cambió el paradigma de la producción de manzana, y ha sido utilizado en muchas partes del mundo (Marini *et al.*, 2014). El uso de portainjertos enanizantes es una estrategia para transferir el control genético del vigor a cultivares de alto rendimiento (Reddy *et al.*, 2003). Además, estos son aptos para cultivares en suelos altamente fértiles (Lang, 2000).

En árboles frutales los portainjertos son importantes por las características benéficas que aportan al cultivar. En manzano, ellos controlan el vigor de la variedad, la precocidad, la resistencia de plagas y enfermedades, el rendimiento y la calidad del fruto (Webster, 2002), la tolerancia a bajas temperaturas, sequía, bajo requerimiento de frío, adaptación a diferentes tipos de suelos y la capacidad de absorción y translocación de nutrientes (Robinson *et al.*, 2014). Mientras que en el cerezo son utilizados principalmente para aumentar la precocidad (Whiting *et al.*, 2005).

El uso específico de portainjertos puede proteger a la variedad de enfermedades transmitidas por el suelo como la pudrición de la corona causado por *Phytophthora cryptogea*, enfermedades bacterianas como agalla del cuello causado por *Agrobacterium tumefaciens* y el tizón de fuego causado por *Erwinia amylovora*, de insectos como el áfido del manzano causado por *Eriosoma lanigerum* Hausmann, (Beers *et al.*, 2007), y de estrés abióticos como la sequía (Tworkoski *et al.*, 2016), exceso de agua, heladas tardías y tolerancia al frío invernal (Robinson, 2007).

Una de las razones más importantes para el uso de los portainjertos es la absorción y transporte de nutrimentos. Sin embargo, Joubert *et al.* (2011), indican que el portainjerto tiene un efecto insignificante sobre la composición nutrimental de la hoja, mientras que otros autores han señalado el efecto significativo del portainjerto sobre la composición mineral del fruto (Joubert *et al.*, 2011; Fazio *et al.*, 2013).

Entre cultivares y portainjertos varía la absorción y translocación de nutrimentos por lo que hay respuesta diferencial en el crecimiento de los árboles, rendimiento y calidad de fruto (Campeanu *et al.*, 2009). De acuerdo con estudios realizados parece que los portainjertos tienen mínima influencia sobre nitrógeno y potasio hacia el cultivar, sin embargo, su efecto es significativo en los elementos calcio y magnesio, los cuales están implicados en el desarrollo de la mancha amarga (Marini y Fazio, 2018). Lockard y Schnieder (1981), concluyeron que los efectos de los portainjertos en el tamaño y precocidad del árbol no se deben a las diferencias en la concentración de minerales de la hoja. Así también, los portainjertos y la carga de cosecha pueden afectar los niveles nutrimentales, calidad y vida postcosecha del fruto.

Los portainjertos también contribuyen en la precocidad, calidad del fruto y por consiguiente la carga de cosecha. Por otro lado, el efecto de los portainjertos en el crecimiento y rendimiento del árbol están influenciado por la morfología y distribución espacial de las raíces (Gregory *et al.*, 2013). Los portainjertos vigorosos tienen sistemas de raíces más grandes que pueden explorar mayor volumen de suelo y con ello más área foliar, con una tendencia a utilizar mayor cantidad de agua que los portainjertos enanos (Higgs y Jones, 1990). Lynch y Brown (2012), mencionan que el rendimiento de cultivares en diferentes tipos de suelo puede estar relacionado con las características del sistema de raíces.

Características de los portainjertos Bud.9 y EMLA7

La serie Budagovsky o Bud.9 se liberó en 1976. Es originario de Rusia de una cruce entre M.8 x Red Standard (Barrit *et al.*, 1990). Es un portainjerto que produce árboles de tamaño entre M.9 y M.26, y dependiendo del cultivar puede requerir soporte. Induce una

producción precoz en el segundo a tercer año y es compatible con muchos cultivares. Es muy resistente a pudrición de cuello (*Phytophthora cactorum*), moderadamente resistente a cenicilla (*Podosphaera leucotricha*), roña (*Venturia inaequalis*) y pulgón lanígero (*Eriosoma lanigerum*). Inicialmente se pensaba que este patrón era susceptible a Tizón de Fuego (*Erwinia amylovora*); sin embargo, desarrolló resistencia ontogénica que se ha mantenido en las plantaciones en el noreste de EE.UU. (Russo *et al.*, 2008). También se usa para la tolerancia al estrés ambiental (Abdelmageed y Gruda, 2009), debido a que es resistente a bajas temperaturas por lo que, se recomienda para zonas muy frías (Parra y Guerrero, 2005)

El portainjerto EMLA7 es un portainjerto semi-enano seleccionado de semilla en Inglaterra por la East Malling Research Station. Posteriormente fue propagado clonalmente. Su vigor es del 60% con relación al portainjerto franco y de buen anclaje, requiere soporte por la carga de fruto que puede ladearse (Parra y Guerrero, 2005). Es un portainjerto precoz, inicia su producción al tercer o cuarto año con buen rendimiento, aunque su desventaja es la emisión de chupones. Es moderadamente tolerante a pudrición de cuello (*Phytophthora cactorum*), susceptible a pulgón lanígero (*Eriosoma lanigerum*), no se adapta en suelos pesados, pero si en suelos francos o moderadamente arenosos (Parra y Guerrero, 2005). Es resistente a tizón de fuego en combinación con cultivares `Delicious´ y es tolerante a sequía y frío (Cline *et al.*, 2001).

Interacción entre cultivar y portainjerto

En el cultivo árboles frutales, en general el árbol está compuesto de un portainjerto, que constituye la parte de la raíz y el cultivar la que produce el fruto deseado. El éxito permanente de esta combinación demanda la unión acertada tanto el xilema y el floema de la variedad y el portainjerto (Wang y Kollman, 1996). Así mismo, que la raíz del portainjerto se adapte a las condiciones del suelo.

El portainjerto no solo afecta el crecimiento de la variedad, sino también influye en el crecimiento y estructura de la raíz (Ma *et al.* 2013), relaciones hídricas, vigor del árbol y distribución del amarre de frutos (Sotiropoulos, 2006). Las raíces del portainjerto

proporcionan agua, nutrientes y hormonas a la variedad, en reciprocidad la variedad le suministra asimilados, hormonas y otros compuestos, por lo que su interacción es compleja.

Los primeros estudios que se han realizado en manzano de la interacción indican que las tasas de crecimiento del cultivar/portainjerto están controlados principalmente por el genotipo del cultivar, sin embargo, el portainjerto tenía mayor influencia en el vigor (Marini y Fazio, 2018). Las hormonas también afectan el crecimiento y la arquitectura del árbol, parece probable que las diferencias inducidas por el patrón de crecimiento de la raíz del árbol estén relacionadas con la interacción entre auxinas, giberelinas y citocininas.

Las altas concentraciones de auxinas y posiblemente de giberelinas pueden aumentar el vigor del cultivar directamente, o posiblemente de manera indirecta, al alterar la diferenciación celular, que resulta en vasos más pequeños que suprimen el movimiento del agua y otros compuestos que promueven el crecimiento a través de la unión cultivar-portainjerto. Marini y Fazio (2018), mencionan que el uso de portainjertos enanos como interinjertos también pueden influir en el vigor del cultivar, aunque es mínimo el efecto si el cv. se une directamente al portainjerto.

Zhou *et al.* (2015), reportan que los portainjertos de manzano influyen en el tamaño y peso específico de las hojas y la fotosíntesis neta en el cultivar, además en la distribución del carbono en diferentes partes del árbol. Por otra parte, los portainjertos afectan diferentes componentes del crecimiento del cultivar, por ejemplo, el número de entrenudos formados en el año (Webster, 2001).

Compatibilidad e incompatibilidad entre cultivar/portainjerto

La selección de un portainjerto adecuado significa una combinación correcta en el cultivar, de ello depende el rendimiento, vigor y la calidad del fruto objetivos (Font i Forcada *et al.*, 2014), esto se refleja en el crecimiento y desarrollo del árbol. Por ello las evaluaciones histológicas del desarrollo de callo, la posición de las capas necróticas, la diferenciación cambial y el desarrollo de tejidos vasculares dan la primera información

sobre compatibilidad o incompatibilidad de combinaciones en corto tiempo (Kankaya *et al.*, 1999). Así también, los fenoles juegan un papel importante en la compatibilidad entre cultivar/portainjerto (Errea, 1998).

La incompatibilidad entre cultivar y portainjerto ocurre con frecuencia (Errea *et al.*, 2001), y se define como un fenómeno de senescencia prematura causada por un proceso fisiológico y bioquímico (Feucht, 1988). También puede definirse como la incapacidad de formar una unión de injerto exitosa (Goldschmidt, 2014). Por lo tanto, se ha sugerido que las características anatómicas anormales son el resultado de la incompatibilidad o la falta de homogeneidad de los tejidos del cultivar y el portainjerto (Simons y Chu, 1980).

Las causas de incompatibilidad no son claras, pero algunos estudios reportan que la incompatibilidad de injerto afecta el crecimiento de los árboles, generalmente se expresa durante el primer año de crecimiento del cultivar, aunque a veces los síntomas pueden retrasarse (Salesses y Bonnet, 1992). Algunos cultivares pueden mostrar incompatibilidad localizada, causando debilidad mecánica de la unión que puede provocar su rotura varios años después del injerto (Zarrouk *et al.*, 2006).

La incompatibilidad en los portainjertos se debe a las características anatómicas, fisiológicas y bioquímicas, por lo que reduce la continuidad vascular y el transporte de carbohidratos y nutrientes a través de la unión, haciendo que estos materiales se acumulen a ambos lados (Andrews y Serrano Márquez, 1993). De la misma manera puede causar la muerte de los árboles (Autio *et al.*, 2011). Las anomalías morfológicas en la unión del injerto también pueden dificultar el transporte de agua y nutrientes, carbohidratos y hormonas a través de la unión (Nakano *et al.*, 2004). Así también compuestos químicos como peroxidasas (Feucht *et al.* 1983), polifenoles (Dos Santos Pereira *et al.*, 2014) y hormonas vegetales entre ellas auxinas y citocininas (Aloni *et al.*, 2010) que pueden participar en la división, diferenciación y función de las células en la unión del injerto.

Alternativas para mejorar el vigor, nutrición y rendimiento en frutales

En árboles frutales se ha utilizado técnicas como el interinjerto para la resistencia de plagas o enfermedades o aumentar el rendimiento con resultados favorables en algunos cultivares. También se ha utilizado la técnica del injerto por aproximación, consiste en plantar plántulas jóvenes de otro portainjerto junto a un árbol injertado y después injertarlas en el tronco del cultivar (Bové y Ayres, 2007), en plantaciones con incidencias de fitopatógenos. Así como para la tolerancia de los árboles injertados a una variedad de estrés abióticos y bióticos (Román *et al.*, 2004).

Además, se ha utilizado en la recuperación de los árboles debido a los daños en las raíces de nogales, cítricos, macadamia, mango, peras, manzanas, albaricoques y aguacate. También, se ha ocupado en portainjertos enanizantes para mejorar el vigor mediante portainjertos vigorosos (Hartmann *et al.*, 2002).

En el cultivo de guayaba se ha utilizado la técnica del injerto de aproximación para disminuir el problema de nematodos que causa el nudo de la raíz (Moonkuntha *et al.*, 2009). Así también, se ha observado que en condiciones deficientes de boro (B) en la naranja `Newhall´ esta técnica incrementa su concentración y mejora el desarrollo del cultivar, también puede ser eficiente para lograr mayor desarrollo de raíces en los árboles (Wang, *et al.*, 2016). La deficiencia de boro ocurre en árboles de cítricos ya maduros (Xiao *et al.*, 2007) lo que dificulta la sustitución de portainjertos ineficientes, sin embargo, la operación requiere tiempo y es costosa.

CAPÍTULO I. CRECIMIENTO DE RAÍCES

1.1 RESUMEN

Las raíces de los portainjertos influyen en el crecimiento y desarrollo del cultivar y este sobre el crecimiento de raíces acorde a su medio ambiente. Por ello, es importante conocer la dinámica anual de crecimiento dependiendo de la combinación cultivar/portainjerto y su relación con el medio ambiente. El objetivo de este trabajo fue describir la dinámica de crecimiento anual de raíces del `Brookfield Gala´/Bud.9, `Brookfield Gala´/EMLA 7 y `Brookfield Gala´/Bud.9 + EMLA7, el cual fue injertado por aproximación en el tronco de `Brookfield Gala´/Bud.9 en 2016 y 2017. Los árboles están establecidos a 1x2 m entre árboles e hileras, respectivamente. Se instalaron cuatro rizotrones con placas de vidrio transparente, una por árbol por tratamiento. La temperatura del aire y del suelo, la humedad relativa e intensidad lumínica fueron registrados con una data logger y promediados cada mes desde mayo 2018 hasta abril 2019. Se evaluó la fertilidad del suelo a las profundidades de 0-30 y 30-60 cm, y su descripción del perfil del suelo somero. La medición del crecimiento y distribución de las raíces se realizó por el método de perfil hasta 60 cm de profundidad. El suelo es de origen volcánico tipo Tecnosol, con contenido de materia orgánica bajo a muy bajo, pH neutro; la concentración de macro y micronutrientes fue bajo a medio. La mayor cantidad y longitud de raíces se encontró a finales de mayo en la profundidad de 10-20 cm indistintamente del tipo de portainjerto. La disminución del crecimiento fue visible en el mes de septiembre. El árbol de `Brookfield Gala´/EMLA7 tuvo mayor crecimiento de raíces en todas las profundidades y mayor porcentaje de raíces <1 mm de diámetro en comparación al árbol constituido por `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA7 injertado por aproximación en 2017.

Palabras clave: Portainjertos enanizantes, crecimiento anual de raíces, condiciones ambientales, injerto por aproximación.

1.2 ABSTRACT

The roots of the rootstock influence the growth and development of the cultivar and this their growth of the roots according to your environment, so it is important to know their annual growth dynamics according to the cultivar/rootstock combination. The objective of this work was to describe the annual root growth dynamics of trees `Brookfield Gala´/Bud.9, `Brookfield Gala´/EMLA 7 and `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA7, wich was inarched to the trunk of `Brookfield Gala´/Bud.9, inarched in 2016 and 2017. The trees are established at 1x2 m between trees and rows, respectively. Four rhizotrons with transparent glass plates were installed, one per tree per treatment. The air and soil temperature, relative humidity and the light intensity were recorded with a data logger and averaged every month from may 2018 to April 2019. Soil fertility was evaluated at depths of 0-30 and 30-60 cm, and its description of the shallow soil profile. The growth and distribution of the roots were measured by the profile method up to 60 cm deep. The soil is Tecnosol type volcanic origin, with low to very low organic matter content, neutral Ph. The concentration of macro and micronutrients was low to medium The greatest amount and length of roots was found at the end of may at a depth of 10-20 cm regardless of the type of rootstock. The decline in growth was visible in september. The `Brookfield Gala´/EMLA 7 tree had greater root growth at all depths and a greater percentage of roots <1 mm in diameter compared to the tree constituted by `Brookfield Gala´/Bud.9 + EMLA 7 grafted by approximation in 2017.

Key words: Dwarfinf rootstocks, annual root growth, environmental conditions, inarched.

1.3 INTRODUCCIÓN

El conocimiento de los mecanismos de crecimiento y funcionamiento de los árboles frutales es importante desde el punto de vista productivo para mantener la rentabilidad de un huerto en ciertas condiciones, así como permitir el buen manejo cultural y económico. La raíz es uno de los órganos más importantes de la planta porque a través de ella los nutrimentos y agua se pueden transportar hacia la parte aérea para el crecimiento y desarrollo de los árboles, así mismo la parte aérea es indispensable para la síntesis de carbohidratos que son translocados hacia la raíz a través del floema, por ello la relación raíz-parte aérea debe estar equilibrada.

Las raíces no solo influyen en el transporte sino también pueden detectar déficit de agua en el suelo y enviar señales que regulan el funcionamiento de las estomas. El desarrollo de raíces está determinado por las características de las especies vegetales y por factores ambientales tales como el clima y las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Smit *et al.*, 2000; Lehmann, 2003). También por la disponibilidad de agua y nutrimentos (Malamy, 2005), mientras que la cantidad de raíz producida está influenciada por el tipo de portainjerto, vigor, cultivar, edad del árbol, profundidad de suelo, densidad de plantación, manejo de la huerta y la competencia con otras plantas (Atkinson y Webster, 2001). Su vida útil varía mucho con las especies y las condiciones ambientales (Watson *et al.*, 2000).

En manzano se reporta que la dinámica de las raíces es eficiente, lo que hace que adquieran más agua y nutrimentos (Eissentat *et al.*, 2001). Actualmente el rendimiento de la manzana se ha vinculado con mayor interés a la arquitectura del sistema de raíces, debido a que los nutrientes y agua no se distribuyen de manera uniforme en el perfil de suelo, por ello el rendimiento está influenciado por la capacidad del sistema de raíces para captar agua y nutrientes de mayor volumen posible del suelo (Lehmann, 2003).

En los portainjertos, las raíces varían de acuerdo a su estructura e influyen en su distribución, periodicidad del crecimiento y actividad en los tipos de suelo (Head, 1966). Las raíces de los portainjertos enanos son más superficiales y sensibles a estrés

ambiental (Ma *et al.*, 2013) debido al sistema de enraizamiento poco profundo (Di Vaio *et al.*, 2009); mientras que los portainjertos vigorosos muestran mejor crecimiento y adaptabilidad en el suelo (Ma *et al.*, 2013). Sin embargo, el desarrollo radical de los portainjertos enanos se debe a las condiciones de su establecimiento.

Por ello, el objetivo de esta parte del trabajo fue estudiar la dinámica de crecimiento anual de raíces del cv. Brookfield Gala injertado en el portainjerto Bud.9, apoyado con el portainjerto EMLA7 por injerto de aproximación, y las condiciones ambientales en las que se encuentra establecida.

1.4 REVISIÓN DE LITERATURA

1.4.1 Función e importancia de las raíces

La arquitectura de la raíz es el resultado de los procesos de desarrollo y varía según la especie de la planta, composición del suelo y en particular, la disponibilidad de agua y nutrientes minerales (Malamy, 2005). Se constituye por la forma y estructura, la forma define la ubicación de las raíces en el espacio y la estructura en que ocupa el suelo. A nivel fisiológico se ha observado cómo las raíces afectan el crecimiento de nuevas ramas, hojas y brotes, asimilación de carbono, diferenciación de yemas florales y el desarrollo de frutos (Hodge *et al.*, 2009).

La morfología *in situ* puede ser compleja y varía dentro de una especie (Kutschera, 1960), lo que refleja su interacción entre los procesos de desarrollo y las restricciones ambientales. El meristemo apical constituye el nicho de las células que eventualmente produce todos los órganos debajo del suelo, incluidas las células laterales (Sabatini *et al.*, 2003). Durante la iniciación de la raíz, el centro quiescente parece actuar como centro organizador que dirige directamente a las células circundantes para producir un conjunto de iniciales (Jenik *et al.*, 2007). Los diferentes mecanismos especifican a iniciales por encima del centro quiescente que dan origen a las iniciales proximales, así como las iniciales por debajo del centro quiescente que producen las raíces apicales (iniciales distales). Este límite de la raíz y el meristemo apical de la raíz subyacente forman la zona llamada el ápice de la raíz distal, donde las células se dividen activamente.

El crecimiento de raíces en el suelo, durante el alargamiento del ápice empuja hacia el interior del suelo, la parte de la raíz detrás de la zona de elongación está anclada en el suelo, sin embargo, durante el movimiento, el ápice de la raíz debe superar la resistencia mecánica del suelo. Una de las limitaciones físicas comunes para la penetración es la impedancia mecánica, que no solo afecta la tasa de crecimiento de las raíces y morfología (Masle, 2002) sino también la dirección del crecimiento tortuoso (Tardieu y Katerji, 1991). Pierret *et al.* (2005), demostraron que cuanto más delgadas eran las raíces, más denso era el suelo en el que estaban ubicados, lo que indicaba que se accedía a los poros de diferentes radios desde los ejes principales a los laterales de diferente orden.

Las raíces se clasifican de acuerdo a su ontogénesis en tres categorías principales: raíces primarias, nodales y laterales (Klepper, 1992) también las diferencias entre especies mono y dicotiledóneas; las raíces de las dicotiledóneas se derivan de las raíces primarias y de la ramificación lateral. De la misma manera se clasifican en función del diámetro, la más pequeña corresponde a las raíces finas (<2 mm de diámetro) se ha reportado que tienen tasas de respiración más altas (Pregitzer *et al.*, 1998) y riesgo de mortalidad que las raíces gruesas (Wells y Eissenstat, 2001). Las raíces de primer orden son los que terminan en un meristemo y carentes de raíces laterales, las de segundo orden son solo un conjunto de laterales dependientes y las de tercer orden formadas en la unión de dos raíces de segundo orden, son las más importantes para la absorción de agua y nutrimentos (Eissenstat *et al.*, 2001). Aunque, Nye y Tinker (1977), sugieren que el factor más importante que influye en la adquisición de nutrientes es la longitud total del sistema de raíces. Sin embargo, la absorción de nutrientes inmóviles como fosfato, zinc y el hierro depende particularmente del área de la superficie de absorción de la raíz, que no está influenciada por la longitud de la raíz, sino por la longitud de los pelos de la raíz y las hifas micorrícicas.

Aunque, las raíces de primer y segundo orden generalmente se pierden durante la excavación de la raíz y a medida que envejecen, exhibiendo una conductividad hidráulica decreciente (Nobel *et al.*, 1990). Otra de las características de las raíces es la coloración

café o dorada, la cual se ha utilizado como criterio para identificar visualmente la muerte de la raíz, estudios indican que las raíces marrones son viables y capaces de absorber nutrimentos (Atkinson y Wilson, 1979) pero se consideran inferiores a las raíces blancas (Head, 1966).

El desarrollo de las raíces está conformado por etapas; los cuales están controladas y reguladas por varias fitohormonas, principalmente las auxinas que desempeñan un papel importante (Leyser, 2006). Las auxinas están involucradas en la formación de raíces laterales, mantenimiento de la dominancia apical y la formación de raíces adventicias. También en la iniciación y desarrollo de la raíz lateral, que se divide en iniciación, desarrollo de primordio, emergencia y activación del meristemo, aunque el contenido total de auxina no siempre está correlacionado positivamente con el número de raíz lateral (Ivanchenko *et al.*, 2006).

El crecimiento axial de las raíces define la longitud y trayectoria, que contribuye a la colonización dinámica de nuevas zonas de suelo. El crecimiento se produce desde el extremo distal, como resultado de la división celular en el meristemo y el alargamiento dentro de la zona de elongación. Este crecimiento se coordina por factores genéticos endógenos que regulan el crecimiento y la organogénesis, así como los estímulos ambientales bióticos y abióticos (Malamy, 2005). El crecimiento también depende de la distribución en el suelo que tiene influencia considerable en la supervivencia de las plantas, aunque se sabe poco de los rasgos fisiológicos y los mecanismos que regulan las señales de enraizamiento que sean profundas o superficiales o quizás sean genéticos o ambientales (Maeght *et al.*, 2013).

En lo que respecta a la senescencia de las raíces, las laterales en orden superior pueden vivir más tiempo cuando son de crecimiento secundario, señalado por el bronceado de la raíz (Eissentat y Yanai 2002). Las raíces finas tienen una vida corta, carecen de crecimiento secundario y engrosamiento de la pared. Finalmente, las raíces en descomposición entran en un proceso de necrosis a partir del extremo distal y los tejidos

superficiales que se extienden progresivamente a toda la raíz, sin embargo, una raíz en descomposición aún puede ser funcional (Robinson, 2001).

La dinámica del sistema de raíces tiene como función: a) la emisión de nuevos ejes principales (primarios o adventicios), que está coordinada con el crecimiento del sistema de brotes y b) la ramificación de raíces laterales a lo largo de una raíz de apoyo de orden inferior, proceso principal para multiplicar el número de raíces, el alargamiento y ramificación son procesos coordinados (Lecompte y Pagés, 2007). Se ha demostrado que no todos los primordios de la raíz lateral se desarrollan en raíces laterales y que las hormonas influyen en el desarrollo de los primordios (Malamy, 2005), la rápida activación de los primordios y el crecimiento consecutivo de las raíces laterales puede ser la forma en que las plantas responden a la percepción de los nutrientes.

La eficiencia de las raíces de los manzanos también conlleva la longevidad, las de corta edad son las de baja eficiencia (Eissentat *et al.*, 2001). Las raíces que tienen baja longitud por volumen de suelo, no están distribuidas uniformemente debajo del árbol, por ello los portainjertos responden de manera diferente a la estructura del suelo (Fernández *et al.*, 1992). Las raíces no solo influyen en el transporte de agua sino también pueden detectar déficit de agua en el suelo y enviar señales que regulan el funcionamiento de las estomas. La tasa de transpiración de la copa y su aclimatación al déficit de agua son controladas genéticamente por el portainjerto.

La cuantificación de raíces se logra generalmente midiendo variables como profundidad, expansión lateral y densidades por cm^2 o cm^3 . La estructura describe la variedad de los componentes que lo constituyen, raíces y segmentos de la raíz. En tanto que la geometría de la raíz es compleja debido al movimiento específico en el espacio de cada raíz, las ubicaciones relativas entre las raíces y la posible superposición en la zona de influencia. La dinámica temporal proviene del crecimiento de diferentes ejes como los procesos fisiológicos asociados con la diferenciación del tejido. La vida útil de las raíces finas está influenciada por factores como la temperatura del suelo, la humedad y la disponibilidad de nutrimentos (Guo *et al.*, 2008).

En manzano, los tipos de raíces se diferencian por su edad, longitud, diámetro y estructura (Atkinson, 2001). Las raíces finas son relativamente delgadas con gran longitud específica (relación longitud: peso seco) que forman las partes más jóvenes del sistema de raíces. Las raíces finas no están suberizadas y tienen alta permeabilidad en comparación con las raíces viejas, éstas suelen tener un diámetro <1.0 mm (De-Silva,1999). La presencia de raíces finas en el volumen de suelo ocupado depende de la geometría del sistema de raíces estructural, así como el espaciamiento de los árboles y el tipo de portainjerto (Atkinson, 1980).

Las raíces finas han sido estudiadas de acuerdo a su tamaño. Las raíces de 0-1 o 0-2 mm de diámetro (Pregitzer *et al.*, 2002), son un componente importante y dinámico de todos los ecosistemas terrestres. Además, la longitud fina de la raíz parece ser el mejor índice para determinar la producción y pérdida de raíces en comparación con otros índices radiculares (Johnson *et al.*, 2001).

1.4.2 Épocas de crecimiento de las raíces

En los portainjertos de manzano, las raíces varían de acuerdo a su estructura. La producción de raíces finas se ha visto afectado por el portainjerto (Head,1966), la edad de los árboles (Atkison y Wilson, 1980), la fertilización (Head, 1969), la poda del dosel (Hass y Hein, 1973) y la carga de cosecha (Head, 1969). Las condiciones de suelo influyen en el crecimiento del ápice individual de raíz, así como la interacción con el resto de la planta a través del suministro de carbono y señales químicas, mientras que el déficit de agua impide su crecimiento (Ruíz-Canales *et al.*, 2006).

En manzanos se ha encontrado que el vigor del crecimiento de los brotes vegetativos y raíces está influenciado por la poda y esto afecta la periodicidad del crecimiento de las nuevas raíces (Head, 1967). Por otro lado, Atkinson (1980), reporta que el crecimiento radicular en manzano inicia antes que el crecimiento de los brotes y tiene periodos alternos activo y menos activo. En melocotón se reporta baja producción de raíces finas en invierno y más alta durante la primavera-verano, y disminuye hasta en las etapas finales del crecimiento del fruto (Basile *et al.*, 2007).

En otros estudios de manzanos híbridos sobre M.9, se encontró menos desarrollo de raíces, pero con un crecimiento rítmico en donde se observaron raíces finas y la máxima producción se presentó en el mes de julio, aunque tuvieron una vida más corta (aproximadamente dos semanas). También reportan, que cuanto más numerosas son las raíces, crecen más profundamente en el suelo y a partir de verano-otoño se desarrollaron nuevas raíces entre la superficie del suelo y a la profundidad de 40 cm (García-Villanueva *et al.*, 2004). Por otro lado, Psarras *et al.* (2000), encontraron la mayoría de las raíces finas a los 25 cm del perfil del suelo en el portainjerto M.9.

En estudios de excavación de raíces de los manzanos, Atkinson (1980), menciona que las raíces pueden extenderse desde 0.4 a 8.6 m de profundidad, sin embargo, aproximadamente el 70% el total de la biomasa de raíces se encuentra de 0 a 30 cm de profundidad y la distribución de la raíz es influenciada por el genotipo del portainjerto, año, tipo y características del suelo, así como la densidad de plantación, manejo del suelo y prácticas culturales. También el crecimiento de las raíces puede verse afectado por la temperatura y humedad del suelo.

1.4.3 Factores edafoclimáticos que influyen en el crecimiento de raíces

Las condiciones en las que crecen los frutales de clima templado varía durante el ciclo. En otoño se aclimatan a bajas temperaturas en respuesta a fotoperiodos cortos (Weiser, 1970), y en invierno se desaclimatan a temperaturas cálidas y pueden nuevamente aclimatarse al exponerse a temperaturas más bajas (Arora y Rowland, 2011).

La temperatura y la humedad del suelo afectan el crecimiento de las raíces y su metabolismo (Cook y Orchard 2008). El rango óptimo de temperatura del suelo para el crecimiento de la raíz varía según la especie y su origen, va de 17 a 35°C (McMichael y Burke, 2002). El crecimiento activo de las raíces comienza cuando la temperatura del suelo alcanza los 7°C, temperaturas superiores a 28°C comienza a limitar el crecimiento.

Las raíces de los manzanos son menos resistentes al frío y son más lentas en madurar en otoño, pero en primavera son lentas en deshidratarse (Wildung *et al.*, 1973). La

temperatura crítica en el tejido del tallo está por debajo de -30°C en los cultivares resistentes, en las raíces probablemente entre -10 y -18°C , aunque depende de varios factores. Si las raíces se podan (lesionar) en invierno usualmente emergen en primavera, pero los nuevos brotes crecen lentamente y con frecuencia se marchitan en climas cálidos. Cuando las raíces son poco profundas los portainjertos pueden presentar bronceado oxidativo, incluso las raíces profundas a temperaturas letales pueden morir. En suelos arenosos o de gravilla son más propensos a sufrir daños durante el invierno.

El agua es otro de los elementos esenciales para el crecimiento de las raíces, la cantidad disponible para un árbol depende del volumen y la distribución de las raíces debajo del árbol. Higgs y Jones (1990), sugieren que las plantas con raíces grandes pueden ser más tolerantes a la sequía, aunque los portainjertos enanos de AR628-3 y AR486-1 producen mayor cantidad de masa de raíces que pueden explorar mayor superficie.

El suelo es otro factor que influye en el crecimiento de las raíces. En los portainjertos influyen en el tamaño del sistema de raíces, su distribución, periodicidad del crecimiento y la actividad en los tipos de suelo. La compactación influye significativamente en el crecimiento de los árboles, aunque algunos portainjertos son más afectados que otros. En condiciones controladas se ha demostrado que los portainjertos M.7, M.16, M.25 y MM.109 son relativamente resistentes a altas temperaturas en el suelo.

Los árboles de manzano son más sensibles a los cloruros, por lo que la tolerancia a la salinidad depende de la absorción y transporte de sales por las raíces (Vitagliano *et al.*, 1992). Yang *et al.* (2014), mencionan que las concentraciones de sales en manzanos de 2 y 4% pueden ser los umbrales superiores de tolerancia. Así también, la relación hídrica en los injertos puede verse influenciado por la capacidad de las raíces para absorber agua o la capacidad de conducción desde las raíces a través del tallo del portainjerto, de la unión del injerto y del tallo del cultivar hasta las raíces. Se dice que las raíces finas de primer y segundo orden son los más importantes para absorber agua y minerales. Las relaciones hídricas de los portainjertos influyen en el vigor de los árboles, de tal manera que un estrés hídrico puede inducir cambios fisiológicos y bioquímicos.

La salinidad también, puede presentarse dependiendo de las condiciones en las que se encuentre el cultivo, y varía a medida que cambia el clima. Altas concentraciones de sal en el suelo reducen la disponibilidad de agua a las raíces e induce estrés hídrico. Así también reduce el contenido relativo de agua en las hojas, disminuye la expansión de hojas y reduce el crecimiento general de la planta, con aumentos en las concentraciones de prolina y azúcares solubles en las hojas (Alizadeh y Alizade, 2013). La restricción del suministro de agua desde las raíces hasta el cultivar es una de las hipótesis sobre el mecanismo del enanismo, que provocan reducciones en el crecimiento de los brotes (Webster, 2004).

1.4.4 Métodos para estudiar el crecimiento de raíces

El estudio del crecimiento y desarrollo de raíces de las plantas en condiciones de campo ya sea a través de observación directa, no destructiva o mediante la excavación es difícil porque el suelo limita la accesibilidad, sin embargo, se han utilizado métodos para observar el crecimiento *in situ*. Uno de los primeros métodos fue la de **placas de vidrio vertical**, consiste en cavar agujeros en la tierra de 90 cm de ancho por 1.5 m de largo y 60 cm de profundidad, en la cual se coloca una placa de vidrio contra un lado del agujero con una cubierta de tabla para bloquear la luz (McDougall, 1916). Otras técnicas descritas por Schuurman y Goedewaagen (1971) incluyen monolitos, núcleos de suelo y paredes de perfil y más recientemente los rizotrones, minirizotrones o paredes/ventanas transparentes (Smit, 2000).

El método de **trinchera, fotografías y dibujos**, consiste en la excavación de una zanja a lo largo del costado de la planta a una profundidad de 1.5 m en donde se describe las características, variaciones y se dibujaba a mano una réplica del sistema radicular en una hoja de dibujo grande a las medidas exactas (Weaver *et al.*, 1992). Esta técnica se ha utilizado como una forma de registrar las imágenes de raíz *in situ*, sin embargo, la zanja/ventana permanece estática y representa un área limitada, bidimensional que no proporciona información sobre la extensión total del sistema radicular (Neumann, 2009).

