



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) Cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia**

**Ana María Granados Hurtado**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Departamento de Ciencias Agronómicas  
Medellín  
2013

# **Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) Cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia**

**Ana María Granados Hurtado**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Ciencias Agrarias**

Director:

Ph.D., José Régulo Cartagena Valenzuela

Codirector:

Ph.D. Alexander Rebolledo Roa

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Departamento de Ciencias Agronómicas  
Medellín  
2013

## **Dedicatoria**

**A Dios quien me dio la fuerza, valentía y sabiduría para lograr esta meta. “Él no da oportunidades si no tienes las capacidades para realizarlo,” gracias Señor. Esto es para ponerlo al servicio de tus elegidos “los menos favorecidos” “Bienaventurados los pobres de espíritu porque de ellos es el Reino de los Cielos”**

**A mis padres Luis y Luz quienes me brindaron todo su apoyo moral, económico en este proceso, mis hermanos Sara y Luchito por la compañía y amor, a mi enamorado Héctor quien siempre me comprendió y colaboró, a mi sobrino Tomas por ser mi alegría. A todos gracias por tener siempre fe en mí. Los amo.**

## Agradecimientos

Al Doctor Alexander Rebolledo Roa por la oportunidad, confianza y apoyo académico para la consolidación del Proyecto.

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural- MADR, por la financiación al proyecto “Ecofisiología y nutrición del aguacate: Herramientas para incrementar el rendimiento y la calidad en las zonas productoras de Colombia”, ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, quien financio el presente trabajo de tesis.

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA C.I. Palmira.

Al Doctor José Régulo Cartagena Valenzuela, Director y docente quien estuvo presente desde el inicio de mi formación y me apoyo para la consecución de esta meta.

Al Área Curricular Producción Agraria Sostenible de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

A Enrique Balaguera López por su asesoría en estadística.

A José Miguel, Catalina, Johon, quienes con su asesoría y colaboración hicieron posible este trabajo.

A mis amigos y familiares, quienes con su fe en mí, me brindaron la mejor energía para que no desfalleciera en este camino que inicio con una carrera y que aún me falta mucho por recorrer.

## Resumen

El aguacate (*Persea americana* Mill) es originario de América Central. Colombia ocupa el segundo lugar en rendimiento por unidad de área con  $10,8 \text{ t ha}^{-1}$  superado por Israel con  $11,2 \text{ t ha}^{-1}$ , cuando el promedio mundial es de  $7,8 \text{ t ha}^{-1}$ . Esta diferencia que se presenta aún bajo condiciones de desarrollo natural, sugiere las ventajas comparativas que presenta Colombia en relación con la oferta medioambiental requerida para alcanzar el potencial productivo de la especie. Se ha hecho evidente la disponibilidad de pocos estudios sobre nutrición de aguacate en el Trópico, debido a que la mayoría de las investigaciones han estado encausadas en determinar los factores fisiológicos que impiden el óptimo rendimiento del aguacate. El objetivo de esta investigación fue realizar el estudio de factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate cv. Lorena, bajo las condiciones del norte del Tolima.

La investigación se realizó en la vereda Pantano Grande, situada en el municipio de San Sebastián de Mariquita (Tolima), se escogieron e identificaron árboles prototipo del cv. Lorena de 8 años de edad. Las variables se evaluaron durante dos ciclos productivos, abril-agosto del año 2009 y abril-septiembre del 2011. Se determinaron tres fases de crecimiento y desarrollo del fruto, crecimiento lento (hasta 50 días después de anthesis dda), lineal (hasta 119 dda) y maduración (hasta 137 dda). Se encontró que la mayor etapa de abscisión de estructuras reproductivas fue en la de crecimiento lento con una abscisión acumulada de 98% a los 20 daa y una abscisión relativa de hasta 14%/d. Los contenidos nutricionales durante el crecimiento y desarrollo del fruto fueron bajos (con Índice de balance entre 0 a 40). Los análisis de suelos y foliares mostraron que las etapas de mayor demanda fueron las de crecimiento lento y lineal; respecto a la

extracción de nutrientes en el fruto, se observó que los contenidos fueron más altos durante la etapa de crecimiento lento respecto a las etapas posteriores, ya que a medida que se desarrolló el fruto, estos disminuyeron progresivamente así: N en crecimiento lento 3,13%, disminuyó a 1,11% en maduración, P en crecimiento lento 0,38%, disminuyó a 0,15% en maduración, Mg 0,3% a los 28 daa disminuyó a 0,1% en maduración, Mn de 31,2 mg kg<sup>-1</sup> a 28 dda bajó a 7,79 mg kg<sup>-1</sup> a los 118 dda, B 118 mg kg<sup>-1</sup> a 42 dda a 77,3 mg kg<sup>-1</sup> a los 130 dda.

**Palabras clave:** Abscisión, nutrición, extracción, frutales tropicales.

## Abstract

The avocado (*Persea americana* Mill) is native to Central America. Colombia ranks second in yield per unit area with  $10.8 \text{ t ha}^{-1}$  surpassed by Israel with  $11.2 \text{ t ha}^{-1}$ , when the world average is  $7.8 \text{ t ha}^{-1}$  (Rodríguez *et al.*, 2009). This difference occurs even under conditions of natural development, suggests the comparative advantages of Colombia in relation to environmental supply required to achieve the productive potential of the species. It has become apparent availability of few studies on avocado nutrition in the tropics, because most of the research has been indicted in determining the physiological factors that impede the optimal performance of the avocado. The aim of this investigation was to study nutritional factors that determine the behavior of avocado productive cv. Lorena, under the conditions of northern Tolima.