Tableros y monolitos. Esta técnica se puede utilizar tanto en plantas cultivadas en campo como las de maceta; en la cual se representa la estructura y forma completa del sistema de raíces. En campo, se excava un hoyo contra la planta, se alisa la pared excavada y el tablón se coloca y presiona contra esta pared y luego se pasa un cable de acero por cada lado del tablón, de modo que la tierra rodea el tablón para que sea cortada y esté libre para arrancar, en el tablón el suelo y las raíces quedan sostenidas (Schuuman, 1971), sin embargo, esta técnica tiene la desventaja de que el tamaño de la caja limita el crecimiento de raíces (Kono *et al.*, 1987).

Otra técnica son los rizotrones, la palabra se acuña a partir de palabras griegas rizos para raíz y tron como instrumento, se define como instalación o edificio diseñado bajo tierra para ver y medir las raíces de las plantas y las estructuras subterráneas a través de superficies transparentes que pueden estar en contacto con el suelo natural (Klepper *et al.*, 1994). Es una herramienta para realizar mediciones repetidas y no destructivas de sistema radicales a gran escala. Tienen la ventaja de tomar mediciones sucesivas en la misma raíz individual y ver rápidamente los aumentos de longitud (Taylor *et al.*, 1990), se pueden instalar sensores y cámara para medir las condiciones del suelo y grabar fotografías en un lapso de tiempo. Las raíces que crecen a lo largo de la pared transparente pueden ser rastreadas a medida que las raíces crecen, para proporcionar información sobre la velocidad de crecimiento y la densidad de raíces (Glinski *et al.*, 1993), aunque la principal desventaja es su costo de construcción y operación (Taylor *et al.*, 1990).

El minirizotrón es una técnica similar a los rizotrones que ha evolucionado, originalmente fue propuesto por Bates (1937), es un método no destructivo adaptado al estudio del enraizamiento en el medio ambiente natural del suelo (Taylor, 1987), que utiliza una cámara de video a color en miniatura o un escáner para ver y grabar imágenes de raíz a través de un tubo transparente insertado en el suelo, y permite el monitoreo de los cambios en el crecimiento de las raíces en el transcurso del tiempo (Smit *et al.*, 2000; Hendrichs *et al.*, 2006), además de cuantificar la biomasa de las raíces en las capas superficiales y profundas del suelo para las especies arbóreas. Esta metodología se ha utilizado

ampliamente al estudio de la dinámica radicular en plantas anuales (Machado *et al.* 2003), árboles forestales (Day *et al.*, 2006) y árboles frutales (Bernier y Robitaille, 2004). Una de las limitaciones del minirizotrófon es el número de tubos necesarios para estimar con precisión el enraizamiento, se sugiere utilizar un mínimo de ocho tubos en una sola parcela, además requiere de 30 a 45 minutos para instalar cada tubo (Taylor, 1990); otra desventaja es la cantidad de trabajo y/o tiempo requerido para recolectar las imágenes de tubo y analizarlos (Ingram, 2001).

1.5 MATERIALES Y MÉTODOS

1.5.1 Sitio experimental

El trabajo se realizó en los años 2018 y 2019 en un huerto comercial de manzano ubicado en el Municipio de Aquixtla, que se localiza en la parte Noreste del estado de Puebla, con coordenadas geográficas de 19°48'05" de latitud norte y 97°56'32" de longitud oeste. Colinda al norte con Zacatlán y Chignahuapan, al Sur con Ixtacamatlán, al Oeste con Tetela de Ocampo y al Este con Chignahuapan (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..1**). El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (600-900 mm) y temperatura anual de 12-18°C; a una altitud de 2,291 m. y con una superficie de 166.52 km² (INEGI, 2009).

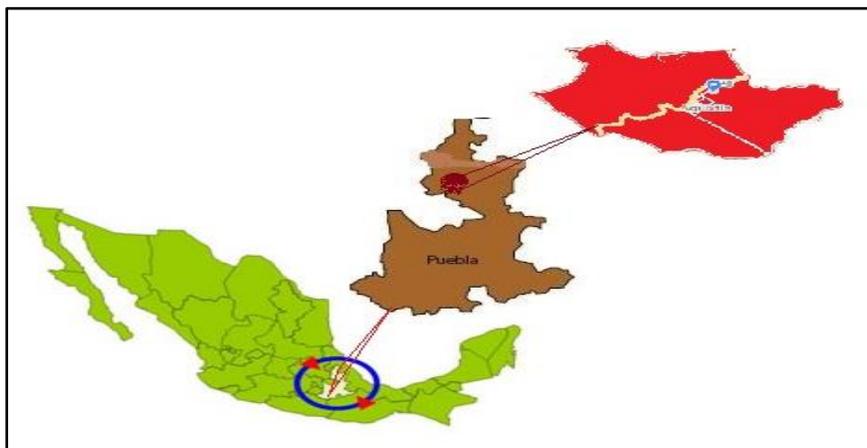


Figura 1.1 Ubicación del Municipio de Aquixtla, Puebla, México.

1.5.2 Material vegetal

El huerto de estableció en marzo de 2014 con el cultivar Brookfield Gala injertado en los portainjertos Bud.9 y EMLA7 en un sistema de producción intensiva. Bud.9 es un portainjerto enano de bajo vigor con menor número de ramas y espolones cortos. Induce producción precoz en el segundo a tercer año. El portainjerto EMLA7, es semienano que emite muchos retoños y espolones largos, también induce precocidad al tercer o cuarto año con alto rendimiento.

El cultivar Brookfield Gala se originó de una mutación natural del cv. Royal Gala, en Nueva Zelanda. Es un árbol de crecimiento medio a pequeño, vigor moderado, productivo en espolones y laterales. El tronco es moderadamente ramificado de espesor medio, liso, color marrón-oscuro, con numerosas lenticelas, alargadas que están alineados en forma paralelo a la rama. Las hojas son de longitud media, puntiagudas con margen finamente serrada, de color verde oscuro, 12 cm de largo por 7 cm de ancho, pubescencia media en el lado interior y peciolo de aproximadamente 4 cm. Las flores son de color rosa a blanco con filamentos blancos, anteras amarillas y estilos fusionados hacia la base. Su fruto es de tamaño mediano, color rojo con rayas rojas más oscuras, brillantes y lisas, diámetro axial de 6.9 cm y 7.6 cm transversal, forma globosa, nervadura ausente, cavidad simétrica, abrupta a la base con ápice acuminado (Brookfield y Brookfield, 1997).

1.5.3 Manejo del cultivo

Los árboles están establecidos a una distancia de plantación de 1 x 2 m entre plantas e hileras, respectivamente. Los árboles tenían una altura de 1.5 m en el portainjerto Bud.9 y 2.5 en el portainjerto EMLA7, en un área de aproximadamente 3000 m² en total hay 1,750 árboles. El suelo es de tipo toba (tepetate), que mediante el subsoleo se roturó con maquinaria pesada para ser aprovechado en la agricultura. Los árboles están formados con el sistema de conducción Tall Spindle, que tiene como objetivo aprovechar todas las ramas laterales para fructificación (Robinson *et al.*, 2014). El riego se realiza por goteo, la fertilización en fertirriego aplicando 40 kg de nitrógeno y 60 kg de potasio por ha, antes de la brotación vegetativa, y aplicación de micronutrientes vía foliar con la fórmula 20-20-20 y 0.5 kg de sulfato de magnesio en 100L de agua, cada 20 días desde la brotación

vegetativa hasta antes de la cosecha (aproximadamente 30 días). Además, se realizan dos aplicaciones de boro, al inicio de la apertura de las yemas vegetativas y en la apertura de las flores. También, se hace la aplicación de fungicidas e insecticidas para el control de plagas y enfermedades. Entre hileras (calles), el suelo se maneja con cubierta vegetal (pastos introducidos y nativos) para la incorporación de materia orgánica y la protección de humedad e insolación.

El cultivar polinizador es Granny Smith, además se colocan “floreros” con cultivares de la región. Para garantizar la brotación uniforme de yemas vegetativas y florales se aplica cianamida de hidrógeno (Dormex). El raleo de frutos se realiza cuando estos tienen el tamaño canica, dejando aproximadamente cinco frutos por rama y la cosecha se realiza en el mes de julio.

1.5.4 Caracterización del medio ambiental

1.5.4.1 Microclima del huerto

En el ciclo 2018 se colocó una data logger marca Hobo para registrar la temperatura ambiental, del suelo, humedad relativa, intensidad lumínica y punto de rocío. Se instaló en el centro del huerto, en un árbol donde se tenía establecido un rizotrópico; en el suelo el sensor se colocó a una distancia de 8 cm del tronco del árbol y a una profundidad de 20 cm, y el dispositivo a una altura de 1 m del árbol. La data logger se programó para el registro de datos cada hora durante desde mayo 2018 hasta mayo 2019. Los datos se descargaron mensualmente con el programa Hobo y fueron procesados con el programa Excel obteniendo temperaturas mínimas, medias y máximas del ambiente y del suelo, promedios de humedad relativa, intensidad lumínica y punto de rocío de cada día. A partir de estos datos se obtuvieron promedios mensuales. Los resultados se graficaron para observar el comportamiento durante el periodo de registro.

1.5.4.2 Fertilidad del suelo

Se obtuvieron muestras de suelo a dos profundidades 0-30 y 30-60 cm de la parte alta y baja del terreno, éstas se mezclaron y solo se tomó medio kilo para el análisis de los dos portainjertos dando un total de cuatro muestras. La preparación de las muestras consistió

en el secado, molido y tamizado del suelo. El análisis se realizó en el laboratorio de Fertilidad de Suelos del Campus Montecillo. La materia orgánica se determinó por combustión húmeda siguiendo el método Walkley y Black (Jackson, 1976), pH por potenciometría (relación suelo-agua 1:2), conductividad eléctrica (C.E), capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) y textura del suelo.

La concentración de nitrógeno (N) se determinó por el método Kjeldahl, el fósforo por el método Olsen (CSTPA, 1980). El Ca, Mg, K y Na se extrajeron con acetato de amonio 1N a pH de 7.0, Ca y Mg se determinaron por espectroscopía de absorción atómica, K y Na por emisión atómica. Los micronutrientos (Fe, Cu, Zn y Mn) se extrajeron DTPA (ácido del dietilen-triamino-pentaacético) y cuantificados mediante espectroscopía de absorción atómica, finalmente la concentración de boro (B) se determinó con una solución de Azometina-h.

1.5.4.3 Descripción del perfil de suelo

Antes de establecer los árboles, el suelo fue subsoleado y roturado. La descripción de un perfil, situado en la parte media del huerto: primeramente, se inició con su ubicación geográfica con un GPS marca Garmin eTrex. Enseguida se realizó una zanja con las siguientes dimensiones: 1.5 m de largo, 1 m de ancho y 80 cm de profundidad, debido a la capa del tepetate ya no se pudo cavar más. Posteriormente se ubicaron y describieron cada uno de los horizontes de acuerdo a la Norma de suelos (NOM-021).

En el laboratorio se determinó el porcentaje de materia orgánica por combustión húmeda según el método Walkley y Black (Jackson, 1976), pH por potenciometría (relación suelo-agua 1:2), capacidad de intercambio catiónico (C.I.C), textura del suelo y color mediante la carta de colores Munsell; permeabilidad con aplicación de agua y la concentración y grosor de raíces.

La concentración de N se determinó por el método Kjeldahl, el P por el método Olsen (CSTPA, 1980). El Ca y Mg por espectroscopía de absorción atómica, K y Na por emisión atómica.

1.5.4.4 Crecimiento de raíces

La dinámica del crecimiento de raíces se observó a través de rizotrones diseñados con placas de vidrio transparente de 6 mm de grosor siguiendo el método de perfil de zanja (Böhm, 1979), en cuatro árboles seleccionados de acuerdo al vigor medio, correspondientes a cuatro tratamientos. Sus dimensiones fueron de 60 cm de largo y 60 cm de ancho; se cuadrícularon con pintura permanente a distancias de 10 cm entre líneas (Figura 1.2). Las placas fueron colocadas en zanjas de 60 cm de largo, 30 cm de ancho y 60 cm de profundidad, a 25 cm de separación con respecto a la base del tronco, éstas se sujetaron con varillas y alambre. Las zanjas se cubrieron con madera (triplay), encima plástico negro y sobre él tierra para evitar o alterar lo menos posible el micro clima de las raíces. La colocación de los rizotrones coincidió con la etapa fenológica de brotación vegetativa y floral de los árboles.



Figura 1.2. A) Placa de vidrio (rizotrón) cuadrículado, B) lámina de acetato puesta sobre la placa de vidrio.

Se contó el número de raíces primarias con grosor >1 mm, raíces secundarias (<1 mm) y su longitud (cm) en cada cuadrante, apoyándose de una lámina de acetato en donde se plasmaron copias de las placas (con las mismas dimensiones), que fueron sobrepuestas para dibujar y medir las raíces, diferenciando el crecimiento entre una y otra medición con marcadores permanentes de diferente color. Las fechas de registro del crecimiento y brotación de nuevas raíces se indican (Cuadro 1.1). Los datos se

procesaron con el programa Excel, contabilizando las fechas de registro para el número y longitud de raíces primarias y en las raíces secundarias solo se calculó su porcentaje.

Cuadro 1.1. Fechas de registro del número y longitud de raíces en los rizotrones.

Fecha de registro	Número de raíces	Longitud de raíces
11-mayo-2018	–	–
25-mayo-2018	–	–
29-junio-2018	–	–
09-septiembre-2018	–	–
16-abril-2019	–	–

1.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.6.1 Temperatura ambiental y precipitación

La temperatura mínima osciló entre 5.3 a 11.1°C de enero y mayo del 2019; con una diferencia de 5 °C. El promedio osciló entre 11.5°C en diciembre 2018 y 18.7 °C en mayo 2019, con una diferencia de 7°C; y la temperatura máxima se registró entre 19.5 y 30°C en los meses de enero y mayo del 2019, la diferencia fue de 11°C (Figura 1.3). En los meses de junio, septiembre y octubre de 2018 la temperatura mínima se mantuvo constante, mientras que la temperatura promedio se mantuvo constante desde mayo a septiembre del 2018, y la temperatura máxima solo en los meses de abril y mayo de 2019. La precipitación pluvial de acuerdo a la estación meteorológica de CONAGUA, los meses de junio, julio, agosto, septiembre y parte de octubre son los más lluviosos (Figura 1.3).

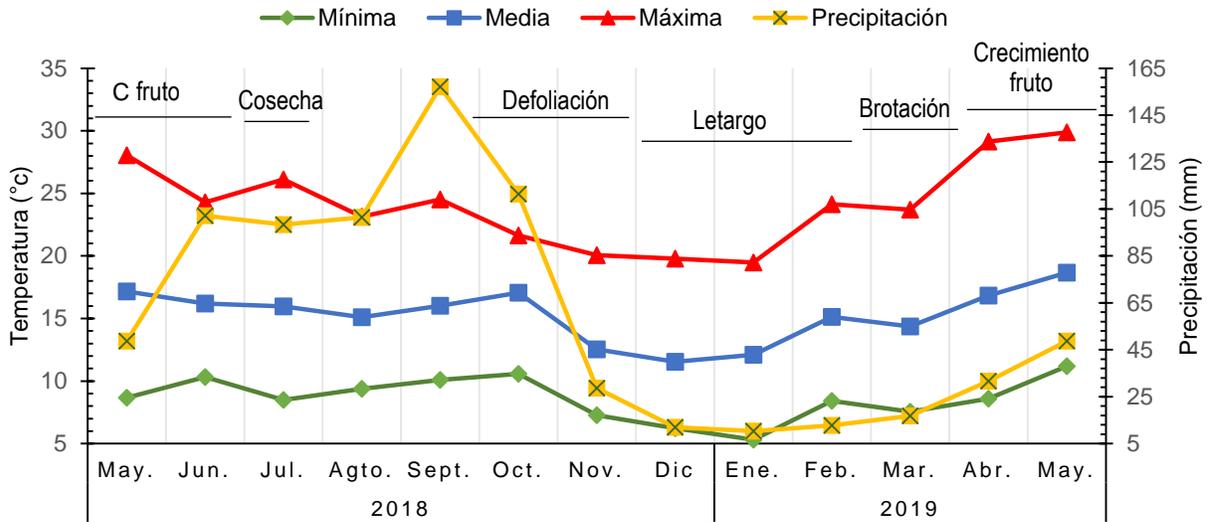


Figura 1.3. Temperatura máxima, media y mínima, y precipitación registrados en 2018 y 2019 el huerto de manzano en Aquixtla, Puebla. Las altas precipitaciones de los meses de agosto, septiembre y octubre son aprovechados para la captación y almacenamiento en el riego del huerto, con mayor requerimiento durante el crecimiento del fruto.

De acuerdo a la fenología del cultivo, la brotación vegetativa ocurre a finales de febrero y principios de marzo, siendo la plena floración a los 15-20 días de marzo, posteriormente ocurre el amarre de frutos y en el mes de abril comienza el crecimiento y desarrollo del fruto deteniéndose hasta junio y la cosecha ocurre a los 15-20 días de julio, después los árboles se defolian y se preparan para la entrada a letargo que abarca desde octubre a enero.

Debido a que el crecimiento y desarrollo de los árboles de manzano depende de factores climáticos como la temperatura, la radiación solar y la precipitación, lo que también antecede la época de floración y el amarre del fruto (Atkinson y Webster, 2001). En el cv. Red Gala su transición ocurre a los 25°C (Greer, 2015). También la temperatura tiene impacto en el crecimiento del fruto principalmente en la división celular inicial que en la fase de elongación celular (Warrington *et al.*, 1999). El crecimiento vegetativo también puede ser afectado cuando la temperatura aumenta, afectando la competencia entre los brotes vegetativos y frutos por carbono disponible (Tromp y Boerties, 1996). De la misma

manera, Calderón *et al.* (2004), reportan que temperaturas de 28-33°C son perjudiciales para el crecimiento de los frutos y de los vástagos, tres semanas después de la plena floración en el manzano `Royal Empire`/M.9.

1.6.2 Temperatura del suelo y humedad relativa

La temperatura mínima del suelo varió entre 15.0 a 19.2 °C en enero y mayo del 2019. El promedio osciló de 15.3 a 19.5 en enero y mayo del 2018 y la máxima se registró entre los 15.5°C en enero del 2019 y 20°C en mayo 2018 (Figura 1.4).

En general se observa mínima variación de las temperaturas mínimas, promedios y máximas del suelo, aunque comienzan a disminuir ligeramente desde el mes de noviembre (2018), diciembre y enero 2019 son los meses más fríos, en tanto los meses más cálidos son mayo, junio, julio, agosto y septiembre del 2018. Las temperaturas promedio y máximas coincide con el periodo de mayor actividad en los árboles en cuanto al crecimiento de los frutos y en la detención de la actividad en la etapa de letargo.

Por otro lado, el mayor porcentaje de humedad relativa se presentó en los meses de julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre (80.8-85.9%) que coincidió con el periodo de mayor precipitación y el inicio de invierno, y en los meses de febrero, marzo, abril y mayo (57.1-59.9%) con menor porcentaje de humedad relativa (Figura 1.4).

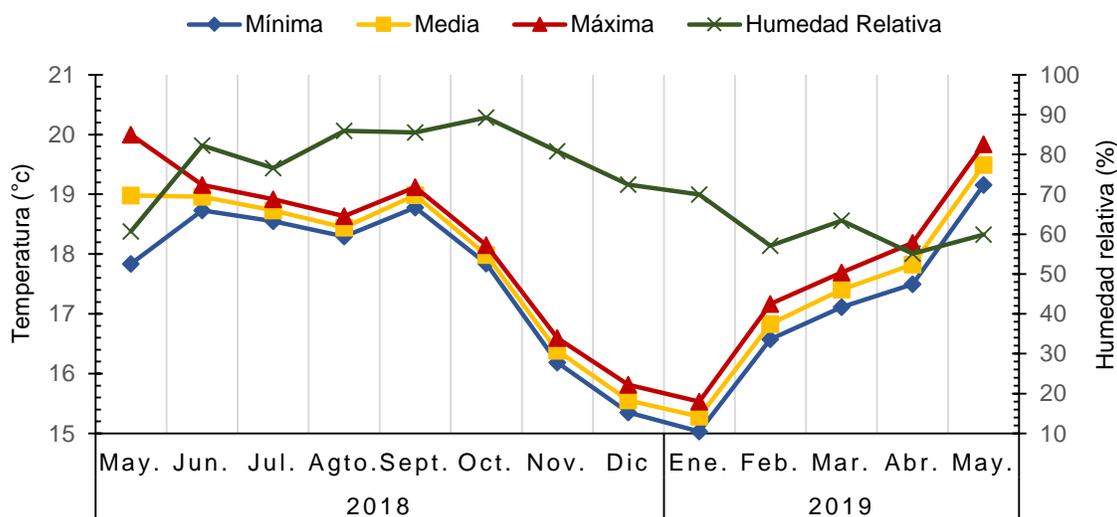


Figura 1.4. Temperatura del suelo a 20 cm de profundidad y humedad relativa ambiental en el huerto de manzano con el cv. Brookfield Gala en Aquixtla, Puebla.

La temperatura mínima en el suelo en la etapa de letargo mantiene activas las raíces de los árboles, debido a que en el manzano el crecimiento de raíces comienza a los 6.23°C, alcanzando una tasa máxima durante mayo-junio. Durante el verano hay una disminución de crecimiento que es seguida por un segundo flujo de crecimiento a finales de verano o principios de otoño después de la extensión del brote (Rogers, 1939). Mientras que altas temperaturas del suelo pueden afectar los portainjertos enanos en el transporte de agua del suelo al tallo y el flujo de la savia (Iwanami *et al.*, 2011).

De la misma manera se observa que a mayor humedad relativa, la temperatura del suelo se mantiene constante, así como la temperatura ambiental. Mientras que la mayor intensidad lumínica coincide con la brotación vegetativa y floral, que es favorable para el desarrollo de los frutos. Lakso *et al.* (2006), mencionan que la alta demanda de radiación ocurre durante las dos o cuatro semanas después de la floración, y que en los periodos nublados pueden reducir la incidencia de la luz, reduciendo la fotosíntesis y los hidratos de carbono. También, la cantidad de luz interceptada determina el rendimiento (Monteith, 1977). De igual manera, la radiación es importante para el flujo de savia en los árboles, incluso cuando la temperatura del suelo se mantiene constante, entre portainjertos la fluctuación de savia difiere entre vigorosos y enanos y esto aumenta con la radiación solar (Iwanami *et al.*, 2011).

1.6.3 Intensidad lumínica y punto de rocío

La mayor intensidad luminosa se registró en diciembre, enero, febrero y marzo-2019 (176-289 Lux), que coincide con bajas temperaturas del suelo y del medio ambiente, prácticamente el invierno, cuando se presenta el fenómeno de reposo, y en los meses de agosto, septiembre, octubre con menor intensidad (74.6-82.4 Lux) que es el periodo lluvioso parte de verano-otoño (Figura 1.5).

La temperatura del punto de rocío, fue superior en los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre del 2018 (11.0 a 13.1°C) que coincidió con la menor intensidad

lumínica y los meses de noviembre, diciembre (2018), enero, febrero, marzo, abril y mayo-2019 las de menor (4.6 a 9.4°C), cuando la intensidad lumínica fue mayor. Así también se observa que, en el periodo de mayor actividad de los árboles desde la brotación floral y vegetativa hasta el crecimiento de los frutos la intensidad lumínica fue superior que en los meses de menor actividad (Figura 1.5).

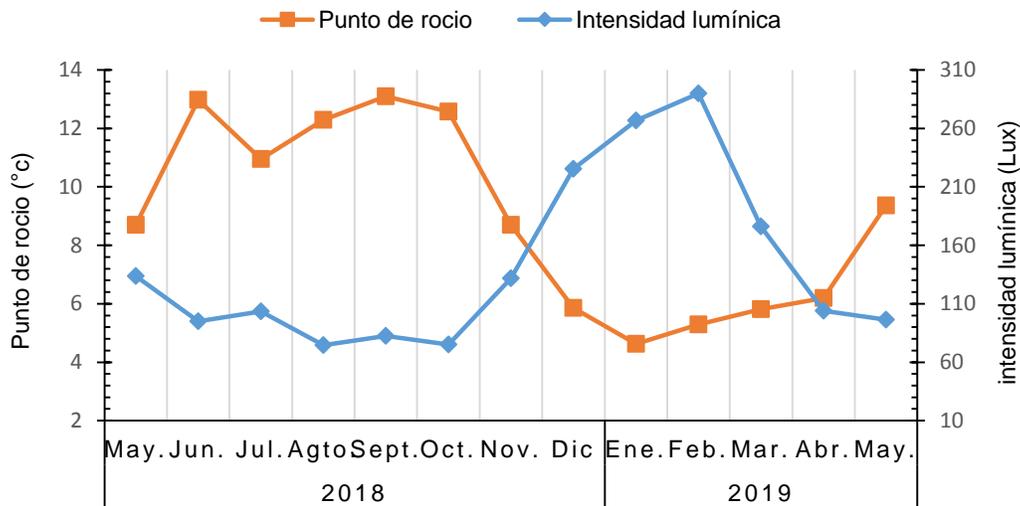


Figura 1.5. Punto de rocío en el suelo e intensidad lumínica ambiental en el huerto de manzano 'Brookfield Gala' en Aquixtla Puebla.

1.6.4 Fertilidad de suelo

Las características físicas y químicas del suelo muestran que la textura es franco-arcillosa a las profundidades de 0-30 y 30-60 cm, con capacidad de intercambio catiónico medio, el contenido de materia orgánica es bajo (0-30 cm) a muy bajo en la profundidad 30-60 cm; con pH neutro (6.6 a 6.7), el óptimo en manzano es de 6.5 a 6.8 (Pontikis, 2003); y baja a muy baja conductividad eléctrica (<1 dS m⁻¹) de acuerdo a la NOM-021 SEMARNT-2000 (Cuadro 1.2).

Cuadro 1.2. Características físicas y químicas del suelo a la profundidad de 0-30 y 30-60 cm en el huerto del manzano cv. Brookfield Gala en Aquixtla, Puebla.

Determinación	0-30 (cm)	Interpretación	30-60 (cm)	Interpretación
Textura	Franco-arcilloso		Franco-arcilloso	
CIC (meq/100g)	24	M	20.5	M
M.O (%)	1.00	B	0.6	MuB
pH	6.6	Neutro	6.65	Neutro
CE (dS m ⁻¹)	0.11	B	0.06	MuB
N (%)	0.06	B	0.045	MuB
P (ppm) Olsen	19	M	6.5	B
K (meq/100g)	1.35	MA	0.4	MB
Ca (meq/100g)	7.75	M	5.65	MB
Mg (meq/100g)	4.8	MA	2.95	M
Fe (ppm)	40.5	A	48	A
Cu (ppm)	1.3	MA	1.15	M
Zn (ppm)	1	MB	0.45	B
Mn (ppm)	37.5	A	41.5	A
Na (meq/100g)	0.2	B	0.25	B

MA=Moderadamente Alto, A=Alto, M=Medio, MB=Moderadamente bajo, MuB=Muy bajo, B=Bajo.

De acuerdo a Castellanos *et al.* (2000), la concentración de macronutrientes a la profundidad de 0-30 cm, el nitrógeno (N) se encuentra en el rango bajo, fósforo (P) medio, potasio (K) moderadamente alto, calcio (Ca) medio y magnesio (Mg) moderadamente alto. En cuanto a los micronutrientes, la concentración de hierro (Fe) es alto, cobre (Cu) moderadamente alto, zinc (Zn) moderadamente bajo, manganeso (Mn) alto y baja concentración de sodio (Na). Por otra parte, la concentración de macronutrientes a la profundidad de 30-60 cm, el nitrógeno (N) se encuentra en el rango de muy bajo, fósforo

bajo (P), potasio y calcio moderadamente bajo (K, Ca), y magnesio (Mg) medio. Para la concentración de micronutrientes, el hierro (Fe) se encuentra alto, cobre (Cu) medio, zinc (Zn) bajo, manganeso (Mn) alto y baja concentración de sodio.

A la profundidad de 0-30 cm, los elementos que se encuentran moderadamente alto a alto son potasio, magnesio, hierro y cobre, y la concentración en el rango bajo a muy baja son nitrógeno y zinc. La concentración de fósforo y calcio están en el rango medio. Por otro lado, a la profundidad de 30-60 cm, los elementos de hierro y manganeso se encuentran en la concentración alta, magnesio y cobre en la concentración media y nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, zinc y sodio en el rango de baja a muy baja concentración.

1.6.5 Descripción del perfil de suelo

La característica de un perfil de suelo son las tonalidades de colores obscuro que se observan en la parte superficial por efecto de raíces y toda la vegetación que se ha ido acumulando. En el huerto experimental, el suelo es joven de origen volcánico, su clasificación WRB (2006), corresponde a un Tecnosol que se caracteriza por su material modificado por el ser humano, a partir de Toba (tepetate) que mediante el subsoleo fue roturado y fragmentado, y con la mezcla de suelo de otra procedencia, materia orgánica y abonos fue posible su aprovechamiento en la agricultura. Desde el punto de vista nutricional, el subsoleo ayudó a la fragmentación del material original para que la fertilidad natural se distribuyera en los estratos y facilitara la infiltración del agua, ya que este tipo de Toba se caracteriza por el contenido de óxido de silicio. Si el toba es de color blanco tiene no más de 70% de óxido de silicio, intermedia de 45-60% y básica de color negro <45%. En la zona de estudio se clasifica como intermedia que contiene 45-60% de óxido de silicio y por lo tanto hay mayor presencia de olivinos, anfíboles y piroxenos que se degradan fácilmente quedando disponibles sus elementos para la nutrición de las plantas.

En el perfil del suelo se encontraron cinco horizontes, el primero está a una profundidad de 0-4 cm que se diferencia por su color negro y contenido de materia orgánica con pH

de 6.4; el segundo en la profundidad de 4-30 cm con 5.9 de pH; el tercero de 30-41 cm de profundidad con pH de 5.5; la cuarta a la profundidad de 41-57 cm, 5.4 de pH; el quinto de 57-80 cm de profundidad con 5.7 de pH, es de material compacto sin alterar y el testigo 5.8 de pH. Desde el segundo hasta el cuarto horizonte, el material está compuesto de tepetate fragmentado o materiales revueltos, además el tipo de toba es compacta que no tiene espacios porosos.

La textura y el color en la muestra seca y húmedo en los horizontes son los siguientes: en el primero la textura es franco-limoso de color pardo/pardo oscuro; el segundo es franco-arcilloso limoso de color pardo claro/ pardo amarillento oscuro; en el tercero es franco-arcilloso limoso de color pardo amarillento claro/pardo amarillento oscuro; el cuarto es franco-arcillo limoso y de color pardo amarillento claro/ pardo amarillento oscuro, y en el último horizonte es franco-limoso de color pardo claro/ amarillento oscuro; mientras que el testigo la textura es franco-limoso de color pardo amarillento claro y oscuro.

El contenido de materia orgánica (%) que se encontró en los horizontes es la siguiente: en el primero fue alto de 5.53 % con permeabilidad moderada; en el segundo de 2.06 % con escurrimiento lento al ser suelo poco poroso; en el tercero de 1.42% con infiltración lenta; en el cuarto de 1.80 % con infiltración lenta y en el último horizonte de 1.16%, siendo en el testigo con 0.26 % de MO. También se observó en los horizontes 3 y 4 la presencia de manchas negras en el material toba, con la aplicación de peróxido de hidrógeno no hubo reacción, dado que se encuentran altas concentraciones de manganeso característico de suelos volcánicos, además es muy móvil en el suelo.

En el primer horizonte se encontró mayor contenido de nitrógeno (2.25 %), y menor cantidad en el segundo y quinto horizonte (0.20-0.25%). El carbonato de calcio fue mayor en el tercer horizonte (4.2 %) (mediano) y el menor contenido en el quinto horizonte (0.4%) (muy bajo). Se encontró mayor contenido de fósforo en el primer horizonte (401.9 mg kg⁻¹) y menor concentración en el testigo (5.5 mg kg⁻¹). El mayor contenido de potasio se presentó en el primer horizonte (4.03 Cmol₍₊₎kg⁻¹ y menor contenido en el cuarto

horizonte ($0.28 \text{ Cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$). El contenido de calcio fue mayor en el cuarto horizonte ($3.35 \text{ Cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$) y menor contenido en el testigo ($0.46 \text{ Cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$). El magnesio, mayor contenido en el tercer horizonte ($1.04 \text{ Cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$) y menor contenido en el segundo horizonte ($0.06 \text{ Cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$). El mayor contenido de sodio en el tercer horizonte ($0.22 \text{ Cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$) y en el segundo y cuarto horizonte menor contenido ($0.18 \text{ Cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$). La capacidad de intercambio catiónico se encontró mayormente en el segundo horizonte ($42.68 \text{ Cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$) y menor en el primer horizonte ($31.43 \text{ Cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$) (Cuadro 1.3).

A la profundidad 0-4 cm se encontró mayor cantidad de materia orgánica, incluso en el segundo horizonte de 4-30 cm se observa que el porcentaje va en aumento comparado con el testigo, por ello la importancia de la incorporación de abonos. Así mismo, con la presencia de materia orgánica disminuye la densidad aparente del suelo habiendo mayor porosidad comprado con el testigo y el último horizonte.

En cuanto a distribución de raíces, en el primer horizonte se encontró mayor cantidad de raíces finas 100 aproximadamente; desde el segundo hasta el tercer horizonte estaba constituido por 20 raíces, mientras que en el cuarto horizonte se encontraron raíces medianas $>2 \text{ mm}$ de diámetro consideradas como gruesas y en el último horizonte se encontró una mínima cantidad de raíces solamente en las fisuras del material tepetatoso sin presencia de raíces finas, sino raíces $>2 \text{ mm}$ de diámetro.

De acuerdo a Coker (1958), el tipo de suelo puede afectar principalmente la profundidad y distribución del sistema radical. Así como la absorción de agua por las raíces, aunque esta depende más de su disponibilidad en el perfil que de la densidad de raíces (Lehmann, 2003). Atkinson (2001), menciona que los árboles establecidos a altas densidades sus raíces, exploran más el suelo y captan agua a profundidades por debajo de 50 cm, sin embargo, disminuyen a medida que los árboles envejecen y depende de las características del suelo y del manejo en general.

Cuadro 1.3. Composición física y química del perfil de un suelo somero con cinco horizontes en el cultivo del manzano cv. Brookfield Gala.