The research was conducted in the Vereda Pantano Grande, located in the town of San Sebastián de Mariquita (Tolima), were selected and identified prototype trees cv. Lorena 8 years old. The variables were evaluated for two production cycles, from April to August 2009 and from April to September 2011. Three phases of growth and development of fruit, slow linear growth and maturation were determined. It was found that the higher stage of reproductive structures was abscission in slow growing. The nutrient content during growth and development of fruit were low. The soil and foliar analysis showed that the periods of high demand were slow and linear growth; regarding the extraction of nutrients in the fruit, it was found that the contents were high during the period of slow growth and half that developed the fruit, these gradually decreased .

**Keywords:** Abscission, nutrition, extraction, tropical fruit.

# Contenido

	<b>Pág.</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>2</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>4</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>6</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>8</b>
<b>1. Objetivos</b> .....	<b>14</b>
1.1 General .....	14
1.2 Específicos .....	14
<b>2. Marco de referencia</b> .....	<b>1</b>
2.1 Producción de aguacate en Colombia .....	1
2.2 Características generales del aguacate.....	1
2.2.1 Origen y distribución .....	1
2.2.2 Morfología y taxonomía.....	2
2.3 Crecimiento y desarrollo.....	4
2.3.1 Etapas y flujos de crecimiento .....	4
2.3.2 Floración .....	6
2.3.3 Cuajado de frutos y caída de órganos reproductivos .....	7
2.3.4 Crecimiento y desarrollo del fruto .....	10
2.4 Factores que determinan el comportamiento productivo del aguacate .....	11
2.4.1 Relaciones nutrimentales .....	11
2.4.2 Macronutrientes.....	14
2.4.3 Micronutrientes .....	17
2.4.4 Nutrientes en el fruto .....	20
2.4.5 Antecedentes nutricionales .....	25
2.4.6 Factores climáticos.....	28
<b>3. Materiales y métodos</b> .....	<b>32</b>
3.1 Localización .....	32
3.2 Métodos .....	33
3.2.1 Abscisión global (acumulada y relativa).....	33
3.2.2 Crecimiento y desarrollo del fruto .....	34

3.2.3	Análisis foliar.....	36
3.2.4	Análisis de suelo.....	36
3.2.5	Nutrientes en pulpa .....	37
3.3	Análisis estadístico .....	37
<b>4.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>38</b>
4.1	Comportamiento productivo del aguacate .....	38
4.1.1	Abscisión global (acumulada y relativa).....	38
4.1.2	Crecimiento y desarrollo del fruto .....	40
4.2	Relaciones nutrimentales .....	52
4.2.1	Evolución de nutrientes a nivel foliar .....	52
4.2.2	Índice de balance de nutrientes .....	68
4.2.3	Características fisicoquímicas del suelo .....	76
4.2.4	Curva de extracción de nutrientes del fruto .....	83
<b>5.</b>	<b>Discusión.....</b>	<b>89</b>
5.1	Comportamiento productivo del aguacate .....	89
5.1.1	Abscisión global (acumulada y relativa).....	89
5.1.2	Crecimiento y desarrollo del fruto .....	92
5.2	Relaciones nutrimentales .....	94
5.2.1	Evolución de nutrientes a nivel foliar: Índice de Balance .....	94
5.2.2	Características fisicoquímicas del suelo .....	100
5.2.3	Curva de extracción de nutrientes del fruto .....	105
<b>6.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>108</b>
6.1	Conclusiones .....	108
6.2	Recomendaciones.....	110
<b>7.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>111</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 3-1:</b> Disposición de la polisombra para la colecta de estructuras reproductivas con el fin de determinar la abscisión global en aguacate cv. Lorena.....	33
<b>Figura 3-2:</b> Selección y marcado de inflorescencias de aguacate cv. Lorena. ....	33
<b>Figura 4-1:</b> Abscisión acumulada y relativa durante el desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2009. ....	38
<b>Figura 4-2:</b> Abscisión acumulada y relativa durante el desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena. Año 2011. ....	39
<b>Figura 4-3:</b> Fases de desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2009, con base en el comportamiento de: A. Peso seco total; B. TAC y TRC. Las barras verticales indican el error estándar (n=5). ....	41
<b>Figura 4-4:</b> Fases de desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2009, con base en el comportamiento de: A. Peso seco de semilla; B. TAC y TRC. Las barras verticales indican el error estándar (n=5). ....	42
<b>Figura 4-5:</b> Fases de desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2009, con base en el comportamiento de: A. Peso seco de pulpa; B. TAC y TRC. Las barras verticales indican el error estándar (n=5). ....	43
<b>Figura 4-6:</b> Fases de desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2009, con base en el comportamiento de: A. Diámetro ecuatorial; B. TAC y TRC. Las barras verticales indican el error estándar (n=5). ....	44
<b>Figura 4-7:</b> Fases de desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2009, con base en el comportamiento de: A. Diámetro longitudinal; B. TAC y TRC. Las barras verticales indican el error estándar (n=5). ....	45
<b>Figura 4-8:</b> Fases de desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2011, con base en el comportamiento de: A. Peso seco total; B. TAC y TRC. Las barras verticales indican el error estándar (n=5). ....	47
<b>Figura 4-9:</b> Fases de desarrollo del fruto de aguacate variedad Lorena, año 2011, con base en el comportamiento de: A. Peso seco de semilla; B. TAC y TRC. Las barras verticales indican el error estándar (n=5). ....	48
<b>Figura 4-10:</b> Fases de desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2011, con base en el comportamiento de: A. Peso seco de pulpa; B. TAC y TRC. Las barras verticales indican el error estándar (n=5). ....	49