Horizontes	Textura	pH	Densidad aparente (g cm ³)	M.O →	C.O %	N	CaCO ₃ ←	P mg kg ⁻¹	K →	Ca Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	Mg	Na	CIC ←	Color en Seco
1	Franco limoso	6.4	1	5.53	3.21	2.25	0.7	401.9	4.03	1.56	0.89	0.21	31.43	Pardo
2	Franco-arcillo limoso	5.9	1.14	2.06	1.19	0.25	1	21.5	1.29	2.78	0.06	0.18	42.68	Pardo claro
3	Franco-arcillo limoso	5.5	1.11	1.42	0.82	0.5	4.2	27.7	0.52	2.16	1.04	0.22	35.7	Pardo amarillento claro
4	Franco-arcillo limoso	5.4	1.48	1.8	1.05	0.4	1	14.1	0.28	3.35	0.98	0.18	36.28	Pardo amarillento claro
5	Franco limoso	5.7	1.56	1.16	0.67	0.2	0.4	8.8	0.67	1.99	0.85	0.2	34.34	Pardo claro
Testigo	Franco limoso	5.8	1.53	0.26	0.15		1	5.5	1.18	0.46	0.18	0.2	38.61	Pardo amarillento claro

1.6.6 Crecimiento de raíces primarias

La composición de la arquitectura y distribución de raíces en el suelo son importantes para la absorción y transporte de agua y nutrimentos. Dado a la etapa fenológica en que se colocaron las placas de los rizotrones, las primeras raíces se observaron a los 20 días, posteriormente fueron apareciendo a los 35-40 días y a los 70-90 días se concentró la mayor cantidad, fecha en que se comenzó a registrar el número y longitud de raíces, de mayo 2018 a mayo 2019.

En `Brookfield Gala´/EMLA7, la mayor cantidad de raíces con diámetro >1 mm se concentraron a la profundidad de 10-40 cm, y la menor a 50-60 cm (Figura 1.6). La tendencia fue al aumento en todas las profundidades, aunque en mayo y junio se observaron mayor número de raíces, que coincide con la entrada de mayor desarrollo del fruto, por lo que se esperaba que el crecimiento de raíz cesara. Después de la cosecha (julio) comenzó la detención de la emergencia de las raíces, que en algunos se tornaron de color bronceado, también en los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero (algunas raíces finas senescieron) y parte de febrero hasta la brotación vegetativa en el mes de marzo no se observó actividad sino hasta abril, donde emergieron una mínima cantidad.

La longitud de las raíces aumentó desde el primer registro. La mayor longitud se encontró a partir de los 10-20 cm de profundidad de 155-255 cm de longitud y la mínima de 5-60 cm (Figura 1.6). Debido al vigor de este portainjerto, la arquitectura de las raíces difiere en cuanto al número, longitud y profundidad en comparación con el portainjerto Bud.9. En el portainjerto MM106 se expanden hasta una profundidad de 0.5 m (Sharma y Chauhan, 2005) que está relacionado con la fuente-demanda del área foliar y la proporción de las raíces con relación al área foliar.

En el tratamiento `Brookfield Gala´/Bud.9, las primeras apariciones de raíces >1 mm de diámetro se observó en el mes abril, aunque su registro comenzó en el mes de mayo (70-80 días después) del establecimiento de los rizotrones. El mayor número de raíces se encontró a la profundidad 0-10 y 10-20 cm, aumentando a finales de mayo desde el

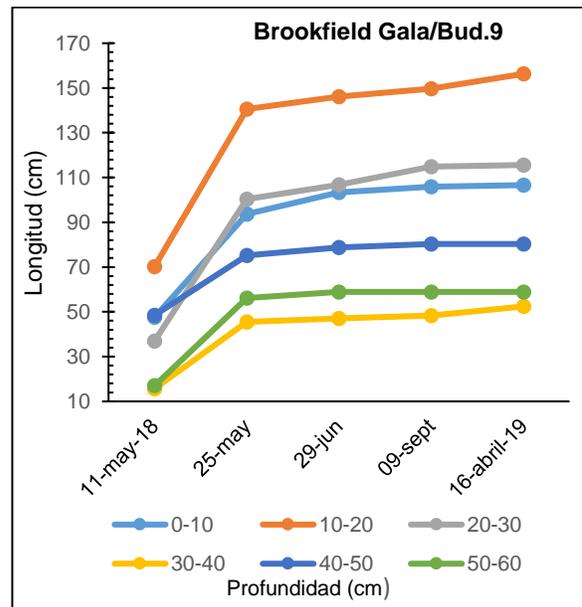
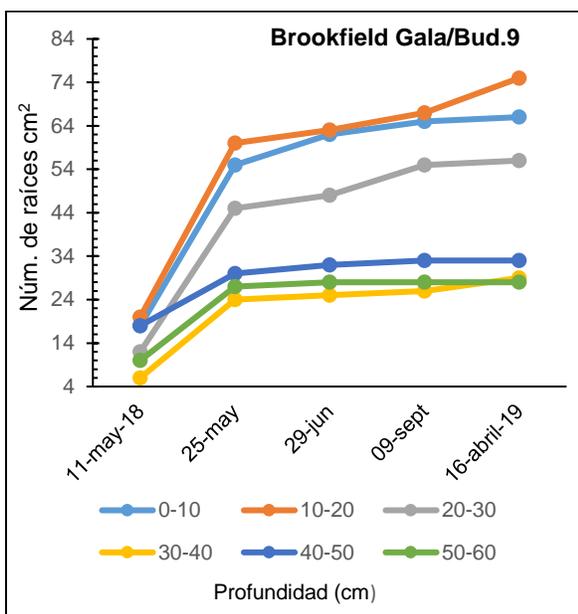
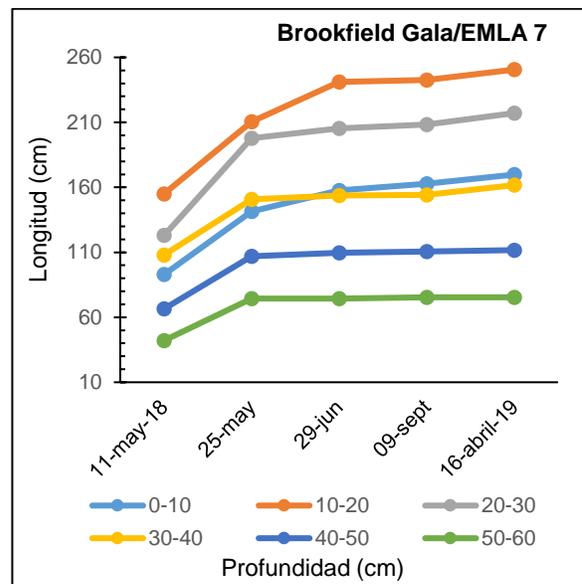
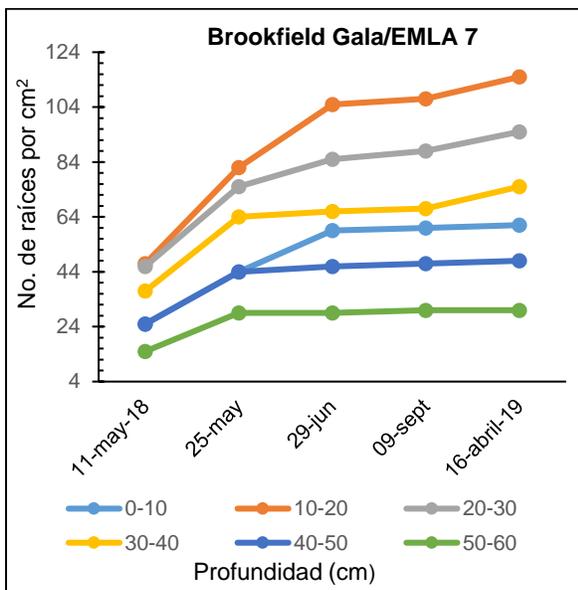
primer registro (15-55 raíces), la menor cantidad se concentró a los 30-40 y 50-60 cm de profundidad (Figura 1.6). El mes de mayo, fue el de mayor crecimiento y correspondió a la etapa fenológica de mayor actividad en el desarrollo de frutos, aunque desde junio a septiembre se observó ligero aumento, esto puede deberse a que después de la cosecha se reduce la competencia por nutrimentos, mientras que de septiembre-octubre se detuvo el crecimiento por la entrada al letargo.

De acuerdo a la etapa fenológica, no se observó actividad en los meses de noviembre, diciembre, enero y parte de febrero. Por otro lado, la brotación vegetativa y floral comienza a finales de febrero con la plena floración a mediados de marzo. De acuerdo a la literatura se supone que la actividad de las raíces comenzara un mes antes del inicio de brotación, sin embargo, solo se observaron algunos puntos de inicio que inmediatamente se detuvieron, esto pudo ser debido al estrés hídrico que sufrieron por escasez de agua.

La longitud de raíces fue mayor en la profundidad de 10-20 cm, seguido por la profundidad de 20-30 y 0-10 cm, y la menor a los 30-40 cm (Figura 1.6). Debido a la característica de este portainjerto se ha reportado que la arquitectura de sus raíces es superficial pero ramificada por lo que se extiende horizontalmente.

El comportamiento de raíces >1 mm de diámetro en `Brookfield Gala/Bud.9+EMLA 7-2016, el mayor número se presentó a la profundidad de 10-20 cm tuvo mayor cantidad de raíces (22-68 raíces), seguido por la profundidad de 0-10 cm, la de menor cantidad se encontró a 40-50 cm de profundidad (Figura 1.6). En cuanto a las raíces del injerto de aproximación no se distinguió el color, por lo tanto, no se tiene seguridad de que algunas raíces correspondieran a EMLA7 ver Anexo (Figura G). Desde el primer registro (11-mayo-2018) hasta septiembre donde se detuvo el crecimiento, sin embargo, se observaron algunas raíces en abril del 2019, pero no crecieron. Con respecto a la longitud de las raíces, a la profundidad de 10-20 cm se registró la mayor longitud de 76-135 cm, y la de menor se registró a partir de los 40-50 cm de 7-23 cm (Figura 1.6-G).

Las raíces >1 mm de diámetro en `Brookfield Gala´/Bud 9+EMLA 7-2017, la mayor cantidad de raíces se presentó a la profundidad de 20-30 cm con 25-48 raíces, seguido por la profundidad 10-20 cm y el menor a 50-60 cm con 15-32 raíces, mientras que las profundidades a 0-10, 30-40 y 40-50 cm tuvieron comportamiento intermedio (Fig.1.6). En mayo se observó inicialmente algunos primordios activos, pero no crecieron. Con respecto a su longitud fue mayor a 10-20 cm de profundidad en mayo, mientras que la menor longitud se encontró a los 40-60 cm (Fig.1.6-H).



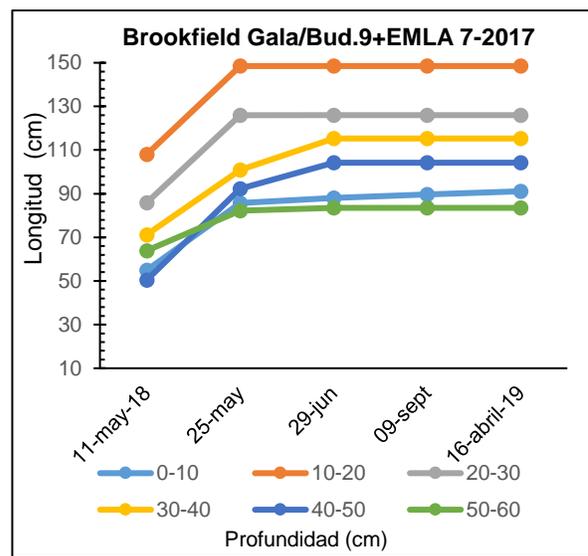
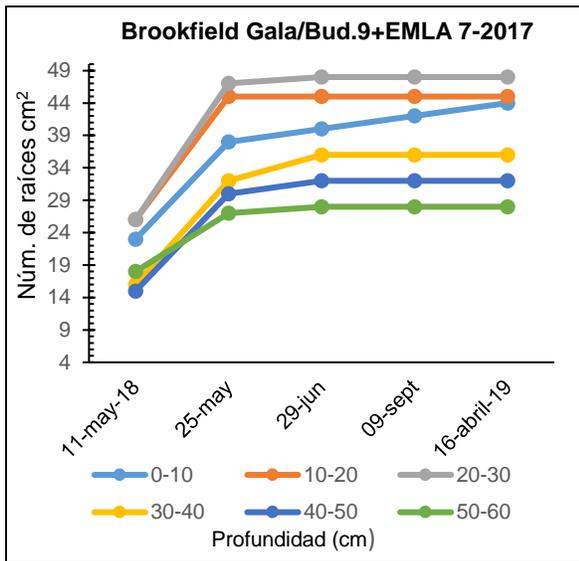
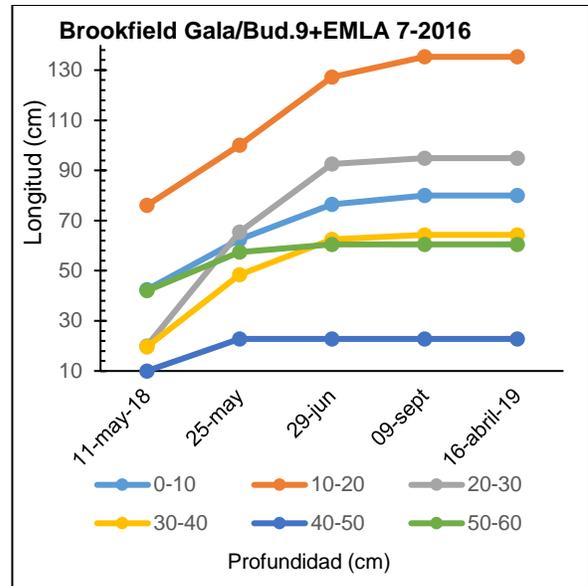
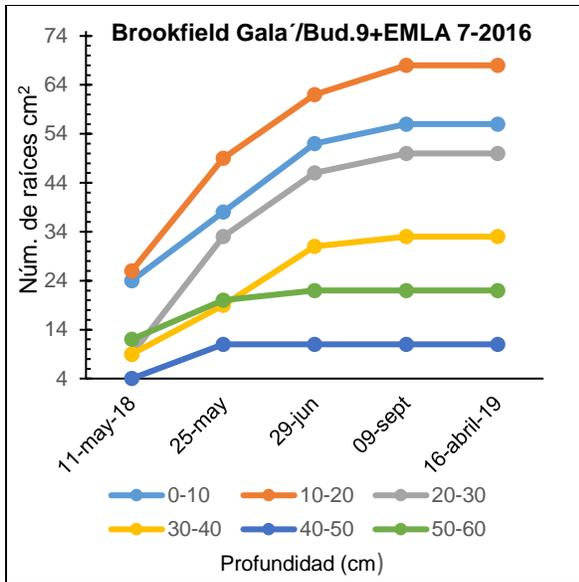


Figura 1.6. Número y longitud de raíces a diferentes profundidades del cv.: Brookfield Gala/EMLA7; Brookfield Gala/Bud.9; Brookfield Gala/Bud.9+EMLA 7-2016 y Brookfield Gala/Bud.9+EMLA 7-2017.

La dinámica anual de crecimiento de las raíces varía de acuerdo al tipo de especies, así como el vigor del portainjerto. Se observó que en Brookfield Gala/Bud.9, el número y la longitud de raíces fueron mínimas en comparación con el portainjerto EMLA7. Coker (1958), menciona que los portainjertos influyen en la profundidad del enraizamiento y la densidad se diferencia por el número de raíces y no por la tasa de crecimiento (Rogers, 1939b). Atkinson (1980), reporta que el sistema de raíces en manzano es muy escaso y

varía con respecto a la densidad de raíces finas, por lo general se producen en primavera.

La distribución vertical de raíces a la profundidad 0-60 cm con el portainjerto EMLA7 coincide con lo reportado por (De-Silva *et al.*, 1999) en M.26 de la distribución vertical fue más estratificada. Atkinson (2001), reporta que en la distribución y desarrollo de raíces puede influir el tipo y profundidad de suelo y si la profundidad es mínima o impermeable, la mayoría de las raíces se desarrollan en la parte superior de 15 a 20 cm, como se observó en todos los tratamientos, así también en M.7 se ha encontrado mayor desarrollo de raíces a la profundidad de 11-20 cm (Shengrui *et al.*, 2006).

En el tratamiento `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA7-2016 y 2017, se observó una ligera diferencia en los crecimientos. El mayor número y longitud de raíces en 2016 podría ser debido a la edad del injerto de aproximación de EMLA7 como menciona Hughes y Gandar (1993). De-Silva *et al.* (1999), reportan que los crecimientos de raíces por cm² en portainjerto M.9, M.26 y MM126 se multiplicó casi por diez en un periodo de cuatro años, mientras que Hughes y Gandar (1993), reportan que la densidad de raíces alcanzó su máximo aproximadamente cuatro años de trasplante.

El crecimiento de raíces también se puede ver afectado por el espacio reducido entre plantas como es en los huertos intensivos, aunque tienen la ventaja de ser eficientes en la absorción de agua y nutrimentos (Webster, 2003). En arboles jóvenes con portainjerto enano, se disminuye la densidad de raíz conforme aumenta la distancia radial a partir del tronco del árbol (Hughes y Gandar, 1993).

La dinámica del crecimiento de raíces, demostró que en el mes de mayo se obtuvo la máxima cantidad y longitud de raíces en todas las combinaciones, esto coincide con lo reportado en el cv. Red Fuji sobre portainjertos enanos y vigorosos, donde se observó uno o dos máximos en la densidad de raíz en los meses de mayo y diciembre de un ciclo de producción (Ma *et al.*, 2013), sin embargo, esto puede diferir por el vigor del portainjerto. Por otro lado, en un estudio con `Golden Delicious´ de 13 años de edad se

obtuvo tres máximos crecimientos anuales que alternaron con el crecimiento de los brotes (Qu y Han, 1983), en cambio en árboles de un año solo presentaron dos periodos de crecimiento (Wang, 2005), y en manzanos recién injertados de `Golden Delicious`/M.9 solo mostraron un máximo de crecimiento anual (Atkinson, 1980).

También se cree que la dinámica de crecimiento del periodo 2019 se vio afectado por estrés hídrico, donde se observó mínima actividad, por lo que la brotación vegetativa y reproductiva se llevó a cabo con las reservas acumuladas del ciclo pasado, a través de las raíces bronceadas, como demostraron Atkinson y Wilson (1979), de que las raíces suberizadas eran igualmente capaces de absorber agua y nutrimentos del suelo como las raíces blancas. También en manzano se ha observado que, si no hay disponibilidad de agua, en poco tiempo los árboles modifican su estrategia de captación de agua, ajustándola al patrón actual de humedad del suelo en su sistema de raíces (Green y Clothier, 1999).

1.6.7 Porcentaje de raíces secundarias

La cantidad y presencia de raíces terciarias (finas) o adventicias son los principales componentes del sistema de raíces, por ser el medio por el cual las plantas absorben agua y nutrimentos, su ausencia dificulta el desarrollo productivo del árbol. En `Brookfield Gala`/EMLA 7, las raíces <1 mm de diámetro se encontró a la profundidad de 0-10 cm (90-100%) desde el primer registro (11 de mayo-2018), en el segundo registro descendió, y posteriormente se mantuvo. En la profundidad de 20-30 cm, a partir de 25 de mayo-2018 se presentó de igual manera mayor porcentaje (95-100%), lo cual se mantuvo hasta el último registro. El menor porcentaje (50%) se encontró a 40-50 y 50-60 cm de profundidad (Figura 1.7). Dado al vigor de este portainjerto la distribución de raíces adventicias se observó en toda la placa establecida, a mayor cantidad de raíces adventicias mayor es la exploración de agua y nutrimentos.

En el tratamiento `Brookfield Gala`/Bud.9, se presentó mayor porcentaje (100%) de raíces adventicias (>1 mm de diámetro) a la profundidad de 10-20 cm en los primeros registros del 11 y 25 de mayo, aunque descendió posteriormente Así también a la

profundidad de 20-30 cm se encontró mayor porcentaje (95%) en mayo; el menor porcentaje (40-50%) a la profundidad de 40-50 cm, sobrepasando la profundidad 50-60 cm, aunque inicialmente se registró con 20% (Figura 1.7).

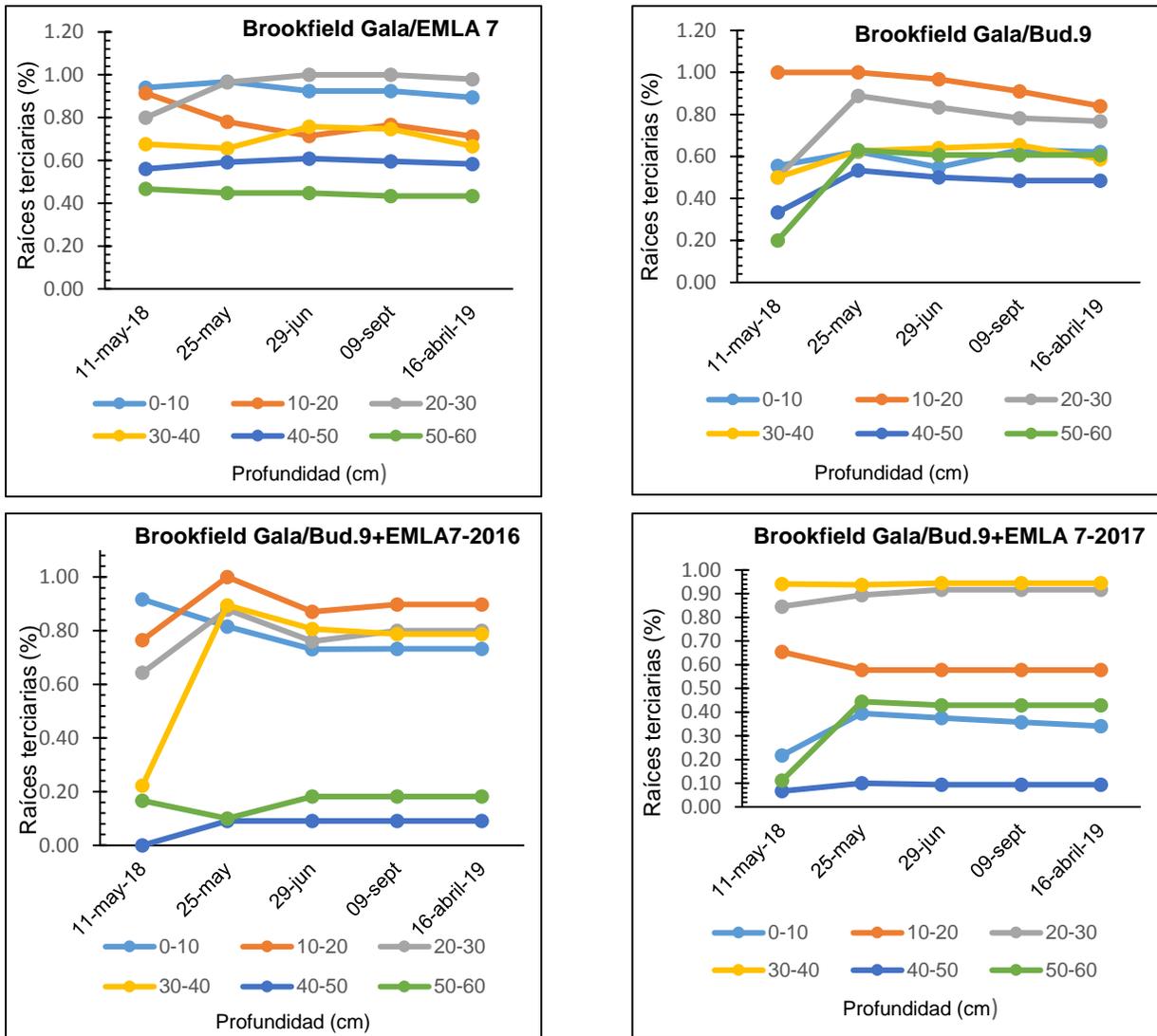


Figura 1.7 Porcentaje de raíces terciarias: Brookfield Gala/EMLA 7; Brookfield Gala/Bud.9; Brookfield Gala/Bud.9+EMLA 7-2016 y Brookfield Gala/Bud.9+EMLA 7-2017.

En el tratamiento `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA7-2016, el mayor porcentaje (75-100%) se encontró a la profundidad de 10-20 cm en el registro del 25 de mayo-2018, aunque descendió el 29 de junio, pero se mantuvo. También a 30-40 cm de profundidad, el 11 de mayo presento solo 20% y el 25 de mayo incrementó hasta 85% esta se mantuvo

hasta el último registro. El menor porcentaje (5-20%) se presentó a las profundidades de 40-50 y 50-60 cm (Figura 1.7).

El porcentaje de raíces adventicias <1 mm de diámetro en `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA 7-2017, el mayor porcentaje (85-95 %) se presentó a la profundidad de 20-30 y 30-40 cm desde el primer registro (11- mayo-2018). El menor porcentaje (5%) se encontró a 40-50 cm de profundidad, mientras que a la profundidad de 50-60 inicialmente (11 de mayo) tenía menor cantidad, pero incrementó de 40-50% (Figura 1.7).

En general, el mayor porcentaje (50-100%) de raíces <1 mm de diámetro se encontró en el tratamiento `Brookfield Gala´/EMLA7 a los 0-30 cm de profundidad; comparado con `Brookfield Gala´/Bud.9 donde el porcentaje varió al inicio del registro con un 20%. Con el injerto de aproximación en `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA7-2016 se presentó variación y con menor porcentaje; comparado con `Brookfield Gala´/EMLA7-2017 también se encontró de 5-50%.

1.7 CONCLUSIONES

Las raíces de los portainjertos EMLA 7 y Bud.9 son de características similares en color y grosor por lo que no se pudieron diferenciar claramente. En el primer año de evaluación, el portainjerto EMLA 7 inició su actividad de crecimiento una semana antes que injerto por aproximación (2016) injertado en el tronco de Brookfield Gala/Bud.9. Sin embargo, al año siguiente la respuesta fue inversa.

El crecimiento de raíces de ambos portainjertos fue variables de un año a otro, probablemente debido a las condiciones ambientales cambiantes de temperatura y humedad del suelo. Se observó que el portainjerto EMLA 7 tiene raíces más vigorosas y con mayor distribución en el suelo que el portainjerto Bud.9. El mayor crecimiento de raíces se concentró a la profundidad de 10-20 cm a finales de mayo.

1.8 LITERATURA CITADA

Abdelmageed, A.H.A., and N. Gruda. 2009. Influence of grafting on growth, development and some physiological parameters of tomatoes under controlled heat stress conditions. Hort. Sci. 74:16-20.

- Alizadeh, A. and V. Alizade. 2013. Response of apple (*Malus pumila*) dwarf rootstocks to salinity stress. *Scientia. Agric.*4:77-84.
- Aloni, B., R. Cohen., L. Karni., H. Aktas and M. Edelstein. 2010. Hormonal signaling in rootstock-scion interactions. *Scientia Hort.* 127:119-126.
- Andrews, P.K. and C. Serrano Marquez. 1993. Graft incompatibility. *Hortic. Rev.* 15:183-231.
- Arora, R. and L.J. Rowland. 2011. Physiological research on winter hardiness: deacclimation resistance, reacclimation ability, photoprotection strategies, and a cold acclimation protocol design. *Hort. Science* 46:1070–1078.
- Atkinson, C.J. 2001. Using Rootstocks to optimize fruit tree water use. p. 12-18. In: K. Hall (ed.). 44th Annual International Dwarf Fruit Tree Association Conference. Grand Rapids, Michigan.
- Atkinson, C.J. and A. D. Webster. 2001. The influence of the development of temperate fruit tree species on the potential for their uptake of radionuclides. *Journal of Environmental Radioactivity.* 52:131-146.
- Atkinson, D. 1980. The distribution and effectiveness of the roots of tree crops. *Horticulture Review.* 2:42-49.
- Atkinson, D. and S. A. Wilson. 1980. The growth and distribution of fruit tree roots: some consequences for nutrient uptake. pp. 137-150. In: D. Atkinson, J.E. Jackson, R.O. Sharples, and W.M. Waller (eds.) *The mineral nutrition of fruit trees.* Butterworths, Borough Green, U.K.
- Atkinson, D. and S.A. Wilson. 1979. The root-soil interface and its significance for fruit tree roots of different ages. p. 259-271. In: J.L. Harley and R.S. Russell (eds.) *The soil—root interface.* Academic Press, London.
- Autio, W., T.L. Robinson., J. Cline and R.M. Crassweller. 2011. Performance of several semi-dwarfing rootstocks with 'Fuji' and 'McIntosh' as scion cultivars. *Acta Hort.* 903:19-326.
- Barritt, B.H., M.A. Dilley, and B.J. Schonberg. 1990. New dwarfing rootstocks for high density plantings. *Good Fruit Grower.* 41:5-8.
- Basile, B., D.R. Bryla., M.L. Salsman., J. Marsal., C. Cirillo., R. Scott Johnson and T.M. DeJong. 2007. Growth patterns and morphology of fine roots of size-controlling and invigorating peach rootstocks. *Tree Physiology.* 27:231-241.
- Bates, G.H. 1937. A device for the observation of root growth in the soil. *Nature.* 139:966-967.
- Beers, E. H., S. D. Cockfield., G. Fazio. 2007. Biology and management of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann), in Washington state. *Pome Fruit Production.* 30:37-42.
- Bernier, P.Y. and G. Robitaille. 2004. A plane intersect methods for estimating fine root productivity of trees from minirhizotrons images. *Plant Soil.* 265:165-173.

- Böhm, W. 1979. Methods of studying root systems. Ecological Studies Num. 33. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 188 pp.
- Bové, J.M. and A.J. Ayres. 2007. Etiology of three recent diseases of citrus in Sao Paulo State: sudden death, variegated chlorosis and huanglongbing. IUBMB Life 59:346-354.
- Brookfield, B.; Brookfield, P. 1997. Apple variety Baigent; patent 10016. (on line). Alexandria, VA, United States Patent Trademark Office. s.p. Available in <http://www.google.es/patents/USPP10016?printsec=claims&hl=es&dq=Gala+Baigent#v=onepage&q=Gala%20Baigent&f=false>
- Calderón-Zavala, G., A. N. Lakso and R. M. Piccioni. 2004. Temperature Effects on Fruit and Shoot Growth in the Apple (*Malus domestica*) Early in the Season. Acta Hort. 636:447-453.
- Campeanu, G., G. Neata and G. Darjanschi. 2009. Chemical composition of the fruits of several apple cultivars growth as biological crop. Hortic. Agrobotanici Cluj-Napoca. 37:161-164.
- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle-Bueno & A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas agrícolas, plantas y ECP. 2ª edición. Instituto de capacitación para la productividad agrícola.
- Cline, J.A., D. M. Hunter., W. G. Bonn. and M. Bijl. 2001. Resistance of the vineland series of apple rootstocks to fire blight caused by *Erwinia amylovora*. J. Am. Pomol. Soc. 55:218-221.
- Coker, E. G. 1958. Root studies, XII. Root systems of apple on Malling rootstocks on five soil series. Journal of Horticultural Science. 33:71-79.
- Cook, F.J. and V.A. Orchard. 2008. Relationships between soil respiration and soil moisture. Soil Biol Biochem. 40:1013-1018.
- Day, F.P., D.B. Stover., A.L. Pagel., B.A. Hungate., J.J. Dilustro., B.G. Herberts-Drake, and C.R. Hinkle. 2006. Rapid root closure after fire limits fine root responses to elevated atmospheric CO₂ in a scrub oak ecosystem in central Florida USA. Glob Change Biol. 12:1047-1053.
- De-Silva, H.N., A.J. Hall., D.S. Tustin and P.W. Gandar. 1999. Analysis of Distribution of Root Length Density of Apple Trees on Diferente Dwarfing Rootstocks. Annals of Botany. 83:335-345.
- Di Vaio, C., C. Cirillo., M. Buccheri., and F. Limongelli. 2009. Effect of interstock (M.9 and M.27) on vegetative growth and yield of apple trees (cv. Annurca). Sci.Hort. 119: 270–274.
- Dos Santos Pereira, I., R. Da Silva Messias, A. Diniz Campos, P. Errea, L.E. Correa Antunes, J.C. Fachinello, and A. Pina. 2014. Growth characteristics and phenylalanine ammonia-lyase activity in peach grafted on different *Prunus* spp. Biol. Plant. 58:114–120.
- Eissenstat, D. M., and R. D. Yanai. 2002. Root life span, efficiency and turnover. In: Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U (eds) Plant roots: the hidden half. Marcel Dekker Pub, New York, pp 221-238.

- Eissenstat, D. M., C.E. Wells and L. Wang. 2001. Root Efficiency and Mineral Nutrition in Apple. *Acta Hort.* 564:165-183.
- Errea, P. 1998. Implications of phenolic compounds in graft incompatibility in fruit tree species. *Sci Hortic.* 74:195-205.
- Errea, P., J. Garay and A. Marin. 2001. Early detection of graft incompatibility in apricot (*Prunus armeniaca* L.) using in vitro techniques. *Physiologia Plantarum.* 112: 135-141.
- Fallahi, E., K. Arzani, and B. Fallahi. 2013. Long-term leaf mineral nutrition in 'Pacific Gala' apple (*Malus x domestica* Borkh.) as affected by rootstock type and irrigation system during six stages of tree development. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 88:685-692.
- Fazio G., Kviklys D., Grusak M. A., Robinson T. L. 2013. Phenotypic diversity and QTL mapping of absorption and translocation of nutrients by apple rootstocks. *Aspects of Applied Biology.* 119: 37–50.
- Fazio, G. 2014. Breeding apple rootstocks in the twenty century—what can we expect them to do to increase productivity in the orchard?. *Acta Hort.* 1058:421-428.
- Fernández, J.E., F. Moreno., J. Martín-Aranda., and E. Fereres. 1992. Olive-tree root dynamics under different soil water regimes. *Agric. Med.* 122:225-235.
- Feucht, W., D. Treutter, and P. Schmid. 1988. Inhibition of growth and xylogenesis and promotion of vacuolation in *Prunus* callus by the flavanone prunin. *Plant Cell.* 7:1898-1192.
- Feucht, W., P.P.S. Schmid, and E. Christ. 1983. Compatibility in *Prunus avium/Prunus cerasus* grafts during initial phase. II. Reduction of cell number and peroxidases in the rootstock cambium. *Scientia Hortic.* 23:225-231.
- Font i Forcada, C., Y. Gogorcena., and M.A. Moreno. 2014. Agronomical parameters, sugar profile and antioxidant compounds of 'Catherine' peach cultivar influenced by different plum rootstocks. *J Mol Sci.* 15:2237-2254.
- García-Villanueva, E., E. Costes and C. Jourdan. 2004. Comparing Root and Aerial Growth Dynamics of Two Apple Hybrids Ownrooted and Grafted on M.9. *Acta Hort.* 658: 61-67.
- Glinski, D.S., K.J. Karnok, and R.N. Carrow. 1993. Comparison of reporting methods for root growth data from transparent-interface measurements. *Crop Sci.* 33:310-314.
- Goldschmidt, E.E. 2014. Plant grafting: new mechanisms, evolutionary implications. *Front Plant Sci.* 5:727.
- Green, S. and B. Clothier. 1999. The root zone dynamics of water uptake by a mature apple tree. *Plant and Soil.* 206:61-77.
- Gregory, P.J., C.J. Atkinson., A.G. Bengough., M.A. Else., F. Fernandez–Fernandez., and R.J. Harrison. 2013. Contributions of roots and rootstocks to sustainable, intensified crop production. *J. Exp. Bot.* 64:1209-1222.
- Guo, D.L., R. J. Mitchell., J. M. Withington., P.P. Fan., and J.J. Hendricks. 2008. Endogenous and exogenous controls of root life span, mortality and nitrogen flux in a longleaf pine forest: root branch order predominates. *J. Ecol.* 96:737-745.