<b>Figura 4-11:</b> Fases de desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2011, con base en el comportamiento de: A. Diámetro ecuatorial; B. TAC y TRC. Las barras verticales indican el error estándar (n=5).....	50
<b>Figura 4-12:</b> Fases de desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2011, con base en el comportamiento de: A. Diámetro longitudinal; B. TAC y TRC. Las barras verticales indican el error estándar (n=5). .....	51
<b>Figura 4-13:</b> Contenido foliar de nutrientes mayores en hojas provenientes de brotes reproductivos y hojas provenientes de brotes vegetativos de árboles de aguacate cv. Lorena, año 2009, durante el crecimiento y desarrollo del fruto. A. Nitrógeno, B. Potasio, C. Fósforo, D. Calcio, E. Magnesio y F. Azufre. ....	55
<b>Figura 4-14:</b> Contenido foliar de nutrientes mayores en brotes reproductivos y hojas de árboles de aguacate cv. Lorena, año 2011, durante el crecimiento y desarrollo del fruto. A. Nitrógeno, B. Potasio, C. Fósforo, D. Calcio, E. Magnesio y F. Azufre. ....	58
<b>Figura 4-15:</b> Contenido foliar de nutrientes menores en hojas de brotes reproductivos y brotes vegetativos de árboles de aguacate cv. Lorena, año 2009, durante el crecimiento y desarrollo del fruto. A. Sodio, B. Hierro, C. Manganeso, D. Boro, E. Zinc y F. Cobre.....	62
<b>Figura 4-16:</b> Contenido foliar de nutrientes menores en hojas de árboles de aguacate cv. Lorena, año 2011, durante el crecimiento y desarrollo del fruto. A. Sodio, B. Hierro, C. Manganeso, D. Boro, E. Zinc y F. Cobre. ....	66
<b>Figura 4-17:</b> Índice de balance de nutrientes mayores (A) y menores (B) en hojas provenientes de yemas reproductivas durante el crecimiento y desarrollo de frutos de aguacate cv. Lorena, año 2009.....	69
<b>Figura 4-18:</b> Índice de balance de nutrientes mayores (A) y menores (B) en hojas provenientes de yemas vegetativas durante el crecimiento y desarrollo de frutos de aguacate cv. Lorena, año 2009.....	71
<b>Figura 4-19:</b> Índice de balance de nutrientes mayores (A) y menores (B) en hojas provenientes de yemas reproductivas durante el crecimiento y desarrollo de frutos de aguacate cv. Lorena, año 2011.....	73
<b>Figura 4-20:</b> Índice de balance de nutrientes mayores (A) y menores (B) en hojas provenientes de yemas vegetativas durante el crecimiento y desarrollo de frutos de aguacate cv. Lorena, año 2011.....	75
<b>Figura 4-21:</b> Contenido en pulpa de nutrientes mayores en árboles de aguacate cv. Lorena, año 2009, durante el crecimiento y desarrollo del fruto. A. Nitrógeno, B. Potasio, C. Fósforo, D. Calcio, E. Magnesio.....	84
<b>Figura 4-22:</b> Contenido en pulpa de nutrientes menores en árboles de aguacate cv. Lorena, año 2009, durante el crecimiento y desarrollo del fruto. A. Hierro, B. Manganeso, C. Boro, D. Zinc y E. Cobre.....	87