- Hampson, C. R., H. A. Quamme and R. T. Brownlee. 2002. Canopy Growth, Yield, and Fruit Quality of 'Royal Gala' Apple Trees Grown for Eight Years in Five Tree Training Systems. Hort. Sci. 37:627-631.
- Hartmann, H.T., D.E. Kester., Jr. Davies., R.L. Geneve. 2002. Plant Propagation: Principles and Practices. Prentice Hall, New Jersey.
- Hass, P.G. and K. Hein. 1973. The effect of various pruning measures and defoliation on the growth of apple roots (in German). Erwebsobstbau. 15: 137-141.
- Head, G.C. 1966. Estimating seasonal changes in the quantity of white unsuberized root on fruit trees. J. Hort. Sci. 41:197-206.
- Head, G.C. 1967. Effects of seasonal changes in shoot growth on the amount of unsuberized root on apple and plum trees. Horticultural Science and Biotechnology 42:169-180.
- Head, G.C. 1969. The effects of fruiting and defoliation on seasonal trends in new root production on apple trees. J. Hort. Sci. 44: 175-181.
- Hendricks, R.L., R.J. Hendrick, C.A. Wilson, R.J. Mitchell, S.D. Rechet, and D. Guo. 2006. Assessing the patterns and controls of fine root dynamics: an empirical test and methodological review. J Ecol. 94: 40-57.
- Higgs, K.H. and H.G. Jones. 1990. Response of apple rootstocks to irrigation in south-east England. J. Hort. Sci. 65:129-141.
- Hodge, A., G. Berta., C. Doussan., F. Merchan and M. Crespi. 2009. Plant root growth, architecture and function. Plant Soil.32:53-87.
- Hughes, K.A. and P.W. Gandar. 1993. Length densities, occupancies and weights of apple root systems. Plant and Soil.148:211-221.
- INEGI, 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Aquixtla Puebla. Consultado septiembre-2018. Disponible en http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21016.pdf
- Ingram, K.T. and G.A. Leers. 2001. Software for measuring root characters from digital images. Agron. J. 93:918-922.
- Ivanchenko, M.G., W.C. Coffeen., T.L. Lomax. and J.G. Dubrovsky. 2006. Mutations in the Diageotropica (Dgt) gene uncouple patterned cell division during lateral root initiation from proliferative cell division in the pericycle. Plant J. 46:436-447.
- Iwanami, H., S. Moriya., K. Okada, and K. Abe. 2011. Effects of temperature and solar radiation on sap flow in dwarfing apple rootstocks. Horticultural Science and Biotechnology. 86:241-244.
- Jackson, M.L. 1976. Análisis Químico de Suelos. Ediciones Omega. Barcelona Spain.
- Jenik, P.D., C.S. Gillmor and W. Lukowitz. 2007. Embryonic patterning in *Arabidopsis thaliana*. Cell Dev Biol. 23:207-236.

- Johnson, W.C., H.S. Aldwinckle, J.N. Cummins, P.L. Forsline, H.T. Holleran, J.L. Norelli, T.L. Robinson, J.W. Palmer, and J.N. Wunsche. 2001. The new USDA-ARS/ Cornell University apple rootstock breeding and evaluation program. *Acta Hortic.* 557:35–40.
- Joubert, P. J. C., J. Stassen and J. Wooldridge. 2011. Effect of Rootstock on Leaf and Fruit Macro-Element Composition in 'Reinders Golden Delicious' Apple. *Acta Hortic.* 903:391-396.
- Kankaya, A., S. Ozyigit., F.E. Tekintas., G. Seferoglu. 1999. Compatibility of some plum and apricot cultivars on pixy rootstock. Third National Horticulture Congress. 1:295-299.
- Klepper, B. 1992. Development and growth of crop root systems. *Adv Soil Sci* 19:1-25.
- Klepper, B., and T.C. Kaspar. 1994. Rhizotrons: Their development and use in agricultural research. *Agron. J.* 86:745-753.
- Kono, Y., A. Yamauchi., T. Nonoyama., J. Tatsumi, and N. Kawamura. 1987. A revised experimental system of root-soil interaction for laboratory work. *Environ. Control Biol.* 25:141-151.
- Kucukyumuk, Z. and I. Erdal. 2011. Rootstock and cultivar effect on mineral nutrition, seasonal nutrient variation and correlations among leaf, flower and fruit nutrient concentrations in apple trees. *Bulgarian Journal of Agricultural Science.* 17:633-641.
- Kutschera, L. and E. Lichtenegger. 1960. *Atlas-Raíces de Malezas y Cultivos de Campo de Europa Central.* Editorial Verlag Pub. Franckfurt am Main.
- Kviklys, D., T. L. Robinson and G. Fazio. 2016. Apple rootstock evaluation for Apple replant disease. *Acta Hortic.* 1130:425-430.
- Lakso, A.N., D.W. Greene. and J.W. Palmer. 2006. Improvements on an apple carbonbalance model. *Acta Hortic.* 707:57–61.
- Lang, G.A. 2000. Precocious, dwarfing, and productive how will new cherry rootstocks impact the sweet cherry industry? *Hort. Technology.* 10:719-725.
- Lecompte, F. L. Pagès. 2007. Apical diameter and branching density affect lateral root elongation rates in banana. *Environ Exp Bot.* 59:243-251.
- Lehmann, J. 2003. Subsoil root activity in tree-based cropping systems. *Plant and Soil* 225:319-331.
- Leyser, O. 2006. Dynamic integration of auxin transport and signalling. *Curr Biol* 16: R424–R433.
- Li, R.F., Y.R. Liang., Q.X. Jiang., X.H. Hu., S.L. Wang., L. Liang., and H.F. Qin. 2004. Experiment on apple hardy dwarfing rootstock. *Acta Agr.* 19:114-118.
- Lockard, R.G. and G.W. Schneider. 1981. Stock and scion growth relationships and the dwarfing mechanism in apple. *Hortic. Rev.* 3:316-375.
- Lynch, J.P. and K.M. Brown. 2012. New roots for agriculture: exploiting the root phenome. *Royal Soc.* 367:1598-1604.

- Ma, Li., C.W. Hou., X. Z. Zhang., H. L. Li., De-G. Han., Y. Wang and Z. H. Han. 2013. Seasonal Growth and Spatial Distribution of Apple Tree Roots on Defferent Rootstocks or Interstems. Horticultural Science. 138:79-87.
- Machado, R.M.A., M. Rosario., and G. Oliveira. 2003. Comparison of tomato root distribution by minirhizotron and destructive sampling. Plant Soil. 255:375-385.
- Maeght, J.L., B. Rewald., and A. Pierret. 2013. How to study deep roots-and why it matters. Plant Sci. 4:299.
- Malamy, J.E. 2005. Intrinsic and environmental response path-ways that regulate root system architecture. Plant Cell Environ. 28:67-77.
- Marini, R. P., and G. Fazio. 2018. Apple Rootstocks: History, Physiology, Management, and Breeding. Horticultural Reviews. 45:197-312.
- Marini, R. P., B. Black., R. M. Crassweller., P.A. Domoto., C. Hampson., R. Moran., T. Robinson., M. Stasiak, D. L. Ward and D. Wolf. 2014. Performance of 'Golden Delicious' apple on 23 rootstocks at eight locations: a ten-year summary of the 2003 NC-140 dwarf rootstock trial. Pomol. Soc. 68:54-68.
- Masle J. 2002. High soil strength: mechanical forces at play on root morphogenesis. In: Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U (eds) Plant roots: the hidden half. Marcel Dekker Pub, New York. 807-820 pp.
- McDougall, W.B. 1916. The growth of forest tree roots. Am. J. Bot. 384-392.
- McMichael, B. L., and J. J. Burke. 2002. Temperature effects on root growth. In: Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U (eds) Plant roots: the hidden half. Marcel Dekker Pub, New York, pp 717-728.
- Monteith, J.L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. Philosophical Transactions of the Royal Society. 281:277-294.
- Moonkuntha, K., U. Boonprakob and K. Thaipong. 2009. Guava propagation by budding, inarching and grafting methods. Khon Kaen Agriculture Journal. 37:75-78.
- Nakano, M., T. Tanaka., H. Motosugi and T. Ishii. 2004. Hydraulic conductivity of peach cultivars as affected by nanking cherry (*Prunus tomentosa* Thunb.) rootstock. Acta Hortic. 636:111-117.
- Neumann, G.; T.S. George. and C. Plassard. 2009. Strategies and methods for studying the rhizosphere-The plant science toolbox. Plant Soil. 321:431-456.
- Nobel, P.S., P.J. Schulte, and G.B. North. 1990. Water influx characteristics and hydraulic conductivity for roots of *Agave deserti* Engelm. J. Expt. Bot. 41:409-415.
- NOM, N.O.M. 2000. 021-SEMARNAT-200. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación, martes, 31.
- Nye, P.H. and P. B. Tinker. 1977. Solute Movement in the Soil-Root System. Blackwell Scientific Publ., Oxford.

- Parra Q., R. A. y V. M. Guerrero. P. 2005. Descripción de portainjertos de manzano y diseño de plantaciones con portainjertos clonales. Folleto Técnico No. 13 INIFAP-Sierra de Chihuahua. 35 p.
- Pierret, A., C. J. Moran., and C. Doussan. 2005. Conventional detection methodology is limiting our ability to understand the roles and functions of fine roots. *New Phytol* 166:967-980.
- Pontikis, K. 2003. Applied pomology (p. 74). Athens, Greece: Stamoulis Publications in Greek.
- Pregitzer, K. S., J. L. DeForest., A.J. Burton., M.F. Allen., R.W. Ruess and R. L. Hendrick. 2002. Fine root architecture of nine North American trees. *Ecol. Monogr.*72:293-309.
- Pregitzer, K.S., M.J. Laskowski., A.J. Burton., V.C. Lessard and D.R. Zac. 1998. Variation in sugar maple respiration with root diameter and soil depth. *Tree Physiol.* 18:665-670.
- Psarras, G., I. A. Merwin., A.N. Lakso., and J.A. Ray. 2000. Root growth phenology, root longevity, and rhizosphere respiration of field grown 'Mutsu' apple trees on 'Malling 9' rootstock. *Horticultural Science.* 125: 596-602.
- Qu, Z. Z. and Q.Q. Han. 1983. Studies on the relationship between root and top growth of apple. *Acta Hortic.*10:25-33.
- Reddy, Y.T.N., R.M. Kurian., P.R. Ramachander., G. Singh. and R.R. Kohli. 2003. Longterm effects of rootstocks on growth and fruit yielding patterns of 'Alphonso' mango (*Mangifera indica* L.). *Sci. Hortic.* 97:95-108.
- Robinson, D. 2001. Root proliferation, nitrate inflow and their carbon costs during nitrogen capture by competing plants in patchy soil. *Plant Soil.* 232:41–50.
- Robinson, T. L. 2007. Recent advances and future directions in orchard planting systems. *Acta Hortic.* 732:367-381.
- Robinson, T.L., S.A. Hoying., M.M. Sazo., L.I. Dominguez and J.C. Fachinello. 2014. Yield, Fruit Quality and Mechanization of the Tall Spindle Apple Production System. *Acta Hortic.* 1058:95-103.
- Rogers, W. S. 1939. Root studies VIII. Apple root growth in relation to rootstock, soil, seasonal and climatic factors. *Pomology and Hortic. Sci.* 17:99-130.
- Román, M.P., M. Cambra., J. Juárez., P. Moreno., N. Duran-Vila., F.A.O. Tanaka., E. Alves., E.W. Kitajima., P.T. Yamamoto., R. B. Bassanezi., D. C. Teixeira., W. C. Jesus., A. J. Ayres., N. Gimenes-Fernandes., F. Rabenstein., L.F. Giroto., and J.M. Bové., 2004. Sudden death of citrus in Brazil: a graft-transmissible bud union disease. *Plant Dis.* 88:453-467.
- Ruiz-Canales, A., J.A. Franco., V. Plana., and J.M. Abrisqueta. 2006. Root distribution in apricot orchard (*Prunus armeniaca* L. 'Búlida') under trickle irrigation. *Acta. Hort.* 717:307-311.
- Russo, N.L., H.S. Aldwinckle., T.L. Robinson., and G. Fazio. 2008. Budagovsky 9 rootstock: uncovering a novel resistance to fire blight. *Acta Hortic.* 793:321-324.

- Sabatini S, R. Heidstra., M. Wildwater., and B. Scheres. 2003. SCARECROW is involved in positioning the stem cell niche in the Arabidopsis root meristem. *Genes Dev* 17:354–358.
- Salesses, G. and A. Bonnet. 1992. Some physiological and genetic aspects of peach/plum graft incompatibility. *Acta Hortic.* 315:177-186.
- Schuurman, J.J. and M.A.J. Goedewaagen. 1971. *Methods for the Examination of Root Systems and Roots*; Centre for Agricultural Publishing and Documentation: Wageningen, The Netherlands.
- Sharma, D.D., and J.S. Chauhan. 2005. Effect of different rootstocks on root distribution of apple. *Acta Hort.* 696:167-171.
- Shengrui, Y., I. A. Mervin, and M. G. Brown. 2006. Root Dynamics of Apple Rootstocks in a Replanted Orchard. *Hort. Science.* 41:1149-1155.
- Simons, R.K. and M.C. Chu. 1980. Graft union patterns in M.26 and other apple rootstocks. *Com. Fruit Tree* 13:42–47.
- Smit, A.L., A.G. Bengough., C. Engels., M. van Noordwijk., S. Pellerin., and S. C. van de Geijn. 2000. *Root Methods. A Handbook.* Springer, Berlin, pp. 147–233.
- Smit, A.L., E. George and J. Groenwold. 2000. Root observations and measurements at (transparent) interfaces with soil. In *Root Methods: A Handbook*; Smit, A.L., Bengough, A.G., Engels, C., van Noordwijk, M., Pellerin, S., van de Geijn, S.C., Eds.; Springer-Verlag: Berlin, Germany. P. 236-266.
- Sotiropoulos, T. E. 2006. Performance of the pear (*Pyrus communis*) cultivar William's Bon Chretien grafted on seven rootstocks. *Australian J. Experimental Agriculture.* 46:701-705.
- Tardieu, F. and N. Katerji. 1991. Plant-response to the soil-water reserve: consequences of the root-system environment. *Irrig Sci* 12:145-152.
- Taylor, H.M. 1987. *Minirhizotron Observation Tubes: Methods and Applications for Measuring Rhizosphere Dynamics.* Spec. Publ. 50. American Society of Agronomy. Madison, WI 143 p.
- Taylor, H.M., D.P. Upchurch, and B.L. McMichael. 1990. Applications and limitations of rhizotrons and minirhizotrons for root studies. *Plant Soil.* 129:29-35.
- Tromp, J. and B.C. Boertjes. 1996. The effect of air temperature in successive periods of the growing season on sylleptic shoot formation in young apple trees. *Plant Growth*
- Tworowski, T., G. Fazio and M. Glenn. 2016. Apple rootstock resistance to drought. *Hort. Sci.* 204:70-78.
- Vitaglino C., A. Mensuali-Sodi., and F. Blando. 1992. Effect of NaCl on quince (*Cydonia oblonga*) tissue culture. *Acta Hortic.* 300:347-352.
- Wang, N., W. Qingjiang., Y. Tingshuai., P. Zhiyong., L. Yongzhong and P. Shu´ Peng. 2016. Improving the boron uptake of boron-deficient navel orange plants under low boron conditions by inarching boron-efficient rootstock. *Scientia Horticulturae.* 199:49-55.

- Wang, Y. and R. Kollmann. 1996. Vascular differentiation in the graft union of in vitro-grafts with different compatibility, structural and functional aspects. *Plant Physiol.* 147: 521-533.
- Warrington, L.J., T.A. Fulton., E.A. Halligan and H.N. de Silva. 1999. Apple Fruit Growth and Maturity are Affected by Early Season Temperatures. *Hort. Sci.* 124:468-477.
- Watson, C.A., J. M. Ross., U. Bagnaresi., G. F. Minotta., F. Roffi., D. Atkinson., K. E. Black., and J. E. Hooker. 2000. Environment-induced modifications to root longevity in *Lolium perenne* and *Trifolium repens*. *Ann. Bot.* 85: 397-401.
- Weaver, J.E.; Jean, F.C.; Crist, J.W. 1922. *Development and Activities of Roots and Crop Plants*; Carnegie Institution of Washington: Baltimore, USA.
- Webster, A. D. 2001. Rootstocks for temperate fruit crops: current uses, future potential and alternative strategies. *Acta Hort.* 557:25–34.
- Webster, A.D. 2004. Vigour mechanisms in dwarfing rootstocks for temperate fruit trees. *Acta Hort.* 658:29-41.
- Webster, T. 2002. Dwarfing rootstocks: past, present and future. *The Compact Fruit Tree.* 35:67-72.
- Weiser, C.J. 1970. Cold resistance and acclimation in woody plants. *Hort. Science* 5:403–410.
- Wells, C.E. and D.M. Eissenstat. 2001. Marked differences in survivorship among apple roots of different diameters. *Ecology* 82:882-892.
- Whiting, M.D., G. Laange., and D. Ophardt. 2005. Rootstock and training system affect sweet cherry growth, yield and fruit quality. *Hort. Sci.* 40: 582–586.
- Wildung, D., C. Weiser and H. Pellet. 1973. Cold hardiness of Mulling clonal apple rootstocks under different conditions of winter soil cover *Can. J. Plant Sci.* 53: 323-329.
- Xiao, J.X., X. Yan., S.A. Peng., and Y.W. Fang. 2007. Seasonal changes of mineral nutrients in fruit and leaves of 'Newhall' and 'Skagg's Bonanza' navel oranges. *Plant Nutr.* 30:671–690.
- Yang, S., Z. Zhang, Y. Xue, Z. Shang, and S. Shi. 2014. Arbuscular mycorrhizal fungi increase salt tolerance of apple seedlings. *Bot. Studies* 55:70.
- Zarrouk, O., J. Aparicio., Y. Gogorcena., M.A. Moreno. and J. Pinochet. 2006. Graft compatibility for new peach rootstocks in nursery. *Acta Hort.* 713:327–330.
- Zhou, Y.Q., S.J. Qin., X.X. Ma., J.E. Zhang., P. Shou., M. Sun., B.S. Wang, H.F. Zhou, and D.G. Lyu. 2015. Effect of interstocks on the photosynthetic characteristics and carbon distribution of young apple trees during the vigorous growth period of shoots. *Hortic. Sci.* 80:296-305.

CAPÍTULO II. ESTATUS NUTRIMENTAL, RESERVAS DE ALMIDÓN Y NITRÓGENO

2.1 RESUMEN

Los portainjertos enanizantes juegan un papel importante en el desarrollo y crecimiento de los cultivares, debido a su absorción y transporte de agua y minerales. Los portainjertos pueden ser selectivos en la absorción de los nutrimentos por lo que se deben elegir adecuadamente. El desempeño hortícola también dependerá de la cantidad de reservas disponibles, así como la capacidad del suelo para suministrar agua y nutrientes para el sistema radical. Bajo condiciones limitantes de suelos someros algunos portainjertos enanizantes no son capaces para satisfacer los requerimientos de agua y nutrientes para la variedad. Por lo tanto, en este trabajo se reporta el estatus nutrimental de árboles y el contenido de reservas en la base de yemas en el `Brookfield Gala´/Bud.9, apoyados por el portainjerto EMLA7, el cual fue injertado por aproximación al tronco de `Brookfield Gala´/Bud.9, en 2016 y 2017. El análisis foliar en 2018 demostró una concentración más alta de Mn y B en arboles `Brookfield Gala´/Bud.9 con injerto de aproximación realizado en 2016 y 2017 respectivamente. En 2019 la concentración de Cu y B fue más alta en los árboles con injerto de aproximación realizado en 2017. En todos los árboles la concentración de K y Zn fue baja y la concentración de Ca y B fue alta. La mayor concentración de almidón y nitrógeno se encontró en `Brookfield Gala´/Bud.9 con injerto de aproximación de 2016 y 2017. El efecto del injerto de aproximación con el portainjerto EMLA7 fue incipiente en el desarrollo y crecimiento del manzano `Brookfield Gala´/Bud.9, sin embargo, el contenido de reservas fue significativamente con el injerto por aproximación.

Palabras clave: *Malus pumila* Mill., portainjertos, injerto por aproximación, reservas.

2.2 ABSTRACT

Dwarf rootstocks play an important role in the development and growth of cultivars, due to their absorption and transport of water and minerals. Rootstocks can be selective in the absorption of nutrients so they must be chosen appropriately. Horticultural performance will also depend on the amount of reserves available, as well as the capacity of the soil to supply water and nutrients for the roots system. Under limiting conditions of shallow soils, some dwarfing rootstocks are not able to meet water and nutrients requirements of scion. Therefore, in this paper reports the mineral status of trees and the content of reserves in the bud base in the cultivar Brookfield Gala/Bud.9, supported by rootstock EMLA 7, which was inarched to the trunk of `Brookfield Gala´ in 2016 and 2017. Leaf analysis in 2018 showed a higher concentration of Mn and B in trees of `Brookfield Gala´/Bud.9 inarched in 2016, and 2017, respectively. In 2019, Cu and B Concentration was higher in trees inarched in 2017. The reserves high concentration in `Brookfield Gala´/Bud.9 by inarched 2016 and 2017. In all trees concentration of Zn and K was low and concentration of Ca and B was high. The effect of inarching EMLA 7 rootstock was incipient on growth and development of apple `Brookfield Gala´/Bud.9. However, in the concentration of reserves was significantly.

Keywords: *Malus pumila* Mill., rootstocks, inarched, reserves.

2.3 INTRODUCCIÓN

Los nutrimentos son esenciales para el crecimiento y desarrollo óptimo de los árboles frutales. Los portainjertos juegan un papel fundamental en la absorción y transporte de agua y minerales al cultivar, así como la translocación a sus diferentes órganos (Fallahi *et al.*, 2000). El requerimiento nutrimental difiere en plantaciones de alta densidad con respecto a las plantaciones convencionales, debido a que los portainjertos enanizantes inducen precocidad y mayor rendimiento (Cheng y Raba, 2009). Los portainjertos pueden ser selectivos en la absorción de nutrientes, por ello se debe elegir con cuidado para superar condiciones desfavorables (Fazio *et al.*, 2013). Así mismo, factores como el suelo del huerto, edad del árbol (Black y Evans, 1965) y la posible interacción entre cultivar y portainjerto puede afectar la absorción de nutrimentos (Fallahi *et al.*, 2013).

Las propiedades del suelo, tales como el pH interactúan en el efecto de los portainjertos, así como su genética que influyen en la concentración de nutrientes de la variedad (Fazio *et al.*, 2012). Por ello, los cultivares y portainjertos muestran una respuesta diferente a la aplicación de nutrientes (Kucukymuk y Erdal, 2011). El efecto de los portainjertos en el crecimiento y rendimiento del árbol también está influenciado por la morfología y distribución espacial de las raíces (Gregory *et al.*, 2013). Se ha reportado que la concentración de nutrimentos difiere entre portainjertos enanos y semi vigorosos. En plantaciones de alta densidad, el manejo de la nutrición es fundamental para asegurar un buen crecimiento de los árboles, rendimiento y calidad del fruto (Cheng y Raba, 2009).

Las reservas de minerales, carbohidratos y nitrógeno se consideran esenciales para la actividad de los árboles y el crecimiento de las raíces durante el letargo y para apoyar el crecimiento inicial en primavera (Breen *et al.*, 2018). El almidón es el principal carbohidrato de reserva insoluble en la mayoría de los tejidos de plantas leñosas, aunque también se encuentran otros compuestos como la hemicelulosa y los glucanos (Hoch, 2007). La competencia por la disponibilidad de carbohidratos al inicio del ciclo afecta el crecimiento vegetativo y el amarre de fruto en el manzano (Lakso *et al.*, 2001), así como atributos de calidad tales como el tamaño, color, concentración de azúcares y firmeza (Wünsche *et al.*, 2005).

El almacenamiento de reserva o la capacidad de movilización de carbohidratos pueden variar entre portainjertos o en las combinaciones de variedad/portainjerto. La concentración de almidón en el cultivar se ve afectado principalmente por la sacarosa y el sorbitol en la cosecha, y por el almidón y sorbitol en la caída de hojas (Stutte *et al.*, 1994). Además del almidón, el nitrógeno juega un papel importante y esencial en los compuestos especiales de reservas (Titus y Kang, 1982). En manzano, el cuajado de frutos y su desarrollo se basan en los carbohidratos y compuestos nitrogenados (Tromp, 2005).

En arboles frutales se ha utilizado técnicas como el interinjerto para la resistencia de plagas y enfermedades o aumentar el rendimiento, con resultados positivos en algunos cultivares. Así también, el uso de injerto por aproximación en replantaciones con incidencias fitopatógenas, se ha observado que puede mejorar la absorción de nutrimentos. El injerto de aproximación consiste en plantar plántulas jóvenes de otro portainjerto junto a un árbol injertado y después injertarla en el tronco de los árboles de la variedad (Bové y Ayres, 2007).

Por lo tanto, el objetivo de esta parte de la investigación fue evaluar el estatus nutrimental y el contenido de reservas del manzano cv. Brookfield Gala injertado en el portainjerto Bud.9, apoyado con el portainjerto EMLA7 por injerto de aproximación, en un suelo somero del Municipio de Aquixtla Puebla. El portainjerto EMLA7 fue seleccionado debido a que funciona bien con el cv. Brookfield Gala, por lo que se espera mejore significativamente el estatus nutrimental y el contenido de reservas.

2.4 REVISIÓN DE LITERATURA

2.4.1 Factores que influyen en la nutrición del manzano

Las concentraciones de nutrimentos que tiene una planta son el resultado de las interacciones entre varios factores que involucran su disponibilidad en el suelo y la absorción (Mengel y Kirkby, 2001). Los nutrimentos pueden ser acumulados pasivamente a través de la corriente transpiratoria o activamente a través de sistemas que puedan involucrar transporte activo, interacción con la rizosfera y adaptaciones de

la arquitectura radical (raíces finas vs gruesas). Los requerimientos pueden ser cerciorados con el análisis foliar (Bould,1966), además de ser una manera confiable de obtener cantidades y patrones estacionales de absorción nutrimental (Weinbaum *et al.*, 2001). Tukey *et al.* (1962), fueron los primeros en reportar las diferencias en las concentraciones de nutrientes de las hojas de manzano en los portainjertos e interinjertos.

Los portainjertos pueden influir en la concentración mineral de las hojas, calidad de los frutos, el vigor y la carga del cultivar, en la absorción y translocación de minerales (Fallahi *et al.*, 2002). El desequilibrio nutrimental afecta eventos que están determinados por procesos fisiológicos, por ejemplo, formación de yemas florales, viabilidad de polen, cuajado y división celular del fruto (Johnson *et al.*, 2006). Fallahi *et al.* (1984), observaron que en manzanos `Starkspur Golden Delicious´/M.26 tenían mayor concentración de magnesio en las hojas que otros portainjertos, por ello la importancia de determinar la capacidad de absorción de nutrientes de las plantas para saber cuánto nutriente se requiere para un cultivar (Jiménez *et al.*, 2004).

Aguirre *et al.*, (2001); Amiri *et al.* (2014), reportan que los portainjertos enanos pueden ser una de las posibles causas de las deficiencias minerales en manzano, como se observó en `Golden Delicious´ descritos por Amiri *et al.*, 2008, sin embargo, el portainjerto M.9 fue más eficientes en la absorción de N sin importar la aplicación de fertilizante. No obstante, Lockard y Schnieder (1981), concluyeron que los efectos de los portainjertos en el tamaño del árbol y la precocidad no se deben a las diferencias en la concentración de minerales de la hoja.

Aunque también, en varios reportes han demostrado que las hojas de los cultivares en portainjertos más vigorosos tienen concentraciones más altas de potasio y magnesio que los portainjertos enanos (Amiri *et al.*, 2014). La concentración de nutrimentos pudiese influir en el tamaño y tipo de raíces. Rogers y Vyvyan (1939), demostraron que el tamaño del sistema de raíces y la absorción de nutrimentos no son factores limitantes en los árboles enanos ni la absorción de minerales sobre la variedad.

En manzano los nutrientes que se extraen en gran cantidad del suelo son N y K (Ernani *et al.*, 2002). El N tiene influencia en la fructificación efectiva, formación de yemas florales y aumenta el periodo de fertilización del óvulo (Petri, 2002); la absorción ocurre a tasas más altas de 37 a 81 días después de plena floración y luego comienza a disminuir (Zanotelli *et al.* 2014). El K aumenta la translocación de azúcar hacia los puntos de demanda (Taiz y Zeiger, 2004), mientras que su deficiencia se observa en la reducción del tamaño de fruto (Neilsen *et al.*, 2000). El K es absorbido a tasas más altas, el fruto principalmente es fuente de demanda que contiene cantidades significativas, su concentración varía de 0.55 a 0.8 kg mg⁻¹ de K (Zavalloni *et al.*, 2001). Su deficiencia en verano normalmente tiene <1% de K, fotosíntesis reducida de hojas y producen menos azúcares los frutos. La tasa de absorción más alta ocurre después de la división celular y dura al menos cinco semanas, las tasas de absorción permanecen altas hasta la cosecha; debido a su alta movilidad del floema, el K se mantiene relativamente estable desde el cuajado hasta la madurez (Zavalloni *et al.*, 2001).

El exceso de N afecta la nutrición con calcio (Ca), lo que incrementa la intensidad de los trastornos fisiológicos, principalmente la mancha amarga (Luchi *et al.*, 2001; Nava *et al.*, 2009), también puede disminuir la firmeza de la pulpa (Nava *et al.*, 2008) reduciendo la vida de postcosecha de los frutos. De acuerdo a los estudios realizados se dice que los portainjertos tienen mínima influencia sobre N y K y mayor efecto sobre Ca y Mg principalmente en el desarrollo de la mancha amarga.

La concentración total en la fruta está en el rango de 200-400 ppm, aunque difiere entre la cáscara y la pulpa, que se pueden alcanzar concentraciones >700 ppm. Scandellari *et al.* (2010), estimaron la absorción de Ca en árboles del cv. Gala, donde la absorción fue de 74 kg Ca ha⁻¹ distribuidos en las siguientes proporciones: 11% en el dosel del árbol, 4% en frutos, 60% en hojas y 25 % en madera podada.

Fallahi *et al.* (1984), observaron en manzano `Starkspur´ y `Golden Delicious´/M.26 que los árboles tenían mayor concentración de magnesio en las hojas que los portainjertos M.1 y M.106 examinados y diferencias en la absorción y la capacidad de translocación

de los nutrimentos en los cultivares, lo cual afectan el rendimiento y calidad (Giordano y Mortvedt, 1974).

2.4.2 Intervalos de suficiencia nutrimental en manzano

Los análisis de hojas a mediados de verano se utilizan comúnmente como método estándar en todo el mundo para evaluar el estado nutrimental de los árboles frutales (Ucgun y Gezgin, 2017). En los huertos de manzano, el análisis foliar se lleva a cabo generalmente entre 75 y 80 días después de la plena floración o a mediados del periodo de crecimiento anual, cuando los niveles de nutrimentos se estabilizan y cuando se han desarrollado estándares de nutrientes (Hoying *et al.*, 2004). De acuerdo a Jones *et al.*, (1991) los intervalos de suficiencia en nutrimentos de manzano son los siguientes: (Cuadro 2.1)

Cuadro 2.1. Intervalos de suficiencia nutrimental en manzano, (Jones *et al.*, 1991).

Elemento	Bajo	Suficiente	Alto
	%		
N	1.07-1.89	1.90-2.6	2.7-3.0
P	0.10-0.13	0.14-0.4	>0.4
K	1.00-1.49	1.50-2.0	>2.0
Ca	<1.2	1.20-1.6	>1.6
Mg	0.20-0.24	0.25-0.4	>0.5
	Ppm		
B	20-24	25-50	>50
Cu	4-5	6-50	>50
Fe	40-49	50-300	>300
Mn	20-24	25-200	201-300
Zn	15-19	20-100	>100

Mediante el análisis foliar se indica el estado nutrimental de las plantas, los datos pueden ser utilizados para mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes y/o para confirmar los síntomas visuales (Hoying, *et al.*, 2004).

2.4.3 Asimilación y utilización de carbohidratos y nitrógeno

Las reservas de carbohidratos, nitrógeno y minerales se consideran esenciales para mantener las funciones de los árboles y el crecimiento de las raíces durante el letargo, para apoyar el crecimiento al inicio del ciclo en primavera antes de que los árboles se vuelvan autosuficientes (Breen *et al.*, 2018). Desempeñan un papel importante en los frutales caducifolios para su supervivencia en invierno, brotes que experimentan crecimiento y desarrollo durante la temporada inactiva, suministrando energía para respiración y la brotación de primavera (Myers y Kitajima, 2007).

La disponibilidad de nutrimentos y fuentes de carbohidratos en el árbol difiere, ya que cada órgano sigue patrones estacionales, aunque depende de la competencia por carbohidratos, nitrógeno y agua con otras partes de la planta (Cheng y Fuchigami, 2002). A principios de la temporada de crecimiento, se cree que las reservas de carbohidratos almacenadas en las raíces apoyan la respiración, pero no el crecimiento de la biomasa del dosel (Lakso *et al.*, 1999).