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1-1:</b> Composición química y valor nutricional del aguacate (Gutiérrez y Contreras, 2009) .....	9
<b>Tabla 2-1:</b> Agrupación de los nutrientes de acuerdo al tipo de funciones en la planta (Mengel y Kirkby, 2000).....	12
<b>Tabla 2-2:</b> Movilidad de los elementos nutricionales en la planta de aguacate (Salazar-García, 2002).....	22
<b>Tabla 2-3:</b> Nutrientes y su efecto sobre algunas características del fruto de aguacate (Salazar-García, 2002).....	24
<b>Tabla 2-4:</b> Factores que afectan las concentraciones de nutrientes en las hojas de aguacate (Gardiazabal, 2011).....	25
<b>Tabla 3-1:</b> Ecuaciones utilizadas para determinar TAC y TRC.....	34
<b>Tabla 3-2:</b> Valores estándar (S) y coeficientes de variación (CV) utilizados para calcular los Índices de Balance, en aguacate (Salazar-García y Lazcano, 1999).....	36
<b>Tabla 4-1:</b> Ecuaciones del modelo logístico para las variables de crecimiento del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2009.....	45
<b>Tabla 4-2:</b> Ecuaciones del modelo logístico para las variables de crecimiento del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2011.....	51
<b>Tabla 4-3:</b> Correlaciones de Pearson entre la masa seca total (MST), de semilla (MSS) de pulpa (MSP) del fruto de aguacate cv. Lorena y los elementos mayores en hojas provenientes de brotes reproductivos. ** nivel de significancia al 1%, * nivel de significancia al 5%, ns: sin diferencias significativas. ....	53
<b>Tabla 4-4:</b> Correlaciones de Pearson entre la masa seca total (MST), de semilla (MSS) de pulpa (MSP) del fruto de aguacate cv. Lorena y los elementos mayores en hojas provenientes de brotes vegetativos. ** nivel de significancia al 1%, * nivel de significancia al 5%, ns: sin diferencias significativas. ....	54
<b>Tabla 4-5:</b> Correlaciones de Pearson entre la masa seca total (MST), de semilla (MSS) de pulpa (MSP) del fruto de aguacate cv. Lorena y los elementos mayores en brotes reproductivos. ** nivel de significancia al 1%, * nivel de significancia al 5%, ns: sin diferencias significativas. ....	57
<b>Tabla 4-6:</b> Correlaciones de Pearson entre la masa seca total (MST), de semilla (MSS) de pulpa (MSP) del fruto de aguacate cv. Lorena y los elementos mayores en hojas. **	

nivel de significancia al 1%, * nivel de significancia al 5%, ns: sin diferencias significativas.....	59
<b>Tabla 4-7:</b> Correlaciones de Pearson entre la masa seca total (MST), de semilla (MSS) de pulpa (MSP) del fruto de aguacate cv. Lorena y los elementos menores en hojas de brotes reproductivos. ** nivel de significancia al 1%, * nivel de significancia al 5%, ns: sin diferencias significativas. ....	61
<b>Tabla 4-8:</b> Correlaciones de Pearson entre la masa seca total (MST), de semilla (MSS) de pulpa (MSP) del fruto de aguacate cv. Lorena y los elementos menores en hojas de brotes vegetativos. ** nivel de significancia al 1%, * nivel de significancia al 5%, ns: sin diferencias significativas. ....	63
<b>Tabla 4-9:</b> Correlaciones de Pearson entre la masa seca total (MST), de semilla (MSS) de pulpa (MSP) del fruto de aguacate cv. Lorena y los elementos menores en brotes reproductivos. ** nivel de significancia al 1%, * nivel de significancia al 5%, ns: sin diferencias significativas. ....	64
<b>Tabla 4-10:</b> Correlaciones de Pearson entre la masa seca total (MST), de semilla (MSS) de pulpa (MSP) del fruto de aguacate cv. Lorena y los elementos menores en hojas de brotes vegetativos ** nivel de significancia al 1%, * nivel de significancia al 5%, ns: sin diferencias significativas. ....	67
<b>Tabla 4-11:</b> Comportamiento de los nutrientes en el suelo (0-15 cm) durante el crecimiento y desarrollo de frutos de aguacate cv. Lorena, año 2009.....	77
<b>Tabla 4-12:</b> Comportamiento de los nutrientes en el suelo (15-30 cm) durante el crecimiento y desarrollo de frutos de aguacate cv. Lorena, año 2009.....	78
<b>Tabla 4-13:</b> Comportamiento de los nutrientes en el suelo (30-45 cm) durante el crecimiento y desarrollo de frutos de aguacate cv. Lorena, año 2009.....	79
<b>Tabla 4-14:</b> Comportamiento de los nutrientes en el suelo a tres profundidades, en etapa de floración y Vegetativa de aguacate cv. Lorena, año 2011.....	80
<b>Tabla 4-15:</b> Correlaciones de Pearson entre la masa seca total (MST), de semilla (MSS) de pulpa (MSP) del fruto de aguacate y los elementos mayores en pulpa. ** nivel de significancia al 1%, * nivel de significancia al 5%, ns: sin diferencias significativas....	85
<b>Tabla 4-26:</b> Correlaciones de Pearson entre la masa seca total (MST), de semilla (MSS) de pulpa (MSP) del fruto de aguacate y los elementos menores en pulpa. ** nivel de significancia al 1%, * nivel de significancia al 5%, ns: sin diferencias significativas....	88

## Introducción

El aguacate es una especie que se encuentra medianamente evolucionada. Esto se demuestra por características como: árboles de gran tamaño, presencia de crecimiento vegetativo al mismo tiempo que ocurre la floración, altos niveles de floración, floración irregular y prolongada, bajo potencial productivo y tamaño de la semilla grande. En Colombia se reporta un rendimiento de 8,8 t ha<sup>-1</sup> aún bajo condiciones de desarrollo natural, esto sugiere las ventajas comparativas que presenta Colombia, en relación con la oferta medioambiental requerida para alcanzar el potencial productivo de la especie. En Australia se han logrado en investigación rendimientos de 22,5 t ha<sup>-1</sup> (Wolstenholmer y Kaiser, 1991), mientras que en México se han obtenido rendimientos potenciales de 32,5 t ha<sup>-1</sup> (Salazar-García, 2002). Para el 2011, Colombia ocupó el sexto lugar en producción a nivel mundial con 215095 t (FAO, 2014).

El fruto del aguacate contiene las vitaminas E, A, B1, B2, B3, D, K y en menor cantidad C, minerales como hierro, fósforo y magnesio, como también otros compuestos saludables como ácido fólico, Niacina, Biotina (Anacafé, 2004). Es un fruto con muy bajo contenido de colesterol y sodio y es una muy buena fuente de fibra. Una porción de 150 g de pulpa contiene 240 cal, siendo el 77% grasas, 19% carbohidratos y el 4% de proteínas. La mayor parte de la grasa es insaturada, lo cual recomiendan los nutricionistas para la dieta, contiene un 40% de la dosis diaria de fibra dietética exigida, 4% de la vitamina A, 25% de la vitamina C, 5% del hierro y 2% del calcio requerido tomando como base una dieta de 2.000 calorías (Cerdas *et al.*, 2006). En la Tabla 1-1, se presenta la composición química y valor nutricional del aguacate, en un contenido de 100 g de pulpa.

**Tabla 1-1:** Composición química y valor nutricional del aguacate (Gutiérrez y Contreras, 2009)

VITAMINAS	CONTENIDO EN 100 g DE PULPA
VITAMINA A	85,00 µg
VITAMINA C	14,00 mg
VITAMINA D	10,00 µg
VITAMINA E	3,00 µg
VITAMINA K	8,00 µg
VITAMINA B1	0,11 mg
VITAMINA B2	0,20 mg
VITAMINA B6	0,45 mg
NIACINA	1,60 mg
ÁCIDO PANTOTÉNICO	1,00 mg
BIOTINA	10,00 µg
ÁCIDO. FÓLICO	32,00 µg

Existe controversia sobre los requerimientos nutrimentales del aguacate; al respecto, debido al alto contenido de aceite en el fruto, se ha planteado que la producción requiere una elevada cantidad de nutrimentos. Sin embargo, se reconoce su habilidad para la toma de nutrimentos dado su origen en suelos de baja a mediana fertilidad. Después que los nutrimentos del suelo han sido absorbidos por las raíces, éstos son transformados en compuestos orgánicos o inorgánicos y transportados a los diferentes órganos del árbol. Una cantidad de nutrimentos es retirada del árbol de forma permanente en los frutos al ser cosechados y otra, es removida en forma temporal al poder ser reciclada de órganos como las hojas y flores, que caen y se descomponen. Las recomendaciones de fertilización empleadas en las distintas regiones productoras de aguacate son muy generales y tienden a ser usadas en grandes superficies plantadas, sin considerar las variaciones en la fertilidad de los suelos ni la condición nutrimental de los árboles. Esto ocasiona que frecuentemente se apliquen menos nutrientes que los necesarios para alcanzar la máxima producción de los huertos o que se incurra en la sobre fertilización, propiciando desbalances nutrimentales que además de limitar la productividad, contaminan los mantos acuíferos, especialmente con nutrientes fácilmente lixiviables como el nitrógeno (Salazar-García, 2009).

El cuajado y el desarrollo del fruto, dependen del suministro de carbohidratos y elementos minerales, éstos proceden de la movilización de las reservas acumuladas en la planta y de la absorción de elementos minerales y de la síntesis de carbohidratos. El periodo de cuajado del fruto que se caracteriza por la competencia entre frutos jóvenes en desarrollo y los flujos de crecimiento vegetativo, puede ser también un periodo crítico de demanda por nitrógeno. Whiley y Schaffer (1994), reportan un descenso en los niveles de nitrógeno y boro durante la floración. Lógicamente, el fruto de aguacate requiere grandes cantidades de nitrógeno durante su desarrollo, lo cual puede resultar en competencia por este elemento entre el desarrollo del fruto y el crecimiento de brotes vegetativos. Una situación similar puede ocurrir con calcio; en este sentido Bower y Cutting (1988), sugieren que los niveles de calcio y nitrógeno afectan marcadamente el tamaño y la calidad poscosecha del fruto y que la interacción entre estos dos elementos, influye en el balance de las estructuras vegetativas/reproductivas en los árboles.

La concentración de calcio aumenta gradualmente desde la emergencia hasta la senescencia de la hoja (Bower y Cutting, 1988). Sobre este asunto, Witney *et al.* (1986), observaron que la concentración de calcio en el fruto, se incrementa durante las primeras 6 semanas después del cuajado inicial del fruto en los cvs. Hass y Fuerte. En los frutales como el aguacate, la importancia de la removilización de nutrimentos es notoria durante el crecimiento reproductivo, cuando se forman las flores y desarrollan los frutos. En estas etapas, la actividad de las raíces y la absorción de nutrimentos generalmente se reducen debido a que el abastecimiento de carbohidratos a la raíz, disminuye debida a la fuerte competencia que se establece entre los diferentes órganos de la planta. En este contexto es importante señalar la habilidad de los árboles para cubrir sus demandas nutrimentales en las etapas críticas, que dependerá de las reservas que posea y de la capacidad de removilizarlas (Salazar-García, 2002).

Con esta investigación se quiso realizar el estudio de factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) Cv. Lorena en san José de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia, durante dos ciclos, año 2009 y 2011.