El sorbitol es el hidrato de carbono principal de transporte primario, producto final de la fotosíntesis y es una importante reserva de hidratos de carbono solubles en manzano, que se convierte fácilmente en otros carbohidratos solubles, el sorbitol y almidón forman la principal reserva de carbohidratos en el manzano (Oliveira y Priestley, 1988). Por otro lado, el almidón es el principal carbohidrato de almacenamiento insoluble en la mayoría de los tejidos de plantas leñosas, aunque también se ha demostrado que otros carbohidratos como la hemicelulosa y los glucanos se movilizan dentro de la planta y se utilizan como fuentes de energía (Hoch, 2007). Las reservas se almacenan en el tronco y raíces, las de la raíz generalmente se acumulan a finales de verano y se traslocan mediante el transporte de floema de los brotes hacia la raíz, mientras que, en primavera, el almidón se hidroliza rápidamente y parte de los carbohidratos solubles disponibles se movilizan a través de xilema hacia la raíz o en los meristemas de crecimiento (Priestley, 1970). Después de la maduración del fruto en manzano, la deposición de almidón ocurre principalmente en las raíces (Faby y Naumann, 1986). Naschitz *et al.* (2010), encontraron que el almidón en los tallos aumentaba después de la cosecha; en cítricos también se

reporta resultados similares para nitrógeno total y carbono cuando se presenta alternancia (Martínez-Alcántara *et al.*, 2015).

La distribución de carbohidratos en las plantas depende en gran medida del estado fisiológico del árbol, la carga de demanda promueve la síntesis de azúcares solubles, en la manzana se encuentra principalmente sacarosa y sorbitol, son cargados fácilmente en el floema y se transportan en los órganos de demanda (Klages *et al.*, 2001). Sin embargo, las altas cargas de frutos del ciclo anterior pueden agravar el contenido de carbohidratos, disminuyendo directamente los carbohidratos disponibles para el almacenamiento y por lo tanto el sumidero (Reyes *et al.*, 2016), como se ha reportado en durazno, pistache y macadamia (Firth *et al.*, 2003).

Una baja demanda de carbono aumenta la acumulación de almidón primero en las hojas y luego en las raíces y otros tejidos leñosos. Hansen (1971), sugiere que en manzana más de la mitad a dos tercios de los asimilados son para las flores, aproximadamente 200 mg/espolón y para tallos hasta que se formen las primeras 5-6 hojas (500-1000 mg/brote); después dependiendo del tipo de órgano puede volverse autónomo produciendo la mayoría de los carbohidratos necesarios. Aunque Hansen y Grausland, (1973) mencionan que la mayor parte de las reservas del manzano se utilizan aparentemente en la respiración y no en los nuevos crecimientos de primavera.

Se ha demostrado que la competencia por la disponibilidad de carbohidratos al comienzo de la temporada afecta el crecimiento de los brotes de manzano y la supervivencia de los frutos (Lakso *et al.*, 2001). Así también afecta atributos de calidad de la fruta como el tamaño, color, concentración de azúcar y firmeza de la pulpa (Wünsche *et al.*, 2005). En manzano se ha observado mayores concentraciones de almidón cuando se tienen bajos rendimientos en comparación con los años con altos rendimientos, y se relaciona con la alternancia (Monselise y Goldschmidt, 1982).

Los portainjertos también afectan la concentración de almidón en el cultivar; sacarosa y sorbitol en la cosecha, y almidón y sorbitol en la caída de hojas (Stutte *et al.*, 1994).

Lockhard y Schneider (1981), han sostenido que los portainjertos pueden influir en la proporción de azúcares solubles con respecto al almidón, las proteínas que se encuentran en la savia del cultivar y también en la proporción de aminoácidos. Aunque hay otros factores que están involucrados en el almacenamiento como es la limitación para asimilar CO₂, transportar carbohidratos de brotes hacia las raíces o almacenarlos. Los portainjertos enanos actúan como almacenamiento, que mantienen el exceso de reservas de almidón a expensas del crecimiento tanto de las raíces como del cultivar (Foster *et al.*, 2017).

Los manzanos reciclan el N asimilado movilizándolo de la hoja a los tejidos de almacenamiento durante la senescencia de la hoja (Titus y Kang, 1982). Las proteínas de las hojas se hidrolizan y los aminoácidos resultantes se translocan de nuevo a la planta (Millard y Thomson, 1989). El proceso de removilización de N contribuye significativamente a la reserva de N en el árbol; aproximadamente el 30-50% del N total de un manzano está presente en el follaje a finales de verano y principios de otoño (Forshey, 1963) y hasta un 50-70% de N puede ser removilizado durante la senescencia (Faby y Naumann, 1986). Sin embargo, la partición de N de todo el árbol en el follaje se ve afectado por el suministro de N (Forshey, 1963).

2.5 MATERIALES Y MÉTODOS

2.5.1 Diseño experimental

Se definieron cuatro tratamientos en función del cultivar injertado en el portainjerto y el año en que se realizó el injerto de aproximación, de la siguiente manera: 1) `Brookfield Gala´/Bud.9, 2) `Brookfield Gala´/EMLA7, 3) `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA7-2016 y 4) `Brookfield Gala´/EMLA7-2017. Los cuatro tratamientos se distribuyeron en el campo de acuerdo a un diseño experimental de bloques al azar generalizado, con tres repeticiones. Los bloques se conformaron de acuerdo al vigor de los árboles midiendo el diámetro (cm) del tronco (vigor bajo, medio y alto). La unidad experimental fue un árbol, en total fueron 45 unidades de estudio. Como testigo se consideró el tratamiento 2, es decir `Brookfield Gala´/EMLA7, dado que presenta el mejor desempeño hortícola. El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \tau\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = valor de VR correspondiente a la repetición k del tratamiento i en el bloque j

$i = 1, 2, \dots, t$ tratamientos; $j = 1, 2, \dots, r$ bloques

$K = 1, 2, \dots, n$ número de repeticiones de cada tratamiento en cada bloque

μ = media general; τ_i = efecto de tratamiento i , β_j = efecto del bloque j ,

$\tau\beta_{ij}$ = efecto de la interacción del tratamiento i con el bloque j ,

ε_{ijk} = error experimental correspondiente a la repetición k del tratamiento i en el bloque j .

2.5.2 Estatus nutrimental

Se determinó mediante el análisis foliar para lo cual se realizaron dos muestreos en el año 2018, el primero a los 24 días después de plena floración (DDPF) y el segundo a los 106 DDPF, es decir, veinte días antes de la cosecha. Se obtuvo una muestra compuesta, de hojas maduras de la parte media de la copa del árbol en brotes de espolones de crecimiento del año, cortando 30 hojas con peciolo de la parte Este y 30 hojas del Oeste.

Las muestras colectadas en campo se colocaron en bolsas de plástico y se mantuvieron en refrigeración para evitar la deshidratación, posteriormente en el laboratorio de Nutrición de Frutales y Postcosecha del Colegio de Postgraduados. Las muestras se prepararon previo al análisis. Las hojas se lavaron con agua corriente, destilada y desionizada, después se secaron en una estufa de convección (Imperial V Mechanical and gravity convention ovens Dubuque Iowa, EUA) a 68°C durante 72 h. Después fueron molidas en un molino de acero inoxidable (General Electric Modelo AC 160, EUA). El nitrógeno se determinó por el método Micro-Kjeldahl (Bremner, 1965). La concentración de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B se determinó por espectrometría de emisión atómica de inducción por plasma acoplado (ICP-OES Varian 725ES, Australia).

En el ciclo 2019, el primer muestreo se realizó a los 24 días DDPF, justo cuando se presentaron síntomas visuales de la deficiencia nutrimental temporal en los árboles. El segundo muestreo se realizó 48 DDPF con diferente número de muestras colectadas debido a que no correspondía a la sintomatología presente anteriormente. Este muestreo también sirvió para medir el área foliar en 10 hojas tomadas al azar con dos repeticiones

de cada tratamiento. La medición se realizó con un integrador de área foliar (Li-cor 3100 Area meter, Nebraska, USA), para relacionar el área foliar con la concentración nutrimental.

El procedimiento para la colecta de muestras y los métodos para la determinación nutrimental fueron descritos en el apartado de materiales y métodos del Capítulo II.

2.5.3 Reservas de almidón y nitrógeno

El muestreo para la determinación de almidón y nitrógeno se realizó en la etapa fenológica de letargo. La copa de los árboles se seccionó en dos orientaciones Este y Oeste para diferenciar el injerto de aproximación. Se cortaron ramas de la parte baja, media y alta del árbol, las muestras se depositaron en bolsas de plástico y se mantuvieron en refrigeración al laboratorio de Nutrición de Frutales y Postcosecha del Colegio de Postgraduados. Para el análisis, las muestras se prepararon mediante el lavado con agua corriente y destilada, posteriormente se cortó la base de yema y se secaron en una estufa de convección (Imperial V Mechanical and gravity convention ovens Dubuque Iowa, EUA) a 65°C durante 72 h; posteriormente se molieron en morteros.

La concentración de nitrógeno se determinó por el método de Micro-Kjeldahl (Bremmer, 1965). La concentración de almidón por el método descrito por Herrera-Saldaña y Huber (1989). Para la obtención de la curva de calibración se preparó una solución estándar de glucosa ($100 \mu\text{g ml}^{-1}$) 0, 10, 30, 60, 90 y 120 μl haciéndola reaccionar con 2 ml de glucosa oxidasa. Las lecturas se realizaron a una absorbancia de 55 nanómetros (nm) en un espectrofotómetro modelo SP8-Ultravioleta, después se calcularon las concentraciones de glucosa en mg ml^{-1} y finalmente se realizó el cálculo de almidón con la siguiente fórmula:

$$\text{mg de almidón g}^{-1} \text{ de MS} = \frac{\text{mg ml}^{-1} \times 25 \text{ ml} \times 10 \times 0.9}{0.2 \text{ ml} \times 0.1 \text{ g}}$$

Donde:

MS=Materia seca

P mg ml⁻¹= Concentración de glucosa de la muestra

0.2 ml = Alícuota para la reacción con glucosa oxidasa

25 ml = Dilución de la solución amortiguadora

10 = Factor de dilución (10 ml)

0.9 =Constante

0.1 g = Peso seco de muestra vegetal.

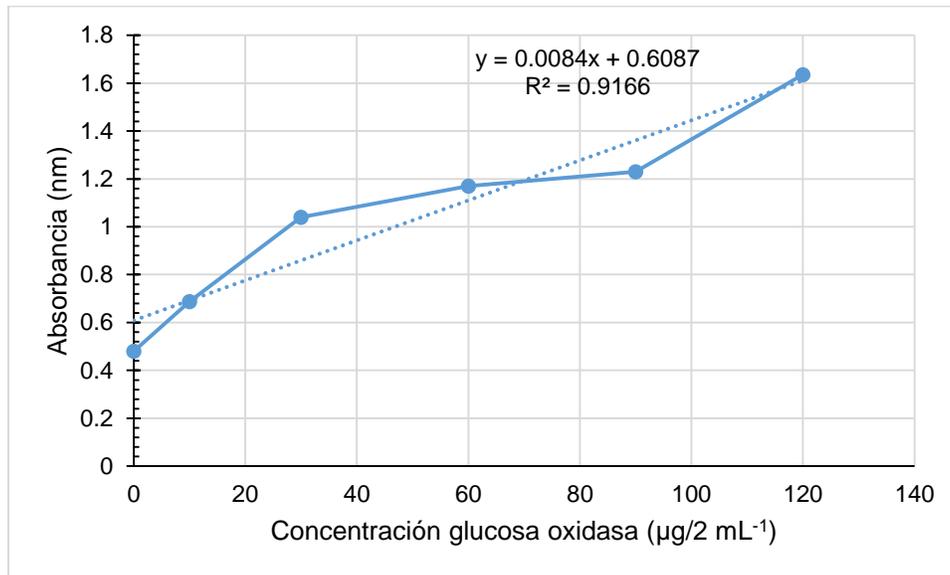


Figura 2.1. Curva de calibración para la determinación de almidón en la porción basal de yemas del manzano `Brookfield Gala´.

2.5.4 Análisis estadístico

Los datos del estatus nutrimental, el contenido de almidón y nitrógeno fueron sujetos a un análisis de varianza (Anova), mediante el programa de análisis estadístico SAS versión 9.4 y la comparación de medias con la prueba de Tukey con $p \leq 0.05$.

2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.6.1 Estatus nutrimental

En el año 2018, a los 24 días después de la plena floración (DDPF) la concentración de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Mn y B no fue afectada significativamente por los tratamientos (Cuadro 2.2), pero sí la de Fe y Cu. Los resultados de las concentraciones de los nutrimentos se compararon con los valores del cultivar Gala/EMLA7 reportado por

Nachtigall y Dechen (2006) y el `Gala`/M.26 por Cheng y Raba (2009), los cuales coinciden con las mismas fechas de muestreo. En la concentración de Fe, el tratamiento `Brookfield Gala`/EMLA7 (222.25 mg kg⁻¹) fue superior con respecto al resto de los tratamientos cuya concentración varió de 156.33 a 170.65 mg kg⁻¹). Esto indica que el portainjerto EMLA7 es más eficiente en la absorción de hierro, y se debe a la mayor cantidad de raíces que tiene como se describió en el Capítulo I, lo cual permite una mayor exploración del suelo. Estos valores son superiores a los encontrados por Nachtigall y Dechen, (2006) y Cheng y Raba, (2009). La concentración de Cu, en el tratamiento testigo `Brookfield Gala`/EMLA7 (12.30 mg kg⁻¹) fue superior con respecto a los tratamientos con injerto por aproximación (8.43 y 8.50 mg kg⁻¹). `Brookfield Gala`/Bud.9 (9.50 mg kg⁻¹) resultó con un valor intermedio (Figura 2.2). Estos valores son superiores a los reportados por Nachtigall y Dechen (2006), lo que podría deberse a las aplicaciones foliares de micronutrientes.

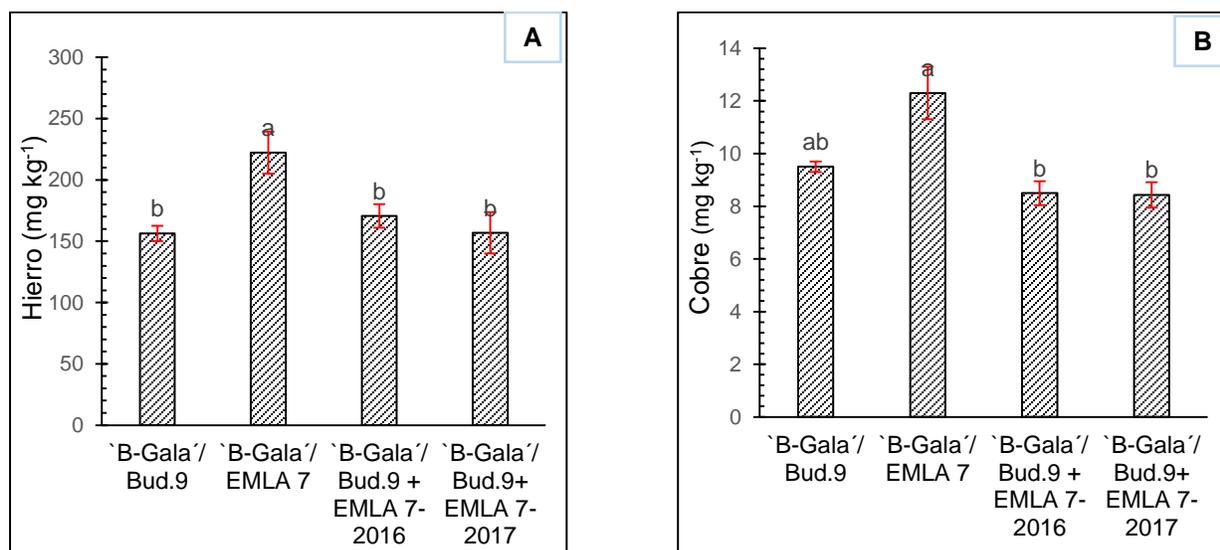


Figura 2.2. Efecto del injerto por aproximación de EMLA7 en la concentración de A) hierro y B) cobre en hojas del manzano cv. Brookfield Gala a los 24 DDPF.

A los 106 días después de plena floración del mismo año, la concentración de N, P, K, Ca, Fe, Cu y Zn no fue afectada significativamente por los tratamientos (Cuadro 2.3), pero si la de Mg, Mn y B. La concentración de magnesio en el tratamiento `Brookfield Gala`/EMLA7 (4.70 mg g⁻¹) fue superior con respecto a `Brookfield Gala`/Bud.9 (3.83 mg

g⁻¹) y `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA7-2017 (3.86 mg g⁻¹). En `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA7-2016 (4.03 mg g⁻¹) la concentración fue intermedia (Figura 2.3), lo cual refleja el efecto del año de realización del injerto de aproximación. Estos resultados son similares a los reportados en el cv. Gala/EMLA7 (Nachtigall y Dechen, 2006), sin embargo, en `Brookfield Gala´/Bud.9 y `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA7-2017 los valores son menores, lo que puede sugerir que el portainjerto Bud.9 tiene baja eficiencia en la absorción de Mg.

La concentración de manganeso, en el tratamiento `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA7-2016 (153.50 mg kg⁻¹) fue superior con respecto a los tratamientos cuya concentración varió de 98.35 a 105.40 mg kg⁻¹ (Figura 2.3). Estos resultados indican que mediante el injerto por aproximación se puede incrementar la concentración de Mn en el dosel del árbol. Las concentraciones de estos tratamientos son superiores a los reportados por Cheng y Raba (2009), en el cv. Gala/M.26; no obstante, en el cv. Gala/EMLA7, estos valores son inferiores con excepción del tratamiento con injerto de aproximación de 2016 que se encuentra dentro del intervalo reportado.

En el caso del boro, `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA7-2017 (66.03 mg kg⁻¹) fue superior con respecto al testigo `Brookfield Gala´/EMLA 7 (58.05 mg kg⁻¹), lo cual indica que no influyó el año en que se realizó el injerto por aproximación. Sin embargo, los tratamientos `Brookfield Gala´/Bud.9 (63.80 mg kg⁻¹) y `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA 7-2016 (62.73 mg kg⁻¹) tuvieron una concentración intermedia (Figura 2.3), por lo que puede inferirse que el portainjerto Bud.9 es eficiente en la absorción de boro. Estas concentraciones de B son superiores a lo reportado en el `Gala´/EMLA7 (Nachtigall y Dechen, 2006) 16 y `Gala´/M.26 (Cheng y Raba, 2009).

Los resultados del análisis foliar indican niveles normales para N, P, Mg, Fe, Cu y Mn; minerales bajos para K y Zn y niveles altos para Ca y B (Jones *et al.*, 1991).

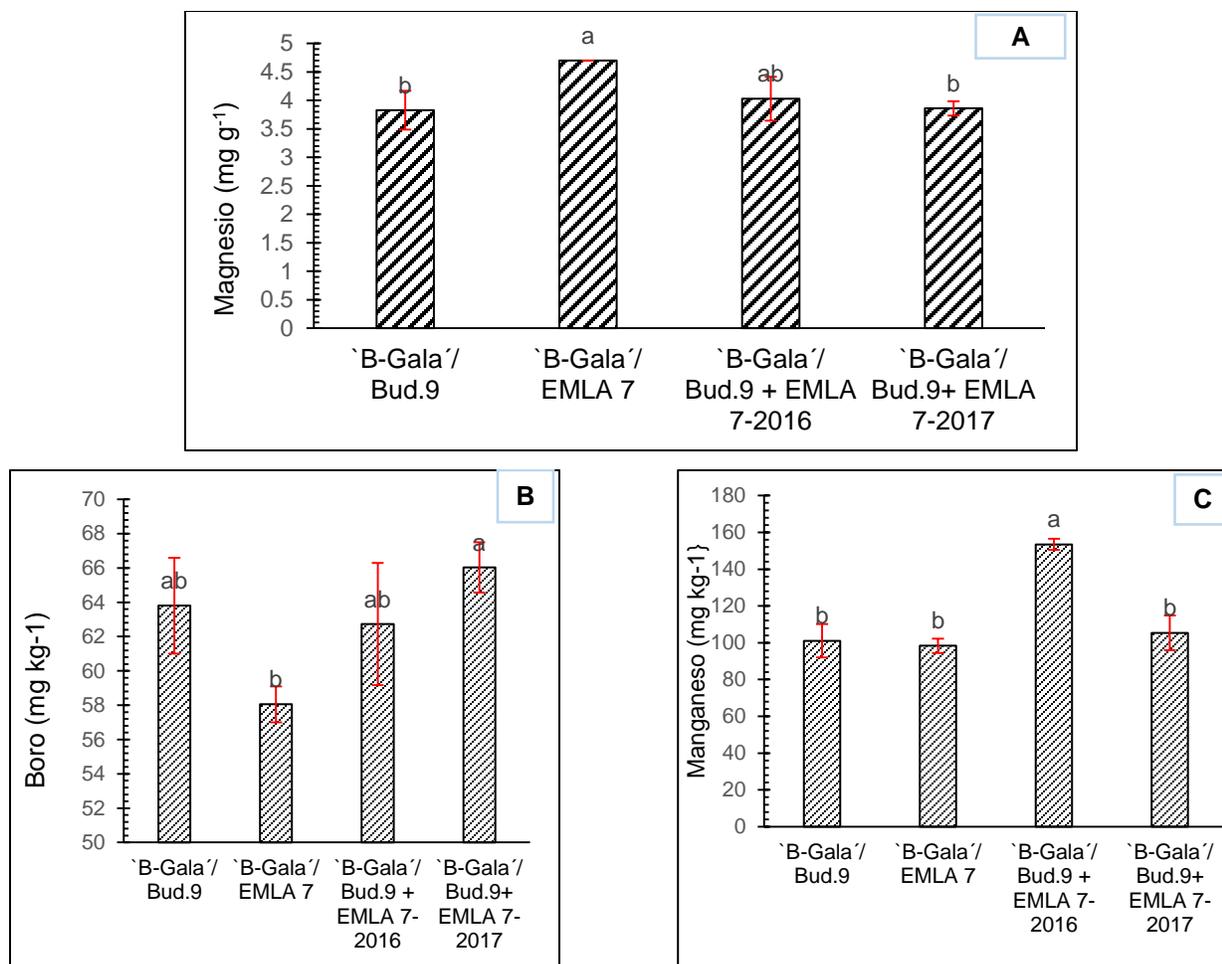


Figura 2.3. Efecto del injerto por aproximación de EMLA7 en la concentración de A) magnesio, B) boro y C) manganeso de hojas maduras del manzano cv. Brookfield Gala, a los 106 DDPF.

La deficiencia de potasio coincidió con la sintomatología observado en campo a los 24 DDPF, de una coloración rojiza a púrpura o bronceado, con mayor pronunciamiento en el envés de los brotes maduros y nuevos, con desarrollo posterior de márgenes necróticos, que coincide con lo reportado por Burrell y Boynton (1943), y Basile *et al.*, (2003). Los niveles bajos de potasio repercuten en el desarrollo y crecimiento, dado que la concentración inicial en hojas jóvenes es más alta que en hojas viejas (Huber, 1985), así también disminuye a medida que avanza su fenología y la extracción por el fruto (Faust, 1989; Brown, 1994). La deficiencia de potasio afecta la translocación de carbohidratos y regulación en las relaciones planta-agua (Grace *et al.*, 2012). Mpelasoka *et al.* (2003), mencionan que las variaciones en el contenido de K foliar puede deberse a

la capacidad de absorción de las raíces y/o variaciones en la incorporación de iones de K en el xilema y su translocación de la raíz hacia los brotes. Así también, esta deficiencia podría ser debido al antagonismo con boro, como se reporta en olivo (*Olea europea*) (Chatzissavvidis *et al.*, 2007).

La deficiencia de zinc, se debe al bajo contenido en el suelo. Swietlik (2002), menciona que la deficiencia de zinc ocurre en gran medida porque en el suelo no se encuentra disponible o está inmóvil. La alta concentración de calcio puede explicar la deficiencia de potasio, dado que el calcio bloquea al potasio causando el antagonismo Ca/K. Estos resultados no se relacionan con el contenido de Ca en el suelo, debido a que los análisis mostraron contenidos de medio a moderadamente bajos, y en los estratos del perfil la presencia de CaCO₃ fue mediana a baja. Sin embargo, Fallahi *et al.* (2001), también encontraron altas concentraciones de Ca con el portainjerto Bud.9 que en EMLA7. La importancia del Ca. La importancia de Ca es por la función que tiene en el alargamiento y división celular (Bush, 1995).

La alta concentración de boro, puede deberse a las dos aplicaciones que se realizan durante la apertura de yemas vegetativas y florales, aunado a las aplicaciones foliares de micronutrientes. Así también, la concentración en las plantas está influenciada por los portainjertos utilizados (Wojcik, 2003). El boro juega un papel importante en la transpiración, ya que es transportado a través del xilema a los órganos superiores (Paparnakis *et al.*, 2013). Wojcik *et al.* (2003), encontraron altas concentraciones de B con portainjertos M.9 y M.26, similares a lo encontrado en los portainjertos de este estudio. Así también la alta concentración puede deberse al pH del suelo que es moderadamente ácido (Paparnakis *et al.*, 2013). La deficiencia o exceso de B suele reducir la carga de cosecha como se observó en la reducción del porcentaje de flores en olivo (Chatzissavvidis *et al.*, 2005), además de la sincronización con la polinización.

Los síntomas de exceso de boro se reflejan en el bajo vigor de los árboles, desarrollo retardado y reducción en el número y peso de los frutos (Herrera-Rodríguez *et al.*, 2010; Reid y Fitzpatrick (2009), así como la disminución de la clorofila de la hoja, alteración del

metabolismo y la necrosis de los tejidos maduros (Reid *et al.*, 2004; Paparnakis *et al.*, 2013).

La concentración de N, P y K a los 24 DDPF disminuyó a los 106 DDPF, mientras que la de Ca, Mg y Mn aumentó. Este resultado coincide con lo reportado en el cv. Gala/EMLA7 en fechas similares de muestreo (Nachtigall y Dechen, 2006), sin embargo, la concentración de los elementos Fe, Cu, Zn y B disminuyó. Mengel y Kirby (2001); Nachtigall y Dechen (2006), mencionan que las hojas jóvenes suelen presentar mayores concentraciones de N, P y K, y las hojas maduras tienen mayores concentraciones de Ca, Mn, Fe y B, principalmente. La disminución en la concentración de nutrimentos a lo largo del ciclo vegetativo, pueden estar relacionadas con un efecto de dilución que se produce en las hojas y la redistribución hacia otros órganos del árbol.

En el año 2019, a los 24 días después de plena floración, la concentración de N, K, Ca, Fe, Zn y Mn no fue afectada significativamente por los tratamientos (Cuadro 2.4), pero sí los de los elementos P, Mg, Cu y B. La concentración de P fue superior en los tratamientos `Brookfield Gala´/Bud.9 (2.38 mg g⁻¹) y `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA7-2017 (2.33 mg g⁻¹) con respecto a `Brookfield Gala´/EMLA 7 (2.07 mg g⁻¹) (Figura 2.4-A), lo cual indica el efecto que tiene el portainjerto Bud.9 en la concentración de P, aunque también se observa el efecto del injerto por aproximación sin importar el año de su establecimiento. La concentración de P en este estudio es superior a lo reportado en el cv. Gala/EMLA7 (Nachtigall y Dechen, 2006), e inferiores con respecto al cv. Gala/M.26 (Cheng y Raba, 2009).

La concentración de magnesio, fue superior en `Brookfield Gala´/EMLA 7 (1.87 mg g⁻¹) con respecto al resto de los tratamientos, que varió de 1.56 a 1.63 mg g⁻¹ (Figura 2.4-B). Por lo tanto, el portainjerto EMLA 7 influyó en la concentración de magnesio. Sin embargo, estos valores son inferiores a lo reportado en el cultivar Gala/EMLA 7 (Nachtigall y Dechen, 2006) y en el cv. Gala/M.26 (Cheng y Raba, 2009). En el cv. BC-2 Fuji/EMLA7, también se reportan altas concentraciones de bajo en el portainjerto Budd.9, lo cual puede deberse a la baja fotosíntesis neta (Fallhi *et al.*, 2001).

La concentración Cu, en el tratamiento `Brookfield Gala`/Bud.9+EMLA 7-2017 (11.86 mg kg⁻¹) fue superior al resto de los tratamientos (5.13 a 6.80 mg kg⁻¹) (Figura 2.4-C). Estos valores son inferiores a lo reportado en cv. Gala/EMLA 7 (Nachtigall y Dechen, 2006). En el caso del B, los tratamientos `Brookfield Gala`/Bud.9 (39.33 mg kg⁻¹) y `Brookfield Gala`/Bud.9+EMLA 7-2016 (35.38 mg kg⁻¹) fueron superiores a `Brookfield Gala`/EMLA 7 (26.20 mg kg⁻¹) (Figura 2.4-D), lo que podría explicar que el portainjerto Bud.9 absorbe y/o concentra mayor cantidad de boro, así como con el portainjerto por aproximación. En el cv. Gala/M.26, se ha reportado concentraciones menores (Nachtigall y Dechen, 2006).

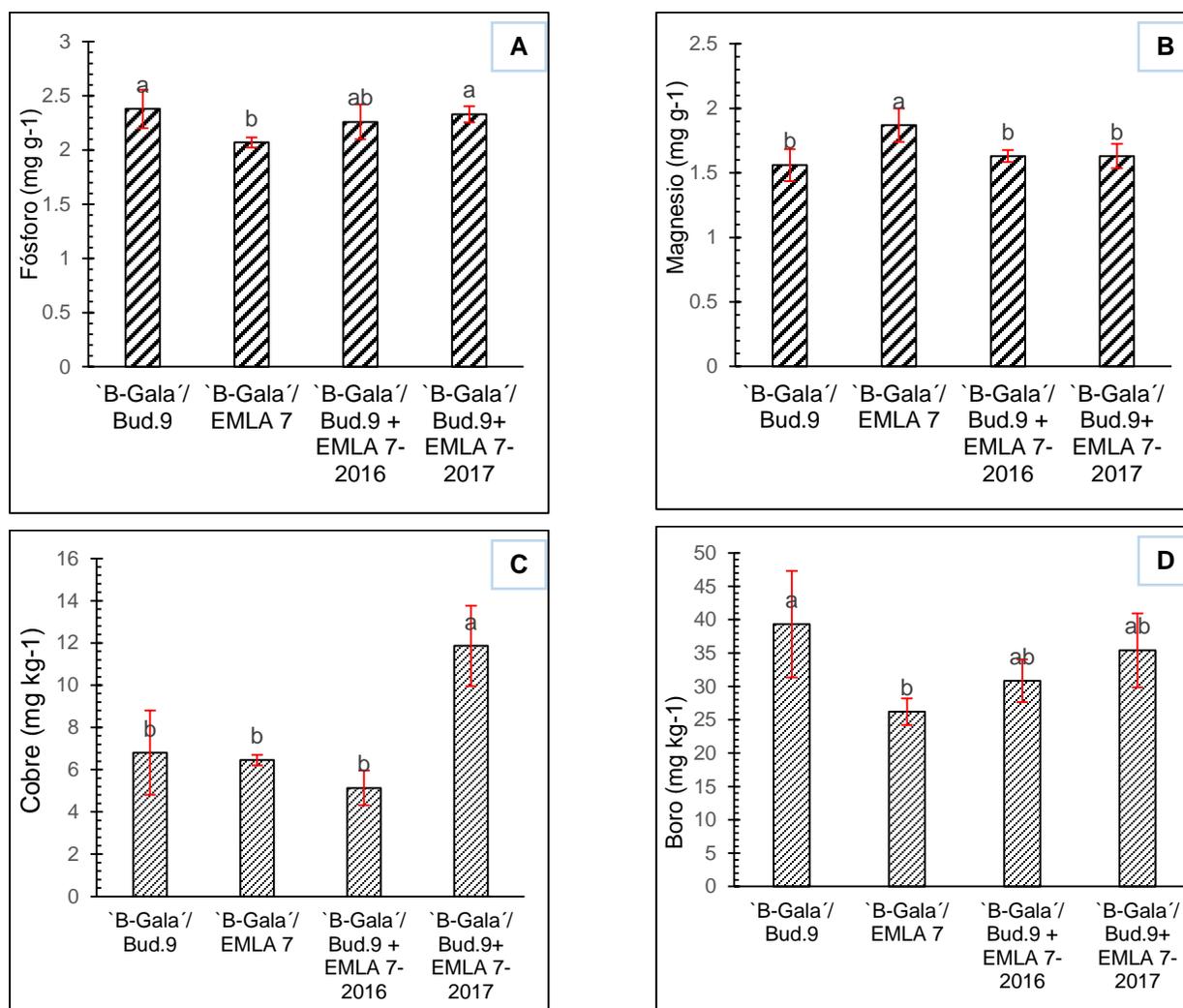


Figura 2.4. Efecto del injerto de aproximación del portainjerto EMLA 7 en A) fósforo y B) magnesio, C) cobre y D) boro en hojas jóvenes de manzano cv. Brookfield Gala a los 24 DDPF.

Cuadro 2.2. Efecto del injerto de aproximación en la concentración mineral de macro y micronutrientes en hojas jóvenes de árboles del manzano 'Brookfield Gala', 24 DDPF en el año 2018.

Tratamientos	mg g ⁻¹					mg kg ⁻¹		
	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Mn	B
'Brookfield Gala'/Bud.9	27.30a	3.95a	12.10a	7.33a	2.90a	20.03a	58.73a	76.20a
'Brookfield Gala'/EMLA7	27.75a	3.70a	13.15a	6.95a	3.00a	16.95a	56.85a	72.20a
'Brookfield Gala'/Bud.9+EMLA7-2016	25.73a	3.63a	12.25a	6.96a	2.73a	19.06a	68.16a	73.63a
'Brookfield Gala'/Bud.9+EMLA7-2017	25.15a	3.86a	11.13a	7.13a	2.76a	18.56a	64.90a	73.86a
DHS	5.52	0.54	4.06	2.59	0.52	4.26	19.81	11.81

∧ Diferentes letras dentro de las columnas indican diferencias significativas (p≤0.05).

Cuadro 2.3. Efecto del injerto de aproximación en la concentración mineral de macro y micronutrientes en hojas maduras de árboles de manzano 'Brookfield Gala' a los 106 DDPF en el año 2018.