En una primera parte se seleccionaron árboles adultos de aguacate y se determinó la abscisión acumulada y relativa y se relacionó con las diferentes etapas fenológicas del fruto de aguacate. El comportamiento de la abscisión acumulada y relativa para los dos ciclos evaluados, fue similar, observándose el mismo rango de valores para las diferentes etapas de crecimiento del fruto, presentándose para el caso de la abscisión acumulada, un aumento rápido y progresivo durante la fase de crecimiento lento con valores por encima del 90%, durante la fase de crecimiento lineal la abscisión aumenta lentamente, hasta alcanzar valores sobre 99% y finalmente en la maduración se llega al 100% de la abscisión. Al respecto, altos valores de abscisión se deben a la competencia entre flujos de crecimiento vegetativo y reproductivo (Gandolfo, 2008). La curva de crecimiento encontrada para el fruto de aguacate fue una típica sigmoide simple. Para ambos ciclos se determinaron 3 etapas o estados de crecimiento y desarrollo las cuales fueron crecimiento lento, crecimiento lineal y maduración, la duración de cada etapa fue similar en ambos ciclos, de 0 a 57 días, 58 a 119 días y de 120 a 136 días, momento en el que se inicia la cosecha de los frutos.

En una segunda parte del estudio, se determinó el comportamiento de macro y micro nutrientes en pulpa, hojas y brotes reproductivas, durante las épocas de crecimiento y desarrollo del fruto. Se encontró que la concentración de los elementos mayores y menores, en hojas provenientes tanto de brotes reproductivos como de brotes vegetativas, tuvo comportamiento similar para ambos ciclos evaluados. Fueron evidentes las sinergias y antagonismos generados entre nutrientes; así por ejemplo, hubo antagonismos entre: P-Ca y Zn, Fe-Ca y Mn, Zn -Cu, también fueron manifiestas sinergias entre N-P y Mg-B, lo cual coincide con lo reportado por Alarcón (2008).

La mayoría de los elementos presentaron valores bajos a deficientes; sin embargo, bajo estas condiciones se obtuvo un buen promedio de tamaño de fruto. Respecto al N, P y K, en la fase de crecimiento lento, solo el P estuvo en el rango normal, mientras que el N y K estuvieron bajos. El Ca estuvo ubicado entre normal a bajo en las diferentes etapas de desarrollo y crecimiento del fruto, estos resultados pueden ser explicados debido al hecho de que el Ca es uno de los nutrientes de poca movilidad en los tejidos vegetales. El Mg en todas las etapas de desarrollo del fruto estuvo bajo. El comportamiento del Zn, alto en floración y decreciente en las demás etapas de desarrollo. El B fue

particularmente bajo en floración etapa en la que se produce el cuajado de los frutos, esto puede estar relacionado con la abscisión de estructuras reproductivas que presentó su mayor pico, durante la floración.

En relación a los contenidos nutricionales entre hojas provenientes de yemas reproductivas y hojas provenientes de yemas vegetativas, se observó que para estas últimas, los nutrientes fueron más estables, mientras que en hojas de yemas reproductivas, los contenidos variaron más ampliamente en cada etapa fenológica; estas observaciones concuerdan con las de Rosales *et al.* (2003) y Dixon (2007). Es importante reconocer los momentos fisiológicos del árbol de aguacate, para poder suplir los nutrientes requeridos a etapas de crecimiento y desarrollo específicas, es así como Wolstenholme y Whiley (1995), indican que el paso de vertedero a fuente de las hojas nuevas del flujo de crecimiento vegetativo en competencia ocurre a los 42 días después del pico de antesis, tiempo en el cual puede ocurrir la abscisión del 86% de los frutos por efecto de competencia por recursos. A nivel de pulpa del fruto, hubo una tendencia de todos los elementos a disminuir con el paso de cada etapa fenológica, es así como en la fase de crecimiento lento del fruto, se presentaron niveles de concentración altos, pero que disminuyeron progresivamente hasta la cosecha.

El aguacate es considerado como una especie de baja demanda de nutrientes esto se demuestra por el bajo contenido total de nutrientes en la cosecha al comparar con otros árboles frutales y cultivos de campo. La capacidad del aguacate de extraer y utilizar los nutrientes minerales se refleja en la concentración de cada nutriente en los tejidos, por lo que el análisis químico de las hojas, proporciona una valiosa información acerca del estado nutricional del árbol (Gamalier *et al.*, 2005). Además, el aguacate se caracteriza por tener una baja demanda de nutrientes, es así como Lahav (1990) señala que la extracción de N, P y K por cada tonelada de fruto es de 11,2 y 20 kg respectivamente.

En la tercera parte del estudio se describió el estado nutricional suelo – planta durante la fase reproductiva del aguacate. Se pudo observar que tienen un comportamiento muy similar a los presentados en los análisis foliares, así, las bases K, Ca, Mg y Na, se encuentran en niveles bajos, esto probablemente debido al proceso de lixiviación y al efecto del pH que siendo ácido, limita la disponibilidad de estas bases, tal como lo

reportan Torres y Chinchilla (2002). El P se encontró en niveles bajos, esto es explicado por el fenómeno de fijación que se refiere a la fuerte retención de los nutrientes que realiza la fracción coloidal u orgánica del suelo. La concentración de Ca y Mg siempre se ubicó en valores especialmente bajos a excepción del final del segundo año, corroborando los valores de saturación de Ca y Mg. Debido a que las concentraciones de N fueron bajas, tanto a nivel de suelo como foliar, es recomendable hacer aplicación de lo indicado por Alarcón (2000).