Tratamientos	mg g ⁻¹				mg kg ⁻¹		
	N	P	K	Ca	Fe	Cu	Zn
'Brookfield Gala'/Bud.9	22.83a	2.43a	10.63a	17.63a	152.25a	8.00a	17.80a
'Brookfield Gala'/EMLA7	24.60a	2.20a	10.80a	17.15a	163.95a	9.90a	16.15a
'Brookfield Gala'/Bud.9+EMLA7-2016	24.96a	2.20a	9.63a	17.60a	175.80a	7.40a	15.43a
'Brookfield Gala'/Bud.9+EMLA7-2017	24.46a	2.40a	10.53a	17.73a	162.20a	7.40a	18.16a
DHS	5.16	0.6	2.02	2.67	64.49	2.94	10.04

∧ Diferentes letras dentro de las columnas indican diferencias significativas (p≤0.05).

Cuadro 2.4. Efecto de injerto por aproximación en la composición mineral de macro y micronutrientes en hojas jóvenes de árboles de manzano `Brookfield Gala`, 24 DDPF en el año 2019.

Tratamientos	mg g ⁻¹			mg kg ⁻¹		
	N	K	Ca	Fe	Zn	Mn
`Brookfield Gala`/Bud.9	22.15a	10.61a	3.70a	64.90a	7.85a	30.71a
`Brookfield Gala`/EMLA7	20.35a	11.00a	3.47a	67.75a	8.95a	34.32a
`Brookfield Gala`/Bud.9+EMLA7-2016	23.11a	9.00a	3.36a	72.20a	7.98a	34.20a
`Brookfield Gala`/Bud.9+EMLA7-2017	22.26a	10.76a	3.46a	68.38a	8.33a	33.05a
DHS	3.62	2.46	0.53	11.63	2.57	5.81

yDiferentes letras dentro de las columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

En el año 2019, a los 48 DDPF, la concentración de Ca, Mg, Fe y Zn no fue afectado significativamente por los tratamientos, pero sí para N, P, K, Cu, Mn y B. En nitrógeno, el tratamiento `Brookfield Gala`/Bud.9+EMLA 7-2016 (24.60 mg g⁻¹) fue superior con respecto a `Brookfield Gala`/Bud.9 (21.55 mg g⁻¹), el resto en concentración intermedio (22.85 y 23.80 mg g⁻¹) (Figura 2.5).

La concentración de P varió de 1.95-2.57 mg g⁻¹, el tratamiento `Brookfield Gala`/Bud.9 +EMLA7-2017 (2.57 mg g⁻¹) fue superior con respecto a `Brookfield Gala`/EMLA 7 (1.95 mg g⁻¹), y en concentración intermedia 2.25 y 2.27 2.25 mg g⁻¹. En K, la concentración de 9.10 y 10.10 mg g⁻¹ con injerto por aproximación fueron superiores al testigo `Brookfield Gala`/EMLA7 (5.65 mg g⁻¹) (Figura 2.5).

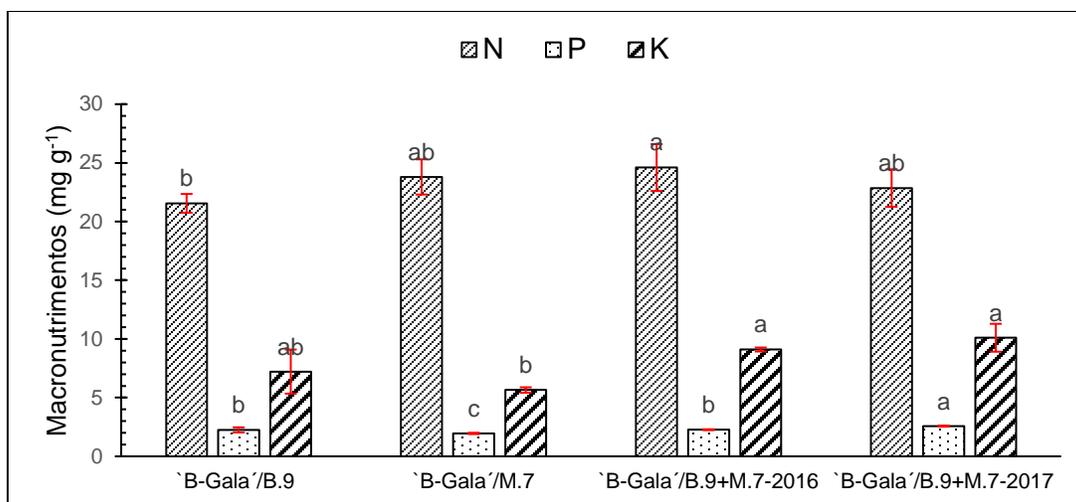


Figura 2.5. Efecto del injerto por aproximación en la concentración de mineral de N, P y K en hojas jóvenes del manzano cv. Brookfield Gala, a los 48 DDPF.

La concentración Cu, los tratamientos 'Brookfield Gala'/Bud.9 (17.13 mg kg⁻¹) y 'Brookfield Gala'/Bud.9+EMLA7-2017 (14.32 mg kg⁻¹) fueron superiores con respecto al tratamiento 'Brookfield Gala'/EMLA 7 (7.33 mg kg⁻¹). La concentración mineral Mn, los tratamientos 'Brookfield Gala'/Bud.9+EMLA7-2016 (57.52 mg kg⁻¹) y 'Brookfield Gala'/EMLA 7 (57.13 mg kg⁻¹) fueron superiores con respecto a 'Brookfield Gala'/Bud.9 (50.90 mg kg⁻¹). En el caso del B, el tratamiento 'Brookfield Gala'/Bud.9+EMLA7-2016 (28.40 mg kg⁻¹) fue superior a 'Brookfield Gala'/Bud.9 (22.67 mg kg⁻¹), y el resto en concentración intermedia (Figura 2.6).

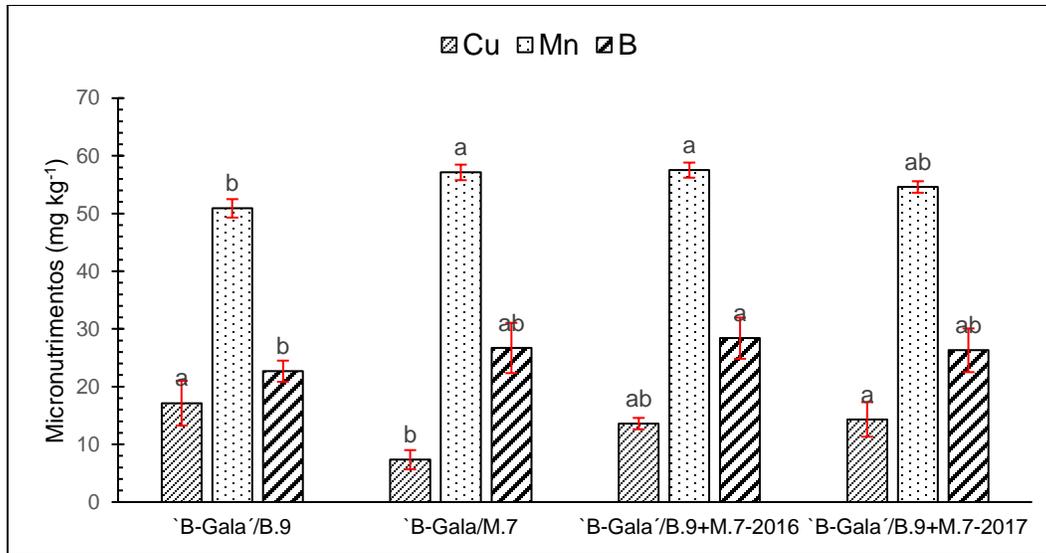


Figura 2.6. Efecto del injerto por aproximación en la concentración mineral de Cu, Mn y B en hojas jóvenes del manzano cv. Brookfield Gala, a los 48 DDPF.

Las concentraciones de los 24 DDPF a los 48 DDPF varían, aunque solo se observa la tendencia a la acumulación de Ca, Mg y Mn. La mayor área foliar se encontró en el tratamiento 'Brookfield Gala'/Bud.9+EMLA 7 (102.57 cm²) con injerto de aproximación de 2016 con respecto a 'Brookfield Gala'/Bud.9 (91.42 cm²). El testigo 'Brookfield Gala'/EMLA 7 y 'Brookfield Gala'/Bud.9 + EMLA7-2017 resultaron con área foliar intermedio 98.37 y 99.94 cm², respectivamente.

La concentración de nutrientes refleja los factores influenciados como la disponibilidad y suministro de nutrientes, así como la variación del clima y la carga del cultivar (Faust, 1989). La deficiencia de nutrientes limita el crecimiento y desarrollo en la fructificación y con ello la reducción de la calidad, mientras que concentraciones altas producen síntomas de toxicidad (Hoying *et al.*, 2004). Así también, los efectos de la concentración nutricional sobre los portainjertos pueden explicarse por las diferencias en la distribución y función de las raíces y las posibles diferencias en la anatomía de raíces y tallo que afectan la tasa de absorción y el movimiento hacia la xilema y las hojas (Zarrouk *et al.*, 2005).

2.6.2 Reservas de almidón y nitrógeno

Cuadro 2.5. Efecto del injerto de aproximación en el contenido de almidón en la base de las yemas del manzano cv. Brookfield Gala: A) área de la copa con injerto de aproximación y B) área de la copa sin injerto de aproximación.

Tratamiento	Copa sección A	Copa sección B mg g ⁻¹	Acumulativo
`Brookfield Gala´/Bud.9	-	43.76b	52.01ab
`Brookfield Gala´/EMLA 7	-	40.72b	45.95b
`Brookfield Gala´ /Bud.9+EMLA 7-2016	65.46a	70.26a	65.93a
`Brookfield Gala´ /Bud.9+EMLA 7-2017	60.22a	63.70a	59.76ab
DHS	17.4	15.4	19.83

^y Diferentes letras dentro de las columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

El contenido de almidón en la copa del área con injerto de aproximación (sección A) no fue afectado significativamente por los tratamientos; en el área de la copa sin injerto de aproximación (sección B) fue afectado significativamente. En el contenido acumulativo (ambos lados de la copa) también fue significativo (Cuadro 2.5).

En el área de la copa sin injerto de aproximación (sección B) el contenido de almidón varió de 40.72 a 70.26 mg g⁻¹, los tratamientos `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA 7-2016 (70.26 mg g⁻¹) y `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA 7-2017 (63.70 mg g⁻¹) fueron superiores con respecto a los tratamientos `Brookfield Gala´/EMLA 7 (40.72 mg g⁻¹) y `Brookfield Gala´/Bud.9 (43.76 mg g⁻¹).

El contenido acumulativo de almidón (copa sección A y B), el tratamiento `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA 7-2016 (65.93 mg g⁻¹) fue superior con respecto al tratamiento `Brookfield Gala´/EMLA 7 (45.95 mg g⁻¹), y con concentración intermedio `Brookfield Gala´/Bud.9 (52.01 mg g⁻¹) y `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA 7-2017 (59.76 mg g⁻¹).

Aunque la determinación de almidón solo se obtuvo en la base de las yemas, Oliveira y Priestley (1988), afirman que todas las partes del manzano (tallos, brotes y raíces) tienen patrones similares de almidón en las variaciones estacionales y cambia dependiendo de la magnitud de la naturaleza del tejido, posición en los sitios de fotosíntesis y su crecimiento. En pera `Packman´ se ha encontrado mayor concentración en las ramas y base de las yemas (Verissimo, 2008), los cuales constituyen importantes zonas de reserva para la reanudación del crecimiento en primavera (Rodríguez *et al.*,2006).

A pesar de que en el tratamiento `Brookfield Gala´/Bud.9 no presento altas concentraciones, sin embargo, fue superior con aproximación de EMLA7, los portainjertos enanos influyen en la concentración de almidón debido a la reducción de la longitud del entrenudo y de la extensión de las ramas a cambios en la partición de los asimilados en la copa, lo que justifica la mayor formación de flores por unidad de tamaño de los árboles enanos (Webster, 2004).

La concentración mineral de nitrógeno en el área de la copa con injerto de aproximación (sección A), no fue afectado significativamente por los tratamientos, no siendo así para el área de la copa sin el injerto de aproximación (sección B) y el acumulativo (ambas secciones) con $p \leq 0.05$. (Cuadro 2.6).

Cuadro 2.6. Efecto del injerto de aproximación en la concentración de nitrógeno en la base de las yemas del manzano cv. Brookfield Gala: A) área de la copa con injerto de aproximación y B) área de la copa sin injerto de aproximación.

Tratamiento	Copa sección A.	Copa sección B. mg g ⁻¹	Acumulativo
`Brookfield Gala´/Bud.9	-	18.0a	17.5ab
`Brookfield Gala´/EMLA 7	-	16.6b	16.3b
`Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA 7-2016	18.7a	18.8a	18.5a
`Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA 7-2017	17.7a	18.2a	17.6ab
DHS	2.02	2.48	3.41

^y Diferentes letras dentro de las columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

En el área de la copa sin injerto de aproximación (sección B), los tratamientos `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA 7-2016 (18.8 mg g⁻¹), `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA 7-2017 (18.2 mg g⁻¹) y `Brookfield Gala´/Bud.9 (18 mg g⁻¹) fueron superiores con respecto al tratamiento `Brookfield Gala´/EMLA 7 (16.6 mg g⁻¹) (Figura 8).

Las secciones A y B (acumulativo) de la copa, el tratamiento `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA 7-2016 (18.5 mg g⁻¹) fue superior a `Brookfield Gala´/EMLA 7 (16.3 mg g⁻¹). Los tratamientos `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA 7-2017 (17.6 mg g⁻¹) y `Brookfield Gala´/Bud.9 (17.5 mg g⁻¹) resultaron con concentración intermedio.

El nitrógeno como reserva contribuye alrededor del 50% de N total en el momento de la cosecha como se reporta en `Gala´/M.26 (Cheng and Raba, 2009). Así también Cheng y Fuchigami (2002), mencionan que el crecimiento inicial del cv. Fuji/M.26 en primavera está determinado por las reservas de N y no por los carbohidratos.

2.7 CONCLUSIONES

La concentración nutrimental en árboles del cv. Brookfield Gala con injerto de aproximación de 2016 y 2017 solo tuvo efecto en los minerales de Cu y B. Así también el contenido de reservas se concentró mayormente en los árboles con injerto de aproximación de 2016 y 2017.

El análisis foliar mostró que hay deficiencias de potasio y zinc en los árboles independientemente del portainjerto., La deficiencia de potasio correlacionó estrechamente con los síntomas visuales observados en las hojas del cultivar, mientras que en zinc los síntomas fueron parciales. Así mismo se encontró altas concentraciones de Ca y B en todos los árboles.

El portainjerto Bud.9 influyó en una mayor concentración en B en las hojas del cv. Brookfield Gala, mientras que el portainjerto EMLA7 tuvo efecto en una mayor concentración de Mg.

2.8 LITERATURA CITADA

- Aguirre, P. B., Al-Hinai, Y. K., Roper, T. R., and A. R. Krueger. 2001. Apple tree rootstock and fertilizer application timing affect nitrogen uptake. *Hort. Sci.* 36:1202-1205.
- Amiri, M. E., E. Fallahi, and A. Golchin. 2008. Influence of foliar and ground fertilization on yield, fruit quality, and soil, leaf, and fruit mineral nutrients in apple. *Plant Nutrition.* 31: 365-370.
- Amiri, M., E. Fallahi, and M. Safi-Songhorabad. 2014. Influence of rootstock on mineral uptake and scion growth of 'Golden delicious' and 'Royal Gala' apples. *Plant Nutrition,* 37:16-29.
- Basile, B., E.J. Reidel., S.A. Weinbaum, and T.M. DeJong. 2003. Leaf potassium concentration, CO₂ exchange and light interception in almond trees (*Prunus dulcis* (Mill) D.A. Webb. *Sci. Hortic.* 2:185-194
- Black, C.A. and D.D. Evans. 1965. Method of soil analysis. American Society of Agronomy Pub.
- Bould, C. 1966. Leaf analysis of deciduous fruits, p. 651-684. In: N.F. Childers (ed.). Temperate to tropical fruit nutrition. Horticultural Publications, Rutgers University, New Brunswick, NJ.
- Bové, J.M. and A.J. Ayres. 2007. Etiology of three recent diseases of citrus in Sao Paulo State: sudden death, variegated chlorosis and huanglongbing. *IUBMB Life* 59:346-354.
- Breen, K.C., D.S. Tustin., J.W. Palmer., H.L. Boldingh, and D.C. Close. 2018. Apple fruit set is influenced by altered floral bud density but not by reduced carbohydrate reserves. *Act. Hortic.* 1228:315-322.
- Bremner, J.M. 1965. Methods for Soil Analysis. Part 2. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 1148-1179 pp.
- Brown, P.H. 1994. Seasonal variations in fig (*Ficus carica* L.) leaf nutrient concentrations. *Hortic. Sci.* 8:871-873.
- Burrell, A.B. and Boynton D. 1943. Response of apple trees to potash in the Champlain Valley III. *Hortic. Sci.* 42:61-64.
- Bush, D.S. 1995. Calcium regulation in plant cells and its role in signalling. *Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 46:95-122.
- Chatzissavvidis, C.A., I.N. Therios, and A.N. Molassiotis. 2005. Seasonal Variation of Nutritional Status of Olive Plants as Affected by Boron Concentration in Nutrient Solution. *Plant Nutrition.* 2:309-321.
- Cheng, L. and R. Raba. 2009. Accumulation of Macro-and Micronutrients and Nitrogen Demand-supply Relationship of 'Gala'/Malling 26' Apple Trees Grown in Sand Culture. *Hort. Sci.* 1:3-13.
- Cheng, L. and L. H. Fuchigami. 2002. Growth of young apple trees in relation to reserve nitrogen and carbohydrates. *Tree Physiol.* 22:1297-1303.

- Ernani, P.R., J. Dias, and J.A. Flore. 2002. Annual additions of potassium to the soil increased apple yield in Brazil. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 33:1291-1304.
- Faby, R. and W.D. Naumann. 1986. Effects of defoliation of apple-trees after harvest. 2. Mineral and carbohydrate contents in shoots, crop yield. *Gartenbauwissenschaft*. 51:136-142.
- Fallahi, E. and S.K. Mohan. 2000. Influence of nitrogen and rootstock on tree growth, precocity, leaf mineral nutrients, and blight in 'Scarlet Gala' apple. *Hort Technology*. 3:589-892.
- Fallahi, E., Ik-Jo- Chun., G.H. Neilsen, and W.M. Colt. 2001. Effects of three rootstocks on photosynthesis, leaf mineral nutrition, and vegetative growth of 'BC-2 Fuji' apple trees. *Journal of Plant Nutrition*. 6:827-834.
- Fallahi, E., W.M. Colt., B. Fallahi, and I. Chun. 2002. The importance of apple rootstocks on tree growth, yield, fruit quality, leaf nutrition and photosynthesis with an emphasis on 'Fuji'. *Hort. Tech*. 12:38-44.
- Fallahi, E., K. Arzani, and B. Fallahi. 2013. Long-term leaf mineral nutrition in 'Pacific Gala' apple (*Malus x domestica* Borkh.) as affected by rootstock type and irrigation system during six stages of tree development. *J. Hort. Sci. Biotechnol*. 88:685-692.
- Fallahi, E.; M. N. Westwood., M.H. Chaplin, and D.G. Richardson. 1984. Influence of Apple Rootstocks, K and N Fertilizers on Leaf Mineral Composition and Yield. *Plant Nutr*. 7:1161-1177.
- Faust, M. 1989. *Physiology of Temperate zone fruit trees*. John Wiley and Sons, New York.
- Fazio G., D. Kviklys., M.A. Grusak, and T.L. Robinson. 2013. Phenotypic diversity and QTL mapping of absorption and translocation of nutrients by apple rootstocks. *Aspects of Applied Biology*. 119:37-50.
- Fazio, G., D. Kviklys., M.A. Grusak, and T.L. Robinson. 2012. Soil pH, soil type and replant disease affect growth and nutrient absorption in apple rootstocks. *New York Fruit Quarterly* 1:22-28.
- Firth, D.J., R.D.B. Whalley, and G.G. Johns. 2003. Distribution and density of the root system of macadamia on krasnozem soil and some effects of legume ground covers on fibrous root density. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 43:503-514.
- Forshey, C. G. 1963. A comparison of soil nitrogen fertilization and urea sprays as sources of nitrogen for apple trees in sand culture. *Hortic. Sci*. 83:32-45.
- Foster, T M., P. A. McAtee., C.N. Waite., H.L. Bolding, and T.K. McGhie. Apple dwarfing rootstocks exhibit an imbalance in carbohydrate allocation and reduced cell growth and metabolism. *Horticulture Research*. 4:17009.
- Giordano, P. M. and J. J. Mortvedt. 1974. Response of several rice cultivars to Zn. *J. Agron*. 66:220-223.

- Grace, J.K., K.L. Sharma., K.V. Seshadri., C. Ranganayakulu., K.V. Subramanyam., G. Raj Bhupal., S.H. K. Sharma., G. Ramesh., P.N. Gajbhiye., and M. Madhavi. 2012. Evaluation of sweet orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) cv. Sathgudi budded on five rootstocks for differential behavior in relation to nutrient utilization in Alfisol. *Soil Sci. and Plant Analysis*. 7:985-1014.
- Gregory, P.J., C.J. Atkinson., A.G. Bengough., M.A. Else., F. Fernandez–Fernandez, and R.J. Harrison. 2013. Contributions of roots and rootstocks to sustainable, intensified crop production. *J. Exp. Bot.* 64:1209-1222.
- Herrera-Rodríguez, M.B., A. González-Fontes., J. Rexach., J.J. Camacho-Cristobal., J.M. Maldonado, and M.T. Navarro-Gochicoa. 2010. Role of Boron in Vascular Plants and Response Mechanisms to Boron Stresses. *Plant Stress*. 2:115-122.
- Herrera-Saldaña, R. and J.T. Huber. 1989. Influence of varying protein and starch degradabilities on performance of lactating cow. *J. Dairy Sci.* 72:1477-1483.
- Hoch, G. 2007. Cell wall hemicelluloses as mobile carbon stores in non-reproductive plant tissues. *Funct. Ecol.* 21: 823-824.
- Hoying, S., M. Fargione, and K. Lungerman. 2004. Diagnosing apple tree nutritional status: Leaf analysis interpretation and deficiency symptoms. *New York Fruit Quarterly* 12:6-19.
- Huber, S.C. 1985. Role of potassium in photosynthesis and respiration. In Munson, R.D. (Ed.), *Potassium in Agriculture*. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. 396-396 pp.
- Jimenez, S., J. Pinochet., Y. Gogorcena., J.A. Betrán, and M.A. Moreno. 2007. Influence of different vigour cherry rootstocks on leaves and shoots mineral composition. *Sci. Hortic.* 112:73-79.
- Johnson, R. S., H. Andris., K. Day, and R. Bede. 2006. Using dormant shoots to determine the nutritional status of peach trees. *Acta Hortic* 721:285-90.
- Jones, J.B., Jr. B. Wolf, and H.A. Mills. 1991. *Plant Analysis Handbook*. Athens, Georgia, USA.
- Klages, K., H. Donnison., J. Wünsche, and H. Boldingh. 2001. Diurnal changes in non-structural carbohydrates in leaves, phloem exudate and fruit in 'Braeburn' apple. *Aust. J. Plant Physiol.* 28:131-139.
- Kucukyumuk, Z. and I. Erdal. 2011. Rootstock and cultivar effect on mineral nutrition, seasonal nutrient variation and correlations among leaf, flower and fruit nutrient concentrations in apple trees. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 17:633-641.
- Lakso A. N., J.N. Wunsche., J.W. Palmer, and L. Corelli-Grappadelli. 1999. Measurement and modeling of carbon balance of the apple tree. *Hort. Science*. 34:1040-1047.
- Lakso, A.N., M.D. White, and D.S. Tustin. 2001. Simulation modeling of the effects of short and long-term climatic variations on carbon balance of apple trees. *Acta Hortic.* 557:473-480.
- Lockard, R.G. and G.W. Schneider. 1981. Stock and scion growth relationships and the dwarfing mechanism in apple. *Hortic. Rev.* 3:316-375.

- Luchi, V.L., G. Nava, and T. Luchi. 2001. Distúrbios fisiológicos e desequilíbrios nutricionais em macieira. Florianópolis: Epagri/Jica. 74 pp.
- Martinez-Alcantara, B., D.J. Iglesias., C. Reig., C. Mesejo., M. Agustí, and E. Primo-millo. 2015. Carbon utilization by fruit limits shoot growth in alternate-bearing citrus trees. *Plant. Physiol.* 176:108-117.
- Mengel, K. and E.A. Kirkby. 2001. *Principles of Plant Nutrition*, 5th ed. Dordrecht,, The Netherlands: Kluwer Academic.
- Millard, P. and C. M. Thomson. 1989. The effect of the autumn senescence of leaves on the internal cycling of nitrogen for the spring growth of apple trees. *Journal of Experimental Botany.* 40:1285-9.
- Monselise, S.P. and E.E. Goldschmidt. 1982. Alternate bearing of fruit trees. *Horticultural Reviews.* 4:128-173.
- Mpelasoka, B.S., D.P. Schachtman., M.T. Treely and Thomas, M.R. 2003. A review of potassium nutrition in grapevines with special emphasis on Berry accumulation. *Australian. Journal. Grape Wine Research.* 3:154-168.
- Myers, J.A. and K. Kitajima. 2007. Carbohydrate storage enhances seedling shade and stress tolerance in a neotropical forest. *J. Ecol.* 95:383-395.
- Nachtigall, D.R, and Dechen, A.R. 2006. Seasonality of nutrients in leaves and fruits of apple trees. *Scientia Agricola.* 5: 493-501.
- Naschitz, S., A. Naor., S. Genish., S. Wolf., and E.E. Goldschmidt. 2010. Internal management of non-structural carbohydrate resources in apple leaves and branch wood under a broad range of sink and source manipulations. *Tree Physiol.* 30:715-727.
- Nava, G., A.R. Dechen, and G.R. Nachtigall. 2008. Nitrogen and potassium fertilization affect apple fruit quality in Southern Brazil. *Soil Sci. and Plant Analysis.* 39:96-107.
- Neilsen, G.H., P. Parchomchuk., D. Neilsen., B.J. Zebarth. 2000. Drip-fertigation of apples trees affects root distribution and the development of K deficiency. *Soil Sci.* 80:353-361.
- Oliveira, C. M. and C. A. Priestley. 1988: Carbohydrate reserves in deciduous fruit trees. *Horticultural Reviews* 10: 403-430.
- Paparnakis, A., C. Chatzissavvidis, and V. Antoniadis. 2013. How apple responds to boron excess in acidic and limed soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* 4:787-796.
- Petri, J.L. 2002. Formação de flores, polinização e fertilização. In: EPAGRI. Manual da cultura da macieira. Florianópolis: Epagri.229-259 pp.
- Priestley, C.A. 1970. Carbohydrate storage and utilisation. In: Luckwill, L.C., Cutting, C.V. (Eds.), *Physiology of Tree Crops*. Academic Press, New York. 113-127 pp.
- Reid, R. and K. Fitzpatrick. 2009. Redistribution of boron in leaves redices boron toxicity. *Plant Signaling and Behavior.* 11:1091-1093.

- Reid, R., J.E. Hayes., A. Post., J.C.R Stangoulis, and R.D. Graham. 2004. A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. *Plant Cell Environment*. 11:1405-1414.
- Reyes, F., T. DeJong., P. Franceschi., M. Tagliavini, and D. Gianelle. 2016. Maximun Growth Potential and Periods of Resource Limitation in Apple Tree. *Plant Science*. 7:23-33.
- Rodriguez, A.C., F.G. Herter., V. Verissimo., A.D. Campos., G.B. Leite, and J.B. Silva. 2006. Balanço de carboidratos em gemas florais de dois genótipos de pereira sob condições de inverno ameno. *Rev. Bras.* 28:1-4.
- Rogers, W. S. 1939. Root studies VIII. Apple root growth in relation to rootstock, soil, seasonal and climatic factors. *Journal of Pomology and Horticultural Sciences*. 17:99-130.
- Scandellari, F., M. Ventura., P. Gioacchini., A. L. Vittori., M. Tagliavini. 2010. Seasonal pattern of net nitrogen rhizodeposition from peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) trees in soils with different textures. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 136:162-168.
- Stutte, G.W., T.A. Baugher., S.P. Walter., D.W. Leach., D.M. Glenn, and T.J. Tworkoski. 1994. Rootstock and training system affect dry-matter and carbohydrate distribution in 'Golden Delicious' apple trees. *Hortic. Sci.* 119:492-497.
- Swietlik, D. 2002. Zinc Nutrition of Fruit Trees by Foliar Sprays. *Acta Hortic.* 594:123-129.
- Taiz, L., and E. Zeiger. 2010. *Plant Physiology*, fifth ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Titus, J. S. and S. M. Kang. 1982. Nitrogen metabolism, translocation, and recycling in apple trees. *Horticultural Reviews*. 4:204-246.
- Tromp, J., 2005. Metabolic processes. In: Tromp, J., Webster, A.D., Wertheim, S.J. (Eds.), *Fundamentals of Temperate Zone Tree Fruit Production*. Backhuys Publishers, Leiden, pp. 39-54.
- Tukey, R.B., R. Langston, and R.A. Cline. 1962. Influence of rootstock, bodystock and interstocks on the nutrient content of apple foliage. *Hortic. Sci.*80:73-78.
- Ucgun, K. and S. Gezgin. 2017. Interpretation of Leaf Analysis Performed in Early Vegetation in Apple Orchards. *Soil Science and Plant Analysis*. 48:1719-1725.
- Verissimo, V. 2008. Porta-enxertos para Pereira (*Pyrus* sp.): implicacoes sobre a dormencia, biologia floral e conteúdo de carboidratos. Tesis-Doutorado. Uviversidade Federal de Pelotas. Brasil.
- Webster, A.D. 2004. Vigour mechanisms in dwarfing rootstocks for temperatute fruit trees. *Acta Hortic.* 658:29-41.
- Wojcik, P., M. Wojvik, and W. Treder. 2003. Boron Absorption and Translocation in Apple Rootstocks Under Conditions of Low Medium Boron. *Plant Nutrition*. 5:961-968.
- Wünsche, J.N., D.H. Greer., W.A. Laing., and J.W. Palmer. 2005. Physiological and biochemical leaf and tree responses to crop load in apple. *Tree Physiol*. 25:1253-1263.

Zanotelli, D., M. Rechenmacher., W. Guerra., A. Cassar, and M. Tagliavini. 2014. Seasonal uptake rate dynamics and partitioning of mineral nutrients by bourse shoots of field-grown apple trees. *Hortic. Sci.* 4:203-211.

Zarrouk, O., Y. Gogorcena., J. Gomez-Aparisi., J.A. Betran, and M.A. Moreno. 2005. Influence of almond x peach hybrids rootstocks on flower and leaf mineral concentration, yield and vigour of two peach cultivars. *Sci. Hortic.* 4:502-514.

Zavalloni, C., B. Marangoni., D. Scudellari, and M. Tagliavini. 2001. Dynamics of uptake of calcium, potassium and magnesium into apple fruit in high density planting. *Acta Hortic.* 564:113-122.

CAPÍTULO III. VIGOR DEL ÁRBOL, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO

3.1 RESUMEN

La producción de la manzana se ha incrementado con el uso de portainjertos enanizantes en altas densidades, debido a que incrementan el rendimiento y la calidad del fruto en diversos cultivares. Por otro lado, se ha estudiado la influencia del interinjerto, pero es escasa la información del efecto del injerto de aproximación en el rendimiento y calidad de fruto. El objetivo de esta parte del trabajo fue evaluar el rendimiento y la calidad del fruto del cultivar Brookfield Gala/Bud.9, injertado por aproximación al tronco de `Brookfield Gala´/Bud.9, en 2016 y 2017, teniendo como testigo árboles de `Brookfield Gala´/EMLA 7. El número, peso y diámetro de frutos, área de la sección transversal del tronco, rendimiento, eficiencia de rendimiento, firmeza, sólidos solubles totales, acidez y color del fruto se midieron en los años 2018 y 2019. El mayor rendimiento se encontró en el testigo `Brookfield Gala´/EMLA 7. Por otra parte, el área de la sección transversal del tronco y la eficiencia de rendimiento fue menor en `Brookfield Gala´/Bud.9. En el año 2019, los frutos de `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA 7, injertado por aproximación en 2016, fueron de mayor diámetro polar y ecuatorial. La firmeza, el contenido de sólidos solubles totales y la acidez titulable no fueron afectados por los tratamientos. Sin embargo, con el injerto de aproximación se observa una tendencia al incremento en el rendimiento y en el área de la sección transversal del tronco.

Palabras clave: *Malus pumila* Mill., eficiencia de rendimiento, injerto de aproximación, calidad de fruto.

3.2 ABSTRACT

Apple production has increased with the use of dwarfing rootstocks in high densities, because they increase the yield and quality of the fruit in various cultivars. On the other hand, the influence of the interstock has been studied, but there is little information on the effect of the inarched on fruit yield and quality. The objective of this part the work was to evaluate the yield and fruit quality of the fruit of the cultivar Brookfield Gala/Bud.9, with EMLA 7, which was inarched to the trunk of `Brookfield Gala´/Bud.9, in 2016 and 2017. The control was `Brookfield Gala´/EMLA 7. The number, weight and diameter of fruits, trunk cross-sectional area, yield, yield efficiency, firmness, total soluble solids, acidity and fruit color were measured in 2018 and 2019. The highest yield was found in the `Brookfield Gala´/EMLA 7 control. On the other hand, the trunk cross-sectional area and the efficiency of was lower in `Brookfield Gala´/Bud.9. In 2019, the fruits of `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA 7, inarched in 2016, were of greater polar and equatorial diameter. Firmness, total soluble solids content and titratable acidity were not affected by the treatments. However, with EMLA 7 inarched, there was a tendency to increase the yield and the cross-sectional area of the trunk.

Keywords: *Malus pumila* Mill., yield efficiency, inarched, quality fruit.

3.3 INTRODUCCIÓN

La manzana es uno de los frutos más demandados en los mercados a nivel mundial, por ello se han seleccionado nuevos cultivares entre ellos variantes del cultivar Gala con características deseables por los consumidores. La producción actualmente se ha incrementado mediante el uso de portainjertos enanizantes en sistemas intensivos (Robinson, 2007), porque optimizan el crecimiento vegetativo e incrementan el rendimiento y la calidad del fruto (Webster, 2002). Los portainjertos M.9 y B.9 representan los portainjertos de manzana más plantados con más de 50 millones de árboles en todo el mundo cada año, de ahí la importancia de la genética enanizante y de la producción precoz (Autio *et al.*, 2011; Marini *et al.*, 2008). Por lo tanto, los sistemas intensivos se han propuesto para mejorar la rentabilidad y el rendimiento del manzano (Lauri *et al.*, 2004).

Robinson *et al.*, (2003), mencionan que los árboles vigorosos producen mayor cantidad de kilos de fruta que los semivigorosos; sin embargo, los árboles enanizados permiten aumentar la densidad de plantación e incrementan el rendimiento por unidad de superficie y la eficiencia de producción. Además, con el uso de portainjertos enanos se reduce drásticamente las lesiones de los trabajadores, el volumen de agroquímicos y otros gastos culturales. Al igual que el vigor, precocidad y porte de los portainjertos se deben seleccionar parámetros de calidad, color y contenido bioquímico y el efecto sobre los procesos fisiológicos de los árboles (Samuoliené *et al.*, 2016).

Aunque también se reporta que el rendimiento de los portainjertos varía dependiendo del cultivar (Tombesi *et al.*, 2011); no obstante, Al-Hinai y Roper (2004), mencionan que los portainjertos no tienen ningún efecto sobre el crecimiento y tamaño de los frutos en el cv. Gala.

El cultivar puede influir sustancialmente en las propiedades químicas del fruto especialmente el contenido de fenoles y la actividad antioxidante total (Drogoudi *et al.*, 2007), lo que refleja un control genético cualitativo (Sha *et al.*, 2011), pero también puede verse afectada por las condiciones ambientales y las prácticas culturales (Wang *et al.*,

2011). Los frutos de manzana de diferente cultivar pueden tener cualidades externas, como la forma, tamaño, color, así como características internas de textura, niveles de azúcares, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos diferentes (McCann *et al.*, 2007). Los cultivares originados de Gala se han introducido al mercado principalmente por sus propiedades organolépticas que presentan textura consistente no sensible a la harinosidad, pulpa fina de color marfil, crujiente, dulce, ligeramente acidulada y aromática (Iglesias *et al.*, 2000) y son precoces.

La composición química del fruto de manzana es muy compleja, consiste en compuestos orgánicos e inorgánicos y nutrimentos. Los azúcares, ácidos, pectina y taninos, almidón, celulosa, vitaminas, enzimas y fitohormonas son los más representativos. En los elementos químicos se encuentra el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, hierro y magnesio. Así también el contenido de azúcar y firmeza son importantes atributos de calidad. El contenido de compuestos orgánicos en la fruta depende del cultivar, la madurez, condición fisiológica del árbol y de las condiciones del suelo y el clima (Markuszewski y Kopytowski, 2008). Por ello, el objetivo de esta parte del trabajo fue evaluar el rendimiento y calidad del fruto cv. Brookfield Gala/Bud.9, apoyados en el portainjerto EMLA7, injertado por aproximación al tronco de `Brookfield Gala´/Bud.9 en 2016 y 2017.

3.4 REVISIÓN DE LITERATURA

3.4.1 Vigor y rendimiento en la producción del manzano

El control del vigor en los árboles de manzano, son económicamente importantes en la producción en altas densidades (Autio *et al.*, 2000; Webster y Wertheim, 2003), debido a la eficacia de reducir o retrasar la competencia por el espacio disponible (Chalmers *et al.*, 1981; Lo Bianco *et al.*, 2003). El vigor de los portainjertos, influye en crecimiento vegetativo y reproductivo del cultivar, también puede afectar la calidad del fruto. Los portainjertos M.27, M.9 y M.26 en plantaciones de alta densidad, específicamente pueden reducir el área de la sección transversal del tronco y el volumen del dosel, pero tienen efectos positivos en la calidad del fruto en comparación con los portainjertos vigorosos (Autio *et al.*, 1996; Fallahi *et al.*, 2002; Lo Bianco *et al.*, 2003). El diámetro del

tronco se ha utilizado como indicador del vigor y para medir la eficiencia de producción en los árboles frutales como la mandarina (Tazima *et al.*, 2013), el cerezo dulce (Lanauskas *et al.*, 2012) y el manzano (Tworkoski y Miller, 2007).

Los portainjertos también puede afectar la anatomía de la xilema de la variedad y con ello el vigor. Los portainjerto enanos tienden a mostrar diámetros de vasos más pequeños (Olmstead *et al.*, 2006). Por ello, la falta de afinidad disminuye progresivamente el transporte de carbohidratos hacia las raíces, por lo que su desarrollo y capacidad de absorción disminuye (Olmstead *et al.*, 2010). A pesar de que la conductancia estomática tiende a reducirse, los árboles en portainjertos enanos generalmente muestran relaciones más altas de fotosíntesis/conductancia estomática y, por lo tanto, una mayor eficiencia fotosintética (Hrotkò y Rozpara, 2017). Por otra parte, la carga de cosecha, definida como el número de frutos por árbol tienen impacto significativo en la calidad y fisiología de los árboles (Wünsche *et al.*, 2005; Treder *et al.*, 2010). En los huertos intensivos reducen el crecimiento vegetativo de los árboles (Wünsche y Palmer, 2000), lo que disminuye aún más la relación entre fuente (hojas) y demanda (fruto).

En huertos de manzano de alta densidad, el número de árboles por hectárea se encuentra en el rango de 3,000 a 10,000 dependiendo del vigor en la combinación cultivar/portainjerto, así como los sistemas de formación (Balkhoven-Baart *et al.*, 1998; Sansavini y Correlli, 1989; Lo Bianco *et al.*, 2003). El uso de portainjertos enanos (PE) ha ocasionado un cambio hacia huertos de alta densidad, desde el arribo de la serie de East Malling (Norelli *et al.*, 2003). Los PE tienen la ventaja de ocupar menos espacio comparado con los portainjertos vigorosos por lo que pueden aumentar el rendimiento (Jackson, 1989), la precocidad, el tamaño y color uniforme del fruto (Sarwar *et al.*, 1998). Además, requieren menos aplicaciones de pesticidas y menos mano de obra para la poda y raleo del fruto (Goedegebure, 1978). Los portainjertos enanizantes pueden producir frutos más grandes y mayor rendimiento por hectárea (Webster y Wertheim, 2003). Otras de las ventajas de los P.E es la inducción a mayor precocidad en la producción y adelantar la maduración de los frutos (Autio *et al.*, 1996).

En otros estudios se reporta que el rendimiento con diferentes portainjertos depende del cultivar (Tombesi *et al.*, 2011). Sin embargo, Hierit y Flowers (2000); Al-Hinai y Roper (2004), encontraron que los portainjertos no tenían ningún efecto en el crecimiento y el tamaño de los frutos, incluso con el raleo en manzana cv. Gala. Otros estudios demostraron que las interacciones entre portainjertos y cultivares no fueron significativos en los efectos generales del rendimiento de los árboles (Barritt *et al.*, 1995).

Hampson *et al.* (2002), mencionan que el rendimiento y la calidad del fruto dependen de la distribución de la luz en el dosel, así como la interceptación total. En plantaciones de altas densidades se aprovecha mejor la radiación fotosintéticamente activa que en las plantaciones convencionales de baja densidad, debido al aumento en la tasa de interceptación de la luz y mejor distribución dentro del dosel (Warrington *et al.*, 1996).

Además, los portainjertos enanos pueden afectar la distribución del carbono entre el crecimiento vegetativo y reproductivo a favor de este último (Inglese *et al.*, 2002) y con esto resulta una mayor eficiencia de rendimiento que en portainjertos vigorizantes (DeJong *et al.*, 2004). La teoría de la competencia afirma que parte del control del tamaño es causado por cosechas precoces que controlan indirectamente el crecimiento vegetativo. El uso de portainjertos enanos también se está utilizando en plantaciones de cerezo que permitan densidades medias a altas (800-1200 árboles/ha) debido al tamaño reducido del dosel y mejora de la eficiencia del huerto (Lang, 2014).

3.4.2 Comportamiento de los portainjertos Bud.9 y EMLA7 en el rendimiento

El portainjerto Bud.9 es utilizado en plantaciones de altas densidades, y en todos los nuevos sistemas de conducción (Fallahi *et al.*, 2001; Romero *et al.*, 2017). Hirst *et al.*, (2001) reportan que el portainjerto Bud.9 en varios ensayos fue productivo y eficiente en NC-140, aunque carece de tolerancia al problema de replantación (Auvil *et al.*, 2011). Así también, la supervivencia del portainjerto Bud.9 fue superior cuando fue infectado severamente con tizón de fuego, comparado con portainjertos M.9 y M.26, además parecía resistencia al cultivar (Marini *et al.*, 2000).

El cultivar Golden Delicious/Bud.9 en Chihuahua, se comportó como el portainjerto menos vigoroso en comparación con los portainjertos PiAu 56-83, PiAu 51-4, EMLA26, G.935 y G.41, que son enanos. Aunque éstos fueron más vigorosos, Bud.9 presentó una eficiencia de producción intermedia, así como una mayor concentración de nitrógeno (N) en las hojas y fruto comparado con los portainjertos vigorosos (Romero *et al.*, 2017).

Mientras que Kviklys *et al.* (2012), reportan que con el cultivar Auksis/Bud.9 en el Noreste de Europa ha mostrado resistencia a bajas temperaturas en el invierno, presentando un vigor medio, alta eficiencia de rendimiento y buena coloración de frutos. Sin embargo, en condiciones ambientales diferentes de la misma región resultó ser sensible al problema de replantación en suelos arcillosos y arenosos (Kviklys *et al.*, 2016). El cv. Granny Smith en la República de Macedonia, en un estudio sobre la influencia de calidad de los frutos en diferentes portainjertos, en Bud.9 tuvo un peso inferior, contenido mínimo de sólidos solubles y acidez titulable que en los demás portainjertos. Sin embargo, la firmeza del fruto fue mayor con la de los portainjertos M.9 T984, M.9T337, Jork 9, Mark9, M.9, Pajam 1, Pajam2 y Supporter 4 (Gjamovski *et al.*, 2013).

Lebese *et al.* (2014), reportan que el cultivar Brookfield Gala/EMLA.7 en Sudáfrica tuvo una mayor eficiencia en el rendimiento comparado con el portainjerto M793, que es un portainjerto semienano. En tanto en Polonia, Zurawicz y Lewandowski (2014), reportan que este portainjerto es tolerante a las heladas comparado con P2, P14, P16, P16, P22, P59, P60, P66, P68, M.9 y MM.106. En un estudio en vivero con el cultivar Fuji injertado en 48 portainjertos, `Fuji'/EMLA7 resultó con un rendimiento y eficiencia de rendimiento de media a baja, pero con buen tamaño de fruto y además con mayor número de ápices radiculares (Reig *et al.*, 2017). En el cultivar Golden Delicious/EMLA7 en Chihuahua, el efecto enanizante ha sido mayor en comparación con el de M.26 y M.9, probablemente debido a la interacción tipo y profundidad de suelo, cultivar y disponibilidad de agua (Parra, 1994).

3.4.3 Producción e importancia del manzano

El manzano es uno de los árboles frutales más cultivados con más de 7,500 variedades (Dobrzański *et al.*, 2006). Es una de las especies más antiguas que se cultivan en todo el mundo desde el año 4000 a.C. El centro de origen, abarca regiones de Asia menor y central, India, Pakistán y China (Muzher *et al.*, 2007; Milosevic *et al.*, 2018). La demanda de fruta fresca ha sido uno de los principales factores que ha aumentado el interés en mejorar la calidad como lo demuestran diferentes programas de mejoramiento genético en el mundo que seleccionan nuevos materiales (Brown y Maloney, 2013).

Los principales países productores de manzana a nivel mundial, en los últimos diez años son: China en primer lugar con 37.8 millones, Estados Unidos 4.6, Irán 2.8 millones, Turquía 2.7 millones, Polonia 2.6, Italia 2.2, India 2.1, Francia 1.7, Chile 1.6 y Rusia 1.5 millones de toneladas de fruta (FAOSTAT, 2017). En México, la producción se concentra en los estados de Chihuahua, Sonora, Puebla y Tlaxcala con un rendimiento de 22.5, 13.6, 10 y 5.2 t/ha, respectivamente (SIAP, 2016). Los cultivares más comunes son Golden Delicious y Red Delicious (SIAP, 2016).

3.4.4 Calidad del fruto de manzana

En manzano, la cantidad de frutos por árbol puede afectar su calidad en la reducción del tamaño, color y sólidos solubles (Francesconi *et al.*, 1996; Wünche *et al.*, 2000; Yuri *et al.*, 20011) y, por lo tanto, afectan el valor comercial del fruto (Carew y Smith, 2004).

Genéticamente el cv. Gala produce frutos pequeños, además de otros factores. Los árboles diferencian flores fácilmente, amarran frutos abundantemente que son difíciles de ralear, principalmente cuando el vigor del árbol es bajo, además, soportan grandes cargas de cosecha (Robinson *et al.*, 2005). La producción del fruto comprende el número y tamaño. Se cosecha 120 a 140 días después de la plena floración (Hampson y Kemp, 2003). Sin embargo, su conservación frigorífica es corta (no más de tres meses) por la pérdida de acidez y aroma (Iglesias *et al.*, 2000).

La coloración del cultivar Gala es roja, importante para la comercialización, depende en gran medida de la ubicación en el dosel ya que mayores niveles de luz conducen a una mejor coloración (Krishnaprakash *et al.*, 1983). Además de los factores climáticos, los factores edáficos influyen en el crecimiento y la fructificación del árbol, la producción y la calidad del fruto (Murtic *et al.*, 2012). Las temperaturas óptimas para el desarrollo de la coloración roja del cv. Gala es de 22-25°C (Curry, 1997). Las bajas temperaturas aumentan el contenido de antocianinas y la expresión de genes de la vía biosintética de las antocianinas (Steyn *et al.*, 2005), mientras que altas temperaturas impiden la acumulación de cianidina y azúcares (Ban *et al.*, 2009), resultando en la reducción de antocianinas lo que afecta el color del fruto (Steyn *et al.*, 2005), como se ha observado en cultivares de Mondal Gala y Royal Gala a 30°C (Lin-Wang *et al.*, 2011).

El sabor del fruto depende del equilibrio entre azúcares y ácidos orgánicos (Ackermann *et al.*, 1992); los frutos contienen compuestos fenólicos que se dividen en diferentes subgrupos, ácidos hidroxicinámicos, ácidos benzoicos, flavonoides, flavonas, flavononas, chalconas, dihydrocalcolnas, dihidroflavonoles y antocianinas (Treutter, 2001). El contenido de azúcar y la firmeza son importantes atributos de calidad para los consumidores y para compra de fruta fresca. También los ácidos orgánicos, sólidos solubles y sabor contribuyen a la calidad organoléptica del fruto fresco (Nour *et al.*, 2010).

La fructuosa y la sacarosa son los azúcares solubles primarios en el fruto de manzana, siendo el sorbitol el principal azúcar alcohol; el ácido málico el principal ácido orgánico predominante en los frutos de manzana (Campeanu *et al.*, 2009). Las manzanas contienen el 90% de todos los aminoácidos, incluido el ácido aspártico, ácido glutámico, asparagina, serina y glutamina; en pequeñas cantidades glicina, ácido c-amino butírico, fenilalanina, isoleucina, leucina, ornitina, alanina, lisina, histidina, homoserina y arginina (Honda *et al.*, 2002).

El tamaño del fruto de manzana es el resultado de la división celular exponencial en las primeras 4 a 6 semanas después de la floración y posterior expansión celular durante el resto del crecimiento del fruto (Al-Hinai y Roper, 2004). El crecimiento del fruto se ve

afectado por el genotipo y factores ambientales como el suministro de carbono, la carga de frutos, hormonas, nutrimentos minerales, temperatura y luz. El principal factor que puede influir y determinar el crecimiento y tamaño final del fruto es la carga de frutos (Wünsche y Palmer, 2000).

Lord *et al.* (1985), evaluaron la calidad del fruto del cv. Imperio injertado en ocho portainjertos o combinaciones de interinjertos durante 3 años, y encontraron que el efecto sobre el peso del fruto era inconsistente. La firmeza de la pulpa no fue influenciada por el portainjerto, pero la concentración de sólidos solubles fue mayor para los frutos de los árboles en M.27 que en M.26, M.9/MM.111 y M.27/MM.111.

3.5 MATERIALES Y MÉTODOS

3.5.1 Diseño experimental

La definición de los tratamientos del experimento son los mismos que se describieron en el Capítulo II. Se evaluaron los tratamientos: 1) `Brookfield Gala´/Bud.9, 2) `Brookfield Gala´/EMLA7, 3) `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA7-2016 y 4) `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA7-2017. En un diseño experimental de bloques al azar generalizado con tres repeticiones. La unidad experimental fue un árbol. Como testigo se consideró el tratamiento 2.

3.5.2 Vigor del árbol

El vigor se determinó mediante el área de la sección transversal del tronco en los años 2018 y 2019, midiendo el diámetro (cm) del tronco del cultivar, 15 cm arriba del punto de unión entre el cultivar y el portainjerto, de cada tratamiento: `Brookfield Gala´/Bud.9, `Brookfield Gala´/EMLA 7 y `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA7 establecido en 2016 y 2017 (Figura 3.1), usando un vernier digital marca Truper STAINLESS, y la fórmula $ASTT=(C)^2/4 \pi$, en la cual, ASTT=área de la sección transversal del tronco en cm^2 y C=circunferencia del tronco en cm.

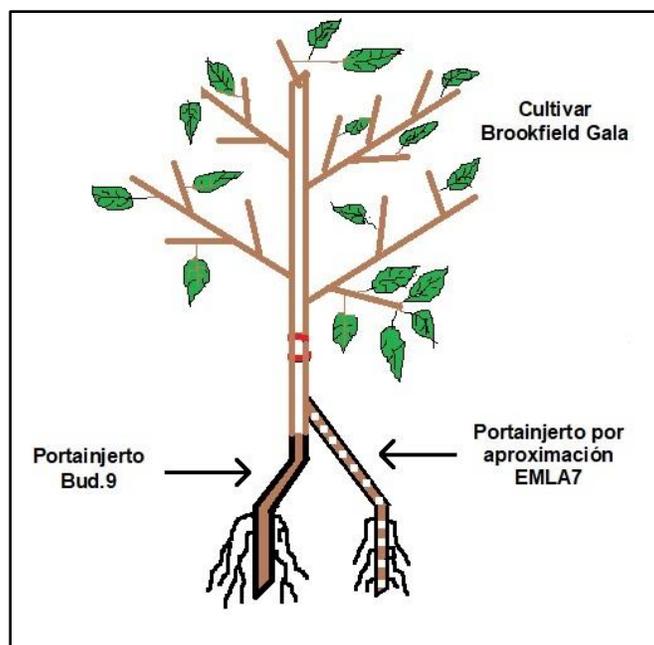


Figura 3.1. Cultivar Brookfield Gala injertado sobre Bud.9, con el portainjerto EMLA 7 injertado por aproximación.

3.5.3 Rendimiento y eficiencia de rendimiento

El rendimiento se evaluó en los años 2018 y 2019, el número de frutos por árbol y el peso (kg) por árbol. Los frutos se pesaron en una báscula manual y se contabilizó el número total de frutos.

La eficiencia de rendimiento se determinó de acuerdo a la fórmula (Kg/cm^2) (Wertheim *et al.*, 1989), en donde Kg =rendimiento y cm^2 = Área de la sección transversal del tronco.

3.5.4 Calidad del fruto

En ambos ciclos se determinaron variables fisicoquímicas para la calidad del fruto en el Laboratorio General del Colegio de Postgraduados. Se seleccionaron al azar nueve frutos de cada tratamiento con tres repeticiones.

Tamaño. El diámetro polar y ecuatorial se midió en milímetros (mm) con un vernier marca Trupper.

Peso. Se determinó en una balanza electrónica marca OHAUS con precisión de décimas de gramos.

Sólidos solubles totales. Se realizó con el método AOAC (1990), en la en la cual se colocó una gota de jugo del mesocarpio del fruto y se cuantificó con refractómetro digital ATAGO PR-100 con escala de 0-32% (Honcho. Itabashi-Ku, Tokio Japón), los sólidos solubles totales se expresaron en grados Brix (°Brix).

Firmeza. Se determinó midiendo la fuerza en dos sitios opuestos sobre el diámetro ecuatorial del fruto, previa eliminación del exocarpio, mediante un Texturómetro Universal Force Five FDV-30 (CT, USA) de un puntal cónico de 7 mm de diámetro en la base por 7 mm de altura y se cuantificó la fuerza en Newton.

Acidez titulable. Se determinó en el jugo del fruto como porcentaje de ácido málico, mediante el método oficial de AOAC (1990).

Color. Se midió con un colorímetro X-rite (USA) en base a los parámetros del ángulo Hue (H), índice de saturación (croma) y el índice de luminosidad (L); en dos sitios opuestos de la zona ecuatorial de los frutos.

En el año 2019, se determinaron las mismas propiedades fisicoquímicas siguiendo el procedimiento del año 2018. Debido a que hubo mayor número de frutos, se seleccionaron nueve frutos para cada tratamiento con tres repeticiones de cada bloque (27 frutos por tratamiento). En campo se midió peso del fruto en una balanza electrónica, el diámetro polar y ecuatorial con un vernier digital marca Trupper, respectivamente. Los sólidos solubles totales en un refractómetro de mano, marca ATAGO y la firmeza con un penetrómetro manual 0-13 kg.

3.5.5 Análisis estadístico

Los datos fueron sujetos a un análisis de varianza (Anova) mediante el programa estadístico SAS versión 9.4 y la comparación de medias con la prueba de Tukey con $p \leq 0.05$.

3.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.6.1 Rendimiento

El rendimiento del ciclo 2018 fue atípico, debido a las condiciones ambientales y la fenología del cultivar Gala. La brotación vegetativa ocurrió a principios de marzo y floración plena el día 15 de marzo, la cual no coincidió con la floración del cv. Granny Smith como polinizador. También se presentaron días nublados que dificultó la actividad de las abejas. Esto afectó la polinización, el amarre de fruto y por consiguiente el rendimiento.

En el ciclo 2019, la brotación vegetativa ocurrió a finales de febrero y plena floración el día 10 de marzo que coincidió con la floración del cv. Granny Smith como polinizador, además, junto condiciones favorables para la polinización. Por ello, el rendimiento mejoró; no obstante, en este ciclo se presentó déficit hídrico durante el crecimiento de fruto lo que limitó que se alcanzará su tamaño con daños fisiológicos que afectaron la calidad del fruto.

En el ciclo 2018, el número de frutos fue diferente entre los tratamientos ($p \leq 0.05$), siendo superior `Brookfield Gala`/EMLA 7 (24 frutos) con respecto a `Brookfield Gala`/Bud.9 (9 frutos), mientras que los tratamientos con injerto de aproximación establecidos en 2016 y 2017 tuvieron un rendimiento intermedio (12 y 17 frutos), respectivamente. En el ciclo 2019 también se encontraron diferencias significativas entre tratamientos; `Brookfield Gala`/EMLA 7 fue superior (75 frutos) con respecto al tratamiento `Brookfield Gala`/Bud.9+(EMLA 7-2017) (46 frutos), en tanto `Brookfield Gala`/Bud.9+(EMLA7-2016) y `Brookfield Gala`/Bud.9 tuvieron un rendimiento intermedio (56 y 59 frutos), respectivamente. El rendimiento acumulativo refleja estas respuestas, siendo superior `Brookfield Gala`/EMLA7 (97 frutos) con respecto a los tres tratamientos (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Rendimiento, área de la sección transversal del tronco, rendimiento y eficiencia de rendimiento del manzano 'Brookfield Gala' en respuesta al injerto de aproximación en dos ciclos de producción.

Tratamientos	Número de frutos/árbol			Kg/árbol			ASTT (cm ²)			Rendimiento/ASTT (Kg cm ²)		
	2018	2019	Acumulado	2018	2019	Acumulado	2018	2019	Acumulado	2018	2019	Acumulado
'Brookfield Gala'/Bud 9	9b ^y	59ab	68b	0.5b	3.46b	3.96b	7.6b	8.51b	16.11b	0.07b	0.40a	0.26a
'Brookfield Gala'/EMLA	24a	75a	99a	2.4a	6.13a	8.53a	12.8a	13.6a	26.4a	0.19a	0.45a	0.32a
'Brookfield Gala'/Bud 9+EMLA7-2016	12ab	56ab	68b	1.1ab	4.53ab	5.63b	6.9b	8.22b	15.12b	0.16ab	0.55a	0.37a
'Brookfield Gala'/Bud 9+EMLA7-2017	17ab	46b	63b	1.3ab	4.31ab	5.61b	7.2b	8.27b	15.47b	0.18ab	0.52a	0.36a
DHS	11.25	23.1	23.57	1.57	1.74	1.97	2.59	2.76	5.02	0.11	0.14	0.09

^yMedias con diferentes letras en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, p≤0.05)

El rendimiento de frutos por árbol en el ciclo 2018, el tratamiento `Brookfield Gala´/EMLA7 (2.4 kg) superó a `Brookfield Gala´/Bud.9 (0.5 kg), y los tratamientos con injerto de aproximación establecidos en 2016 y 2017 tuvieron peso intermedio de 1.1 y 1.3 kg/árbol, respectivamente. En el ciclo 2019 aumentó el rendimiento en todos los tratamientos con diferencias significativas ($p \leq 0.05$). `Brookfield Gala´/EMLA7 fue superior (6.1 kg) con respecto a `Brookfield Gala´/Bud.9 (3.5 kg) y los tratamientos `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA7-2016 y 2017 tuvieron posición intermedia (4.3 y 4.5 kg). Por lo tanto, la producción acumulativa fue superior con el tratamiento `Brookfield Gala´/EMLA7 (8.3 kg), respecto a los tratamientos `Brookfield Gala´/Bud.9 (4.8 kg), `Brookfield Gala´/Bud.9+(EMLA7-2016) (5.6 kg) y `Brookfield Gala´/Bud.9+(EMLA7-2017) (5.2 kg) (Cuadro 3.1). El mayor rendimiento del cv. Brookfield Gala se encontró con el portainjerto EMLA7, y el menor con Bud.9 no obstante, en los tratamientos con injerto de aproximación se observa que con el apoyo de EMLA7 hay una tendencia a aumentar el rendimiento a través de los años después del injerto.

El efecto del portainjerto Bud.9 es de acuerdo a los cultivares. Con el cv. Ganny Smith/Bud.9, los árboles presentan menor vigor, pero con mayor eficiencia en el rendimiento (Gjamovski y Kiprijanovski, 2011). Por otro lado, con el cv. Pacif Gala se encontró una producción precoz y con mayor rendimiento por árbol y eficiencia respecto a un portainjerto vigoroso a los dos y tres años después del trasplante (Fallahi *et al.*, 2014). Los portainjertos además de influir en el vigor y precocidad, tienen fuerte influencia en el rendimiento (Ystaas *et al.*, 1997); así también el cultivar tiene repercusión ya que con portainjertos enanos induce cargas excesivas del fruto (Bassi, 2005). Además del cultivar, la edad de la huerta, tipo de suelo, condiciones ambientales y el riego (Morandi *et al.*, 2019) puede influir en el desarrollo del portainjerto como se observó en este trabajo.

3.6.2 Área de la sección transversal del tronco

En el ciclo 2018, el ASTT fue superior en el tratamiento `Brookfield Gala´/EMLA7 (12.8 cm²) con respecto a `Brookfield Gala´/Bud.9 (7.6 cm²), `Brookfield Gala´/Bud.9+(EMLA7-2016) (6.9 cm²) y `Brookfield Gala´/Bud.9+(EMLA7-2017) con 7.2 cm². En el ciclo 2019,

el ASTT también presentó diferencias significativas. El tratamiento `Brookfield Gala´/EMLA7 (13.6 cm) superó a los tratamientos `Brookfield Gala´/Bud.9 (8.51 cm) y con los de injerto de aproximación de 2016 y 2017 con 8.22 y 8.27 cm², respectivamente (Cuadro 3.1). Los tratamientos con menor ASTT podría explicarse por el menor tamaño y área foliar que corresponde al vigor de los árboles.

El incremento del crecimiento de un ciclo a otro en las combinaciones sin injerto de aproximación fue de 1 cm, sin embargo, en el tratamiento con injerto de aproximación de EMLA7 en 2018 fue de 2 cm. En tanto el acumulativo de ASTT de los tratamientos fue significativo, siendo superior la combinación `Brookfield Gala´/EMLA7 (25.36 cm²) con respecto al resto de los tratamientos. Estos resultados se relacionan con lo que se ha reportado en varios cultivares, a medida que aumenta el vigor de los portainjertos aumenta el rendimiento acumulativo/árbol y disminuye la eficiencia de rendimiento acumulativo (Barrit *et al.*, 1995).

3.6.3 Eficiencia de rendimiento

La eficiencia de rendimiento del ciclo 2018, varió de 0.7 a 0.18 kg cm² con diferencias significativas, el tratamiento `Brookfield Gala´/EMLA7 (0.19) fue superior con respecto a `Brookfield Gala´/Bud.9 (0.07) y con valores intermedios `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA7-2016 y 2017, (0.16 y 0.18) respectivamente. En el ciclo 2019, la eficiencia se encontró en el intervalo de 0.40 a 0.55 sin diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo `Brookfield Gala´/Bud.9 presentó menor eficiencia. La eficiencia acumulativa, varió de 0.26 a 0.37 cm, sin diferencias ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, no obstante `Brookfield Gala´/Bud.9 presentó la menor eficiencia como en el ciclo 2019 (Cuadro 3.1). La eficiencia encontrada con el portainjerto EMLA7, coincide con lo reportado por Lebese *et al.* (2014), con el mismo cultivar de Brookfield Gala en Sudáfrica. Por otra parte, en Chihuahua el portainjerto Bud.9 con el cultivar Golden Delicious tuvo una eficiencia intermedia (Romero *et al.*, 2017).

El portainjerto EMLA 7 presentó mayor ASTT que está relacionado con el tamaño del dosel del árbol. Robinson *et al.* (2011), mencionan que la eficiencia de rendimiento de un

portainjerto esta inversamente relacionado con su vigor. Mientras que Webster y Wetheim (2003), indican que los portainjertos enanos son más eficientes que los portainjertos vigorosos porque inducen el tamaño de los frutos de la variedad.

La eficiencia de rendimiento en árboles enanos es debido a que producen altos rendimientos por el aumento en el número de yemas axilares florales a lo largo del eje del tronco (Costes y García-Villanueva, 2007). Amiri *et al.* (2014), mencionan que el ASTT puede ser afectado por los ortainjertos, como se observó en los cvs. Golden Delicious y Royal Gala/MM.111 (semivigoroso) que tenían mayor ASTT que en el portainjerto M.9.

3.6.4 Calidad del fruto

3.6.4.1 Peso y tamaño del fruto

El peso del fruto en el ciclo 2018 estuvieron en el intervalo de 64.9 a 90.3 g, con diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos. El tratamiento `Brookfield Gala´/EMLA 7 (90.3 g) superó al tratamiento `Brookfield Gala´/Bud.9 (64.9 g), mientras que `Brookfield Gala´/Bud.9+(EMLA7-2016) (83.7 g) y `Brookfield Gala´/Bud.9+(EMLA7-2017) (81.8 g) tuvieron una respuesta intermedia. Por otra parte, en el ciclo 2019 el peso varió de 76.77 a 80.27 gramos, sin diferencias ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos, no obstante, con el tratamiento `Brookfield Gala´/Bud.9+(EMLA7-2016) el peso tendió a ser más alto (80.27 g) (Cuadro 3.2).

El diámetro polar de los frutos en el ciclo 2018 varió de 46.4 a 51.7 mm, con diferencias entre los tratamientos, siendo superiores los tratamientos `Brookfield Gala´/EMLA 7 (51.7 mm) y `Brookfield Gala´/Bud.9+(EMLA 7-2016) (51.4 mm) con respecto a `Brookfield Gala´/Bud.9 (46.4 mm) y con posición intermedia `Brookfield Gala´/Bud.9+(EMLA7-2017) (50.8 mm). En el ciclo 2019, el diámetro polar varió de 48.10 a 51.56 mm con diferencias entre tratamientos, siendo superior `Brookfield Gala´/Bud.9+(EMLA7-2016) (51.56 mm) con respecto a `Brookfield Gala´/Bud.9+(EMLA7-2017) y con una respuesta intermedia en los tratamientos sin injerto de aproximación en Bud.9 y EMLA7 con 49.93 y 50.08 mm, respectivamente (Cuadro 3.2).

El diámetro ecuatorial de los frutos de manzana cv. Brookfield Gala en el ciclo 2018 varió de 49.6 a 57.5 mm, con diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, `Brookfield Gala´/EMLA7 (57.5 mm) fue superior con respecto a `Brookfield Gala´/Bud.9 (49.6 mm), mientras que los tratamientos con injerto de aproximación de 2016 y 2017 presentaron valores intermedios de 54.5 y 55.6 mm, respectivamente. En el ciclo 2019, el diámetro ecuatorial estuvo en el intervalo de 55.41 a 59.25 mm con diferencias significativas, siendo superior la combinación `Brookfield Gala´/Bud.9+(EMLA7-2016) (59.25 mm) con respecto a los tratamientos sin injerto de aproximación de Bud.9 y EMLA7 de 55.41 y 56.46 mm, respectivamente, mientras que `Brookfield Gala´/Bud.9+(EMLA7-2017) (57.53 mm) tuvo diámetro intermedio (Cuadro 3.2).

El peso y tamaño de los frutos fueron menores en el tratamiento con el portainjerto Bud.9. Autio *et al.* (2003), reportan que los portainjertos tienen efecto sobre el tamaño del fruto. En cereza también se ha reportado que el vigor del portainjerto puede afectar la productividad y calidad de la producción (Neilsen *et al.*, 2016; Lang, 2000). La carga del fruto y la relación hoja/fruto puede afectar el desarrollo final del fruto (Whiting y Lang, 2004; Neilsen *et al.*, 2016). Fallahi *et al.* (2014), reportan que con el cv. Pacific Gala/B.9, los árboles y el tamaño del fruto fueron pequeños, sin embargo, presentaban un patrón alto de degradación del almidón del fruto, lo que sugiere una madurez precoz con este portainjerto.

Así también el tamaño y peso de los frutos del ciclo 2019 pudieron ser afectados por el estrés hídrico durante el desarrollo del fruto. En portainjertos vigorosos se ha reportado que, la aplicación suficiente de agua a los árboles, los frutos del cultivar presentan mayor tamaño (Hrotzkó y Rozpara, 2017). Por otro lado, Robinson *et al.* (2005); Xia *et al.* (2009), sugieren que la carga de cosecha óptima para producir frutos de buen tamaño (180 g) en `Gala´ es de 6 a 8 frutos/cm² de ASTT.