Los elementos menores como Mn, Zn y B se encuentran en proporciones bajas durante todas las etapas fenológicas, a excepción del Zn que en la etapa vegetativa y de floración del segundo ciclo, se reportó como alto; respecto al Fe se observó alto en todas las etapas y el Cu normal también en las etapas de crecimiento y desarrollo del fruto. Estos resultados siguen la misma tendencia del comportamiento foliar.

Los resultados obtenidos en esta investigación se generaron un aporte importante al conocimiento de algunos de los factores nutricionales que están implicados en el comportamiento productivo del fruto de aguacate Va. Lorena, lo anterior con el fin de mejorar la productividad y calidad de este sistema de producción en el departamento del Tolima y en las demás zonas productoras del país.

# 1. Objetivos

## 1.1 General

Realizar el estudio de factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) Cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia

## 1.2 Específicos

- Determinar el comportamiento de la abscisión de estructuras reproductivas y su relación con las etapas de crecimiento y desarrollo del fruto de aguacate.
- Cuantificar el contenido de macro y micro nutrientes en pulpa, hojas y brotes reproductivos, durante las épocas de crecimiento y desarrollo del fruto.
- Describir el estado nutricional suelo – planta durante la fase reproductiva del aguacate.

## **2. Marco de referencia**

### **2.1 Producción de aguacate en Colombia**

En el año 2011 Colombia tenía 24.513 hectáreas plantadas con aguacate, con una producción de 215.090 t y un rendimiento de 8,8 t ha<sup>-1</sup> (Agronet, 2014). En el 2008, del área cultivada, el 30% correspondían a cultivares introducidos, tales como Hass, Fuerte, Edranol, Trapp, Booth 8, Reed, Gwen, Ettinger y Choquette, el 70% restante del área, estaba establecida con materiales criollos como Lorena, Santana y Trinidad en áreas cultivadas y tecnificadas. Sin embargo, la mayor área de aguacate en Colombia se encuentra en bosques naturales con los llamados aguacates criollos. En el mismo año se produjeron 254.080 toneladas que generaron 54.925 empleos entre directos e indirectos, y benefició a 28.048 productores que tenían en promedio 7.077 m<sup>2</sup>, cada uno (Rodríguez et al., 2009).

De acuerdo con estadísticas del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) (2006), la producción de aguacate en Colombia se encuentra altamente dispersa, desde el punto de vista geográfico, puesto que el cultivo está presente en 15 departamentos del país (Bernal y Díaz, 2005). Sobresale la región Caribe como la principal productora, destacándose el Departamento de Bolívar, y el Departamento del Cesar, que en el sur aglutina una importante producción; esta región concentra aproximadamente el 40% del aguacate del país, en tanto que el Valle del Cauca cuenta con el 12% de producción a nivel nacional (Mejía, 2010).

### **2.2 Características generales del aguacate**

#### **2.2.1 Origen y distribución**

El centro de dispersión del aguacate está en América Central y el sur de México. El origen en Mesoamérica incluye hábitats desde el nivel del mar hasta más de 3.000 msnm,

cubriendo un amplio rango de climas y tipos de suelo, por lo que surgió una gran diversidad genética y adaptabilidad. Se ha introducido en África del Sur, Israel, Chile, Australia y Estados Unidos de América, en donde se han generado mejoras genéticas, tanto de factores agronómicos y de calidad, como desde el punto de vista del consumidor (Cerdas et al., 2006).

El aguacate pertenece a la familia de las Lauráceas, que está formada por 52 géneros y cerca de 3.500 especies; esta es una de las familias más primitivas de las dicotiledóneas. El género *Persea* está formado por 150 especies distribuidas, en las regiones tropicales y subtropicales, especialmente en Asia, Islas Canarias y América, donde existen 80 especies (Bernal y Díaz, 2005).

Los aguacates papelillos de los cvs. Lorena, Trinidad, Santana, Choquete, Booth 7 y 8, se encuentran con mayor incidencia en la región centro- occidente, en Departamentos como Caldas, Risaralda y Valle del Cauca; el Tolima cuenta también con una importante área cultivada en este tipo de aguacates, seguido por el Quindío y Santander que poseen áreas no menos importantes (Bernal y Díaz, 2005; Mejía, 2010).

El aguacate cv. Lorena es originario del Valle del Cauca y es el más plantado y de mayor consumo en el país. El fruto es de forma alargada, ligeramente oblicuo, de corteza lisa, con tamaño grande (alrededor de 500 g) y contenido de grasa cercano al 9%. La semilla es de tamaño mediano con adherencia media a la pulpa (Bernal y Díaz, 2008).

El cv. Lorena se comporta muy bien en bajas altitudes hasta los 1.500 msnm (Bernal y Díaz, 2005). Es el único nativo, mientras que los demás son introducidos de Estados Unidos de América, México y Panamá. El árbol es de porte medio, al igual que el diámetro y volumen de la copa, estos datos indican que bajo condiciones del trópico colombiano, se puede obtener una densidad de alrededor de los 240 árboles por hectárea (Ríos y Tafur, 2003) y es considerado como sobresaliente por su alta producción y calidad de los frutos.