3.6.4.2 Firmeza

La firmeza de los frutos de manzana cv. Brookfield Gala en el ciclo 2018, varió de 140.3 a 150.7 Newtons (N) (Cuadro 3.2), sin diferencias significativas entre tratamientos, aun

cuando `Brookfield Gala´/Bud.9+(EMLA7-2016) tuvo el valor más alto (150.7 Newton). Así también, en el ciclo 2019 no presentó diferencias ($p \leq 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 3.2). Sin embargo, los frutos del 2018 tuvieron mayor firmeza que en 2019, probablemente se debió al estrés hídrico que sufrieron durante el crecimiento del fruto.

Las temperaturas elevadas durante el desarrollo de fruto incrementan el tamaño que las temperaturas frías, pero la firmeza disminuye (Atkinson *et al.*, 2001). Esto se ha atribuido a la respuesta en la pérdida de la integridad de la membrana (Lachpelle *et al.*, 2013) y componentes de la pared celular.

3.6.4.3 Sólidos solubles totales

La concentración de sólidos solubles en el ciclo 2018 estuvo en el intervalo de 15.83 a 17.53 °Brix sin diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 3.2). No obstante `Brookfield Gala´/ Bud.9 tuvo la menor concentración (15.58 °Brix) y ligeramente alta el tratamiento con injerto de aproximación de `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA7 (17.53 °Brix). Hoehn *et al.*, (2003), mencionan que el contenido de sólidos solubles es un indicador del contenido de azúcar de las manzanas.

Así también, en el ciclo 2019 los sólidos solubles totales variaron de 14.36 a 15.13 °Brix, sin diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 3.2). Los sólidos solubles en 2019 fueron ligeramente más bajas que las del 2018, debido probablemente a las condiciones limitantes en cuanto a agua disponible en el suelo, la temperatura o el estado de madurez al momento del corte, así como las deficiencias nutrimentales severas que se presentaron en 2019. En el cv. Pacif Gala/B.9 se ha encontrado menor firmeza (83 N) y con sólidos solubles de 14.3, por lo que el cv. Brookfield Gala tiene mayor concentración de °Brix y mayor firmeza. Estos frutos son más dulces y pueden tener una vida de anaquel más larga. Así también, el contenido de sólidos solubles y acidez titulable pueden determinar la capacidad antioxidante y el sabor (Karav *et al.*, 2015).

Los portainjertos también pueden influir en la composición mineral de las hojas y del fruto, y por lo tanto pueden afectar indirectamente la calidad y el rendimiento de fruto (Fallahi *et al.*, 2001).

Cuadro 3.2. Peso, diámetro polar y ecuatorial, firmeza y sólidos solubles de frutos del manzano cv. Brookfield Gala en respuesta al injerto de aproximación en dos años de producción.

Tratamientos	Peso de frutos (g)		Diámetro polar (mm)		Diámetro ecuatorial (mm)		Firmeza (Newton)		Sólidos solubles totales (°Brix)	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
`Brookfield Gala/Bud.9	64.9b	77.04a ^y	46.4b	49.93ab	49.6b	56.46b	149.2a	113.2a	15.83a	15.10a
`Brookfield Gala/EMLA 7	90.3a	77.46a	51.7a	50.08ab	57.5a	55.41b	140.3a	115.6a	16.75a	15.13a
`Brookfield Gala´/Bud.9 + (EMLA 7-2016)	83.7ab	80.27a	51.4a	51.56a	54.5ab	59.25a	150.7a	115.9a	17.53a	14.36a
`Brookfield Gala´/Bud.9 + (EMLA7-2017)	81.8ab	76.77a	50.8ab	48.10b	55.6ab	57.53ab	146.6a	114.3a	16.83a	15.06a
DHS	20.43	13.68	3.7	2.73	7.21	2.7	14.3	0.49	2.93	1.52

^yMedias con diferentes letras en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

3.6.4.4 Acidez titulable y color

La acidez titulable permite predecir el sabor del fruto (Harker *et al.*, 2002). La concentración de ácido málico varió de 0.66 a 0.73 % en los tratamientos, sin diferencias significativas (Cuadro 3.3). Sin embargo, se observa que `Brookfield Gala´/Bud.9+(EMLA 7-2017) tuvo el valor más alto (0.73%). El ácido málico representa el principal ácido orgánico de los frutos de manzana y su contenido está relacionado en gran medida con la acidez titulable (Markowski *et al.*, 2009). En el cv. Auksis/B.9 reportan acidez titulable de 0.51% (Kviklys *et al.*, 2014), el cual comparado con estos resultados del cv. Brookfield Gala en ambos portainjertos presentan mayores concentraciones. Por lo general, los frutos con mayor contenido de ácido málico tienen excelente sabor (Sha *et al.*, 2011).

Cuadro 3.3. Efecto del injerto de aproximación en la acidez titulable (expresado en ácido málico) y color de frutos del manzano cv. Brookfield Gala en el año de producción 2018.

Tratamientos	Ácido málico (%)	Color L	Color H	Color C
`Brookfield Gala´/Bud.9	0.66a ^y	77.86ab	66.43a	64.00ab
`Brookfield Gala´/EMLA 7	0.70a	88.80a	70.40a	76.30a
`Brookfield Gala´/Bud.9+(EMLA7-2016)	0.66a	67.56b	65.83a	47.90b
`Brookfield Gala´/Bud.9+(EMLA7-2017)	0.73a	70.70b	65.00a	55.10b
DHS	0.27	15.7	6.62	19.07

^yMedias con diferentes letras en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$)

El color de los frutos, varió de 67.56 a 88.80 de luminosidad con diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, siendo superior la combinación `Brookfield Gala´/EMLA7 con respecto a `Brookfield Gala´/Bud.9+(EMLA7-2016 y 2017), mientras que `Brookfield Gala´/Bud.9 tuvo valor intermedio. El ángulo Hue varió de 65 a 70.40, sin diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Por otro lado, de acuerdo al croma, la intensidad del color varió de 47.90 a 46.30, con diferencias significativas. Los tratamientos `Brookfield Gala´/EMLA7 fue superior (76.30) con respecto a los tratamientos con injerto de aproximación de 2016 y 2017, en tanto el tratamiento

Brookfield Gala´/Bud.9 tuvo valor intermedio (Cuadro 3.3). Por lo que, los frutos de mayor intensidad de color se encontraron con el portainjerto EMLA 7. El tamaño y el color son una de las características más importantes para los consumidores (De Salvador *et al.*, 2006).

3.7 CONCLUSIONES

El efecto del portainjerto EMLA7 injertado por aproximación (2016) mejoró el vigor de Brookfield Gala´/Bud 9 reflejado en el área de la sección transversal del tronco y el área foliar.

El rendimiento del cv. Brookfield Gala/Bud.9 tiende a incrementar con el portainjerto EMLA7 injertado por aproximación, sin embargo, este rendimiento aún es lejano al obtenido en los árboles de Brookfield Gala/EMLA 7, pero es mayor que si se usará solo el portainjerto Bud.9.

No se encontraron diferencias en la calidad de fruto por el tipo de portainjerto excepto en el diametro polar y ecuatorial, los cuales fueron afectados positivamente por el injerto de aproximación.

3.8 LITERATURA CITADA

Ackermann, J., M. Fischer, and R. Amado. 1992. Changes in sugars, acids, and amino acids during ripening and storage of apples cv. Lockenapfel. *J. Agr. Food Chem.* 40:1131-1134.

Al-Hinai, Y. K. and T. R. Roper. 2004. Rootstock effects on growth and quality of ‘Gala’ apples. *Hort. Science* 39: 1231-1233.

Amiri M., E. Fallahi, and M. Safi-Songhorabad. 2014. Influence of rootstock on mineral uptake and scion growth of ‘Golden delicious’ and ‘Royal Gala’ apples. *Plant Nutrition*, 37:16-29.

AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis of AOAC. International. Fruits and Fruit Products.* Washington, USA. Pp:829-830.

- Atkinson, C.J., L. Taylor, and G. Kingswell. 2001. The importance of temperature differences, directly alter anthesis, in determining growth and cellular development of *Malus* fruits. *Hort. Sci. Biotechnology*. 76:721-731.
- Autio, W.R., D.W. Greene, and W.J. Lord. 1996. Performance of 'McIntosh' apple trees on seven rootstocks and a comparison of methods of productivity assessment. *Hort. Science*. 31:1160-1163.
- Autio, W.R., J. Krupa, and J. Clements. 2000. Performance of trees in the Massachusetts planting of the 1994 NC-140 apple rootstock trial over seven growing seasons. *Fruit Notes*. 65:1-3.
- Autio, W.R., J.R. Schupp., C.G. Embree, and R.E. Moran. 2003. Early Performance of 'Cortland', 'Macoun', 'McIntosh', and 'Pioneer Mac' Apple Trees on Various Rootstocks in Maine, Massachusetts, and Nova Scotia. *Pomology Society*. 57:7-14.
- Autio, W.R., T.L. Robinson., B. Black., T. Bradshaw., J.A. Cline., R.M. Crassweller., C.G. Embree., E.E. Hoover., S.A. Hoying., K.A. Iungerman., R.S. Johnson., G. Lang., M.L. Parker., R.L. Perry., G.L. Reighard., J.R. Schupp., M. Stasiak., M. Warmund, and D. Wolfe. 2011. Performance of 'Fuji' and 'McIntosh' apple trees after 10 years as affected by several dwarf rootstocks in the 1999 NC-140 Apple Rootstock Trial. *Pomol. Soc.* 65:2-20.
- Auvil, T.D., T.R. Schmidt., I. Hanrahan., F. Castillo., J.R. McFerson., and G. Fazio. 2011. Evaluation of dwarfing rootstocks in Washington apple replant sites. *Acta Hort.* 903:265-271.
- Balkhoven-Baart, J.M.T., P.S. Wagenmakers., J.H. Bootsma., M.J. Groot, and S.J. Wertheim. 1998. Developments in Dutch apple plantings. *Acta Horticulturae*. 513:261-270.
- Ban, Y., S. Kondo., B.E. Ubi., C. Honda., H. Bessho, and T. Moriguchi. 2009. UDP-sugar biosynthetic pathway: contribution to cyaniding 3-galactoside biosynthesis in apple skin. *Plant*. 230:871-881.
- Barrit, B.H., B.S. Konicho, and M.A. Dilley. 1995. Performance of three apple cultivar son 23 dwarfing rootstocks during 8 seasons in Washington. *Fruit Var.* 49:158-170.
- Bassi, G. 2005. Influence of rootstocks on cherry production. *Informatore Agrario*. 61:55-59.
- Brown, S. K., and K. E. Maloney. 2013. An update on apple cultivars, brands and club-marketing. *New York Fruit Quarterly*. 21:3-10.
- Campeanu, G., G. Neata and G. Darjanschi. 2009. Chemical composition of the fruits of several apple cultivars growth as biological crop. *Hortic. Agrobotanici Cluj-Napoca*. 37:161-164.
- Carew, R., and E.G. Smith. 2004. The value of apple characteristics to wholesalers in western Canada: a hedonic approach. *Plant Sci.* 84:829-835.

- Chalmers, D. J., P.D. Mitchell, and L. Van-Heek. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, plant density and summer pruning. *American Society for Horticultural Science*. 106: 307-312.
- Costes, E. and E. Garcia-Villanueva. 2007. Clarifying the effects of dwarfing rootstock on vegetative and reproductive growth during tree development: A study on apple trees. *Annals of Botany*. 100: 347-357.
- Curry, E.A., 1997. Temperatures for optimum anthocyanin accumulation in apple tissue. *J. Hortic. Sci.* 72, 723–729.
- De Salvador, F.R., M. Fisichella, and M. Fontanari. 2006. Correlations between fruit size and fruit quality in apple trees with high and standard crop load levels. *Fruit Ornam. Plant Res.* 14:113-122.
- DeJong, T.M., R.S. Johnson., J.F. Doyle., A. Weibel., L. Solari., J. Marsal., B. Basile., D. Ramming, and D. Bryla. 2004. Growth, yield and physiological behavior of size-controlling peach rootstocks developed in California. *Acta Hortic.* 658:449-455.
- Dobrzański, B., J. Rabcewicz, and R. Rybczyński. 2006. Handling of Apple – Transport Techniques and Efficiency Vibration, Damage and Bruising Texture, Firmness and Quality, first ed. Bogdan Dobrzański Institute of Agrophysics Polish Academy of Sciences, Lublin, Poland p. 234.
- Drogoudi, P.D., Z. Michailidis, and G. Pantelidis. 2007. Peel and flesh antioxidant content and harvest quality characteristics of seven apple cultivars. *Sci. Hortic.* 115:149-153.
- Fallahi, E., B. Fallahi, and M.E. Amiri. 2014. Rootstock and ET-Based Irrigation Effects on Mineral Nutrition, Yield and Harvest Quality over Different Seasons in ‘Pacific Gala’ Apple. *Acta Hort.* 1058: 477-483.
- Fallahi, E., Ik-Jo- Chun., G. H. Neilsen., and W.M. Colt. 2001. Effects of three rootstocks on photosynthesis, leaf mineral nutrition, and vegetative growth of ‘BC-2 Fuji’ apple trees. *Plant Nutrition*. 24:827-834.
- Fallahi, E., W.M. Colt., B. Fallahi, and I.J. Chun. 2002. The importance of apple rootstock on tree growth, yield, fruit quality, leaf nutrition, and photosynthesis with an emphasis on ‘Fuji’. *Hort. Technology*. 12:38-44.
- FAOSTAT, 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crops Production. 10 Nov 2017. <<http://www.fao.org>>.
- Francesconi, A.H.D., C.B. Watkins., A.N. Lakso., J.P. Nyrop, J. Barnard and S.S. Denning. 1996. Interactions of European red mite and crop load on maturity and quality, mineral concentrations, and economic value of ‘Starkrimson Delicious’ apples. *Hortic. Sci.* 121: 967-972.
- Gjamovski, V. and M. Kiprijanovski. 2011. Influence of nine dwarfing apple rootstocks on vigour and productivity of apple cultivar ‘Granny Smith’. *Scientia Horticulturae*. 129:742-746.

- Gjamovski, V., M. Kiprijanovski and T. Arsov. 2013. Fruit Quality Parameters of Apple Cultivar 'Granny Smith' Produced on Nine Different Dwarfing Rootstocks. *Acta Hort.* 981:581-586.
- Goedegebure, J. 1978. Business-economic aspects of high density plantings in the Netherlands. *Acta Hort.* 65:21-29.
- Hampson, C.R., and H. Kemp. 2003. Characteristics of important commercial apple cultivars. pp 61-89. In: Ferree, D.C., Warrington, I.J. (Eds.), *Apples: Botany, Production and Uses*. CAB International, UK.
- Hampson, C.R., H.A. Quamme., and R.T. Brownlee. 2002. Canopy Growth, Yield, and Fruit Quality of 'Royal Gala' Apple Trees Grown for Eight Years in Five Tree Training Systems. *Hort. Sci.* 37:627-631.
- Harker, F.R., J. Maindonald., S.H. Murray., F.A. Gunson., I.C., Hallett., and S.B. Walker. 2002. Sensory interpretation of instrumental measurements 1: Texture of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology.* 24:225-239.
- Hierit, P. M. and R. R. Flowers. 2000. Rootstock effects on growth and cell size of 'Gala' apple fruit. *Acta Horticulturae* 517:189-194.
- Hirst, P.M. and NC-140 Cooperators. 2001. Early performance of 'Gala' on dwarf and 4 semi-dwarf rootstocks at 24 sites in North America. *Acta Hort.* 557: 199-205.
- Hoehn, E., F. Gasser., B. Guggenbühl., and U. Künsch. 2003. Efficacy of instrumental measurements or determination of minimum requirements of firmness, soluble solids, and acidity of several apple varieties in comparison to consumer expectations. *Postharv. Biol. and Tech.* 27:27-37.
- Honda, C., N. Kotoda., M. Wada., S. Kondo., S. Kobayashi., J. Soejima., Z. Zhang., T. Tsuda., and T. Moriguchi. 2002. Anthocyanin biosynthetic genes are coordinately expressed during red coloration in apple skin. *Plant Physiol. Biochem.* 40:955-962.
- Hrotkò, K., and E. Rozpara. 2017. Rootstocks and improvement. In: Quero-García, J., Iezzoni, A., Pulawska, J., Lang, G. (Eds.), *Cherries Botany, Production and Uses*, pp. 117–139.
- Iglesias, I., J. Carbó., J. Bonany., R. Dalmau., G. Guanter., R. Montserrat., A. Moreno., and J. Pages. 2000. *Manzano; las variedades de más interés*. Barcelona. IRTA. 240 p.
- Inglese, P., T. Caruso., G. Gugliuzza., and L.S. Pace. 2002. Crop load and rootstock influence on dry matter partitioning in trees of early and late ripening peach cultivars. *Hort. Sci.* 127:825–830.
- Jackson, J.E. 1989. World-wide development of high density planting in research and practice. *Acta Hort.* 243:17-27.
- Karav, S., A.O. Arikal., and A. Eksi. 2015. Apple Peel is a Promising Source of Natural Bioactive Compounds That Promote Human Health. *Food Nutrit. Res.* 3:624-628.
- Krishnaprakash, M.S., B. Aravindaprasad., and C.A. Krishnaprasad. 1983. Effect of apple position on the tree on maturity and quality. *Hort. Sci.* 58:31-36.

- Kviklys, D., N. Kviklienė., A. Bite., J. Lepsis., T. Univer., N. Univer., N. Uselis., J. Lanauskas, and L. Buskienė. 2012. Baltic fruit rootstock studies: evaluation of 12 apple rootstocks in North-East Europe. *Hortic. Sci.* 39:1-7.
- Kviklys, D., P. Viskelis., M. Rubinskienė., N. Kviklienė., M. Liaudanskas, J. Lanauskas, and V. Janulis. 2014. Rootstock Affects Apple Fruit Biochemical Content: Preliminary Results. *Acta Hortic.* 1058:595-599.
- Kviklys, D., T. L. Robinson, and G. Fazio. 2016. Apple rootstock evaluation for Apple replant disease. *Acta Hortic.* 1130:425-430.
- Lachapelle, M., G. Bourgeois., and J.R De-Ell. 2013. Effects of postharvest weather conditions on firmness of 'McIntosh' apples at harvest time. *Hort Sci.* 48:474-480.
- Lakso, N.A., and N.J. Wünsche. 2000. Apple tree physiology—implications for orchard and tree management. *The Compact Fruit Tree.* 33:82–88.
- Lanauskas, J., N. Uselis., D. Kviklys., N. Kviklienė, and L. Buskienė. 2012. Rootstock effect on the performance of sweet cherry cv. Lapins. *Hort. Sci.* 39: 55-60.
- Lang, G.A. 2000. Precocious, dwarfing, and productive how will new cherry rootstocks impact the sweet cherry industry? *Hort. Technology.* 10:719–725.
- Lang, G.A., S. Blatt., C. Embree., J. Grant., S. Hoying., C. Ingels., D. Neilsen., G. Neilsen, and T. Robinson. 2014. Developing and evaluating intensive sweet cherry orchard systems: The NC140 regional research trial. *Acta Hortic.*1058:113–120.
- Lauri, P.E., M. Willaume., G. Larrive., and J.M. Lespinasse. 2004. The concept of centrifugal training in apple aimed at optimizing the relationship between growth and fruiting. *Acta Hortic.* 636:35-42.
- Lebese, T., P.J.C. Stassen, and J. Wooldridge. 2014. Effects of water and nutrient application frequency on yield, root growth and water usage by 'Brookfield Gala' apple trees. *Acta Hortic.* 1058:185-191.
- Lin-Wang, K., D. Micheletti., J. Palmer., R. Volz., L. Lozano., R. Espley., R. Hellens., R. P. Chagnè D. Rowan D. D. Troggio M. Iglesiasl. A.C. Allan. 2011.High temperature reduces apple fruit colour via modulation of the anthocyanin regulatory complex. *Plant Cell Environ.*34:1176-1190.
- Lo Bianco, R., M. Policarpo, and L. Scariano. 2003. Effects of rootstock vigour and in-row spacing on stem and root growth, conformation and dry-matter distribution of young apple trees. *Horticultural Science and Biotechnology.* 78:828-836.
- Lord, W.J., D.W. Greene, R.A. Damon, Jr, and J.H. Baker. 1985. Effects of stempiece and rootstock combinations on growth, leaf mineral concentrations, yield, and fruit quality of 'Empire' apple trees. *Soc. Hortic. Sci.* 110:422-425.
- Marini, R.P., J.L. Anderson, W.R. Autio, B.H. Barritt, J. Cline, W.P. Cowgill, Jr, R.M. Crassweller, P.A. Domoto, D.C. Ferree, J. Garner, A. Gauss, G.M. Greene, C. Hampson, P. Hirst, M.M. Kushad, E. Mielke, C.A. Mullins, M. Parker, R.L. Perry, J.P. Privé, G.L. Reighart, T. Robinson, C.R. Rom, T. Roper, J.R. Schupp, E. Stover, and R. Unrath. 2000.

- Performance of 'Gala' apple on 18 dwarf rootstocks: five-year summary of the 1994 NC-140 dwarf rootstock trial. *Pomol. Soc.* 54:92-107.
- Marini, R.P., R. Moran., C. Hampson., M. Kushad., R.L. Perry, and T.L. Robinson. 2008. Effect of dwarf rootstocks on average 'Gala' fruit weight in six locations over three seasons. *Pomol. Soc.* 62:129-136.
- Markowski J., A. Baron., M. Mieszczakowska., and W. Płocharski. 2009. Chemical composition of French and Polish cloudy apple juices. *Horticultural Science and Biotechnology. Special Issue*:68-74.
- Markuszewski, B., and J. Kopytowski. 2008. Transformations of chemical compounds during apple storage. *Scientific Works of the Lithuanian Institute of Horticulture and Lithuanian University of Agriculture. Sodininkyste Ir Daržininkyste.* 27:329-338.
- McCann, M., C. Gill., G. O'Brien., J. Rao., W. McRoberts., P. Hughes., R. McEntee., I. Rowland. 2007. Anti-cancer properties of phenolics from apple waste on colon carcinogenesis in vitro. *Food Chem. Toxicol.* 45:1224-1230.
- Milosevic, T., N. Milosevic and J. Mladenovic. 2018. Role of apple clonal rootstocks on yield, fruit size, nutritional value and antioxidant activity of 'Red Chief Camspur' cultivar. *Scientia Horticulturae.* 236:214-221.
- Morandi, B., L. Manfrini., S. Lugli., A. Tugnoli., A. Boini., D. Demetrio Perulli., K. Bresilla., M. Venturi and L. Corelli Grappadelli. 2019. Sweet cherry water relations and fruit production efficiency are affected by rootstock vigor. *Plant Physiology.* 237:43-50.
- Murtic, S., H. Civic., M. Duric., G. Sekularac., R. Kojovic., M. Kulina., and M. Krsmanovic. 2012. Foliar nutrition in apple production. *African Journal of Biotechnology.* 11:10462-10468.
- Muzher, B.M., R.A.A Younis., O.E. Halabi, and O.M. Ismail. 2007. Genetic identification of some Syrian local (*Malus* spp.) cultivars using molecular markers. *Res. J. Agri. Bio. Sci.* 3:704-713.
- Neilsen, D., G.H. Neilsen., T. Forge., and G.A. Lang. 2016. Dwarfing rootstocks and training systems affect initial growth, cropping and nutrition in 'Skeena' sweet cherry. *Acta Hort.* 1130:199-205.
- Norelli, J.L., H. T Holleran., W. C. Johnson., T. L. Robinson and H. S. Aldwinckle. 2003. Resistance of Geneva and other apple rootstocks to *Erwinia amylovora*. *Plant Dis.* 87:26-32.
- Nour, V., I. Trandafir and M-E. Ionica. 2010. Compositional Characteristics of Fruits of several Apple (*Malus domestica* Borkh.) Cultivars. *Not. Bot. Hort. Agrobot.* 38:228-233.
- Olmstead, A. M., N.S. Lang., A.G. Lang., F.W. Ewers, and S.A. Owens. 2006. Examining the vascular pathway of sweet cherry grafted onto dwarfing rootstocks. *Hort Sci.* 41: 678.
- Olmstead, M.A., N.S. Lang, and G.A. Lang. 2010. Carbohydrate profiles in the graft union of young sweet cherry trees grown on dwarfing and vigorous rootstocks. *Sci. Hortic.* 124:78-82.

- Parra-Q, R., y V. M. Guerrero. 1994. Influencia de portainjertos clonales para manzano sobre adaptación, dimensiones y producción del árbol. Folleto Científico No.2 CESICH, CIRNOC, INIFAP. P 21.
- Reig, G., J. Lordan., G. Fazio., M. A. Grusak., S. Hoying., L. Cheng., P. Francescato, and T. Robinson. 2017. Horticultural performance and elemental nutrient concentrations on 'Fuji' grafted on apple rootstocks under New York State climatic conditions. Hort. Sci. 227:22-37.
- Robinson, T. L. 2007. Recent advances and future directions in orchard planting systems. Acta Hort. 732:367-381.
- Robinson, T. L., S. Hoying., M. Fargione, and K. Lungerman. 2003. On- Farm Trial of the Cornell Geneva Apple Rootstocks in New York. Compact Fruit Tree. 36:70-73.
- Robinson, T.L., J. Schupp., M. Fargione and J. Osborne. 2005. Growing large 'Gala' apples. Compact Fruit Tree. 38:2-5.
- Romero, L. D., R. A. Parra-Q., J. L. Jacobo-C., D. L. Ojeda-B., V. M. Guerrero-P., G. D. Ávila-Q y T. J. Ruiz-A. 2017. Respuesta de portainjertos de manzano a vigor, eficiencia de producción y concentraciones foliar y en fruto de NPK. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 8:849-861.
- Samuolienė, G., A. Viskelienė., R. Sirtautas., and D. Kviklys. 2016. Relationships between apple tree rootstock, crop-load, plant nutritional status and yield. Scientia Horticulturae. 211:167-173.
- Sansavini, S. and L. Corelli. 1989. The international planting systems trial at Bologna. Acta Horticulturae. 243-253.
- Sarwar, M., R.M. Skirvin, M. Kushad, and M.A. Norton. 1998. Selecting dwarf apple (*Malus domestica* Borkh.) trees in vitro: Multiple cytokinin tolerance expressed among three strains of 'McIntosh' that differ in their growth habit under field conditions. Plant Cell Tissue Organ Cult. 54:71–76.
- Sha, S., J. Li., J. Wu., and S. Zhang. 2011. Characteristics of organic acids in the fruit of different pear species. Agric. Res. 6:2403-2410.
- SIAP, 2016. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. 09-Nov-2017. <<https://www.siap.gob.mx>>.
- Steyn W., D. Holcroft., S. Wand, and G. Jacobs G. 2005. Red colour development and loss in pears. Acta Horticulturae. 671 79-85.
- Tazima, Z.H., C.S.V.J. Neves., I.F.U. Yada, and R.P. Leite-Júnior. 2013. Performance of 'Okitsu' Satsuma mandarin on nine rootstocks. Sci. Agric. 70:422-427.
- Tombesi, S., A. Almehdi, and T. M. DeJong. 2011. Phenotyping vigour control capacity of new peach rootstocks by xylem vessel analysis. Sci. Hort. 127:353-357.
- Treder, W., A. Mika, and D. Krzewińska. 2010. Relations between tree age, fruit load and mean fruit weight. Fruit Ornament Plant Res. 18:139-149.

- Treutter, D. 2001. Biosynthesis of phenolic compounds and its regulation in apple. *Plant Growth Regul.* 34:71-89.
- Tworkoski, T. and S. Miller. 2007. Rootstock effect on growth of apple scions with different growth habits. *Sci. Hortic.* 111:335-343.
- Wang, K.L., D. Micheletti., J. Palmer., R. Volz., L. Lozano., R. Espley., R.P Hellens., D. Chagne., D.D. Rowan, and M. Troglio. 2011. High temperature reduces apple fruit colour via modulation of the anthocyanin regulatory complex. *Plant Cell Environ.* 34:1176-1190.
- Warrington, I.J., C.J. Stanley., D.S. Tustin., P.M. Hirst, and W.M. Cashmore. 1996. Light transmission, yield, distribution and fruit quality in six tree canopy forms of 'Granny Smith' apple. *Tree Fruit Prod.* 1:27-54.
- Webster, A. D and S. J. Wertheim. 2003. Apple rootstocks. In Ferree DC and Warrington IJ (ed.) *Apple: botany, production and uses.* CABI Publishing, Cambridge, p. 91-124.
- Webster, T. 2002. Dwarfing rootstocks: past, present and future. *The Compact Fruit Free.* 35:67-72.
- Wertheim, S.J., S. Morini and F. Loreti, F. 1989. Effect of M.27 and M.9 used as rootstock and interstem on apple tree behaviour in two different growing conditions. *Acta Hortic.* 243:37-50.
- Whiting, M.D. and G. A. Lang. 2004. 'Bing' sweet cherry on the dwarfing rootstock Gisela 5: thinning affects fruit quality and vegetative growth, but not net CO₂ exchange. *Hortic. Sci.* 129: 407-415.
- Wünsche, J. N. and J.W. Palmer. 2000. Effects of crop load on fruiting and gas exchange characteristics of 'Braeburn'/M.26 apple tree at full canopy. *Hort. Sci.*125: 93-99.
- Wünsche, J.N., D.H. Greer., W.A. Laing., and J.W. Palmer. 2005. Physiological and biochemical leaf and tree responses to crop load in apple. *Tree Physiol.* 25:1253-1263.
- Xia, G., L. Cheng., A. Lakso, and M. Goffinet. 2009. Effects of Nitrogen Supply on Source-sink Balance and Fruit Size of 'Gala' Apple Trees. *Hortic. Sci.* 134:126-133.
- Ystaas, J., O. Froynes, and M. Meland. 1997. Evaluation of 9 apple rootstocks the first cropping years in northern climate. *Acta Hortic.* 451:147-152.
- Yuri, J.A., J. González-Talice., J. Verdugo, and A. del Pozo. 2011. Responses of fruit growth, quality, and productivity to crop load in apple cv. Ultra Red Gala/MM111. *Sci. Hortic.* 127:305-312.
- Zurawicz, E. and M. Lewandowski. 2014. Controlled freezing as a low-temperature toleranc test for apple rootstocks. *Act Hortic.* 1058:451–458.

CONCLUSIONES GENERALES

El método empleado para describir la dinámica de crecimiento anual de raíces en manzano permitió hacer una caracterización, sin embargo, por el tamaño de la trinchera dificultó hacer evaluaciones de crecimientos precisos, lo que habría que considerar en futuros trabajos cuando se quiera estudiar crecimiento de raíces en altas densidades.

Con relación al injerto de aproximación y de acuerdo a lo observado en los árboles no se puede afirmar que la unión con el cultivar sea plena por lo que se deben realizar cortes anatómicos para verificar que los haces vasculares tienen buen funcionamiento en el transporte de agua y nutrimentos.

Los portainjertos enanizantes son eficientes en la nutrición, rendimiento y calidad del fruto en condiciones de suelo sin limitaciones físicas. En el injerto por aproximación empleando un portainjerto vigoroso puede ser la opción para recuperar el vigor de un portainjerto enanizante en un suelo somero, sin embargo, de acuerdo a nuestros resultados se requiere más tiempo para afirmar que esta estrategia sea exitosa.

ANEXOS

Anexo 1. Perfil de un suelo somero con cinco horizontes a la profundidad de 80 cm, en el cultivo de manzano cv. Brookfield Gala en Aquixtla, Puebla.



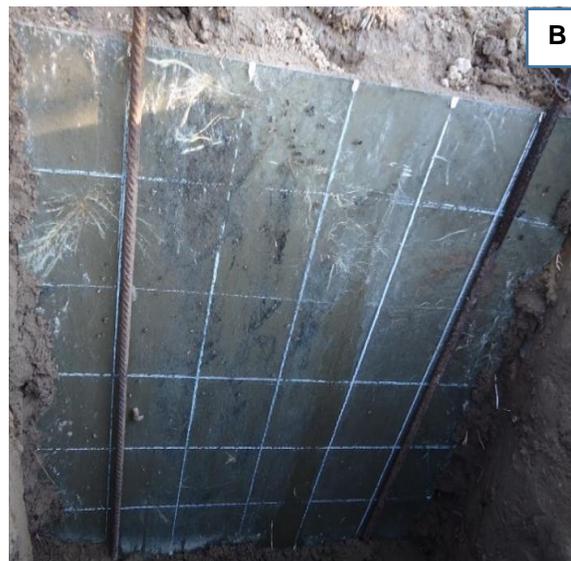
Anexo 2. Dinámica del crecimiento anual de raíces en árboles de manzano cv. Brookfield Gala/Bud.9, Brookfield Gala/EMLA 7, y con injerto de aproximación del portainjerto EMLA 7, establecido en 2016 y 2017.

` Brookfield Gala´/Bud 9 (A-D)

` Brookfield Gala´/EMLA 7 (E-J)

` Brookfield Gala´/Bud 9+EMLA 7-2016 (K-O)

` Brookfield Gala´/Bud 9+EMLA 7-2017 (P-V)

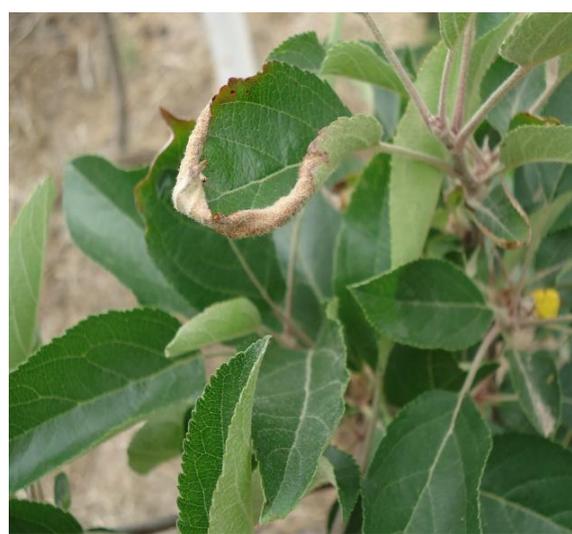








Anexo 3. Deficiencia de K en hojas de manzano cv. Brookfield Gala, en diferente grado a los 24 y 48 DDPF.



Anexo 4. Vigor y producción de los árboles de manzano A) `Brookfield Gala´/EMLA 7; B) `Brookfield Gala´/Bud.9; C) `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA 7-2016 y D) `Brookfield Gala´/Bud.9+EMLA 7-2017.