### **2.2.2 Morfología y taxonomía**

Es una planta perenne, de gran crecimiento vegetativo, llegando en su hábitat natural a una altura de 10 a 12 m. Con raíces superficiales, que absorben agua y nutrientes principalmente en los ápices a través de los tejidos primarios; esto determina la

susceptibilidad del árbol al exceso de humedad que induce a ataques de hongos y pudriciones vasculares. Las ramas son abundantes, delgadas y frágiles, sensibles a las quemaduras de sol y a las heladas, se rompen con facilidad al cargar muchos frutos o por acción del viento, las flores son hermafroditas, simétricas, de color verde amarillento. Las hojas son simples y enteras, presentan un color rojizo y al llegar a la madurez se tornan lisas, coriáceas y de un verde intenso (Anacafé, 2004).

Velásquez (2006), presenta la siguiente descripción:

**Familia:** Lauráceas.

**Especie:** *Persea americana*.

**Origen:** América Central y Sur de México y luego se difundió hasta las Antillas.

**Planta:** Árbol extremadamente vigoroso (tronco potente con ramificaciones vigorosas), pudiendo alcanzar hasta 30 m de altura

**Hojas:** Árbol perennifolio. Hojas alternas, pedunculadas, muy brillantes.

**Flores:** Flores perfectas en racimos subterminales; sin embargo, cada flor abre en dos momentos distintos y separados, es decir los órganos femeninos y masculinos son funcionales en diferentes tiempos, lo que evita la autofecundación. Por esta razón, los cultivares se clasifican con base en el comportamiento de la inflorescencia en dos tipos A y B. En ambos tipos, las flores abren primero como femeninas, cierran por un período fijo y luego abren como masculinas en su segunda apertura. Esta característica de las flores del árbol de aguacate es muy importante en una plantación, ya que para que la producción sea la esperada, es muy conveniente mezclar cultivares adaptados a la misma altitud, con tipo de floración A y B y con la misma época de floración en una proporción 4:1, donde la mayor población será del cultivar deseado. Cada árbol puede llegar a producir hasta un millón de flores y sólo el 0,1 % se transforman en fruto, debido a la abscisión de numerosas flores y frutitos en desarrollo.

**Fruto:** Baya unisemillada, oval, de superficie lisa o rugosa, la maduración del fruto no tiene lugar hasta que éste se separa del árbol.

**Órganos fructíferos:** Ramos mixtos, chifonas y ramilletes de mayo. El de mayor importancia es el ramo mixto.

**Sistema radical:** Es imperfecto en cuanto a la absorción del agua. A pesar que puede extenderse hasta los 120 y 150 cm. de profundidad, la mayor cantidad de raíces

absorbentes están ubicadas entre los 0 a 60 cm. Dependiendo del tipo de suelo en que se esté cultivando, las raíces se dividen en ramificaciones, las cuales van asumiendo posiciones laterales. Las laterales primarias se dividen en su mayoría bifurcándose en laterales secundarias, las cuales a su vez se vuelven a dividir, pero en ángulos más abiertos. Este sistema de ramificación desarrolla gran abundancia de raicillas. El color de las nuevas raíces activas es blanco. Esta estructura radical superficial, está extensamente suberizada y es relativamente ineficiente en la absorción de agua, que puede tener como consecuencia pérdida de frutos durante las etapas críticas del desarrollo, como el cuajamiento y posterior crecimiento de este (Gardiazabal, 2004).

El crecimiento de las ramas del aguacate ocurre en distintos flujos vegetativos, que generalmente suceden dos a tres veces a lo largo del año. Esos flujos de crecimiento vegetativos no necesariamente incluyen todo el árbol (Davenport, 1982). La fase juvenil, tiene una duración de varios años durante los cuales no hay floración ni fructificación; el crecimiento reproductivo se presenta luego de un periodo de descanso (Cowan, et al., 1997).

*Persea americana* es polimórfico, consiste de varios taxa que son considerados variedades botánicas o subespecies. Estas incluyen las tres “razas hortícolas” originales, var. americana (Antillana), var. drymifolia (mexicana) y var. guatemalensis (guatemalteca) (Whiley, et al., 2002). El género está formado por árboles de hojas coriáceas y aromáticas; inflorescencias axilares o subterminales, dispuestas en panículas corimbosas o racimosas; flores pediceladas o sésiles, hermafroditas, con ovario globoso y subgloboso, estilo delgado, estigma triangular peldado; frutos en bayas globosas o elípticas (Bernal y Díaz, 2005).

## **2.3 Crecimiento y desarrollo**

### **2.3.1 Etapas y flujos de crecimiento**

Las plantaciones de aguacate inician su producción al tercer año de establecidas y se estabiliza la misma, a partir del séptimo a octavo año. Los tres mayores eventos del ciclo fenológico del aguacate son el crecimiento radical, vegetativo y las fases de floración-fruto (Cristoffanini, 1996). El aguacate a lo largo del año puede tener uno o más ciclos vegetativos seguidos de un periodo de crecimiento radical. Las raíces comienzan su crecimiento cuando el primer crecimiento vegetativo comienza a declinar. Posteriormente,

comienza un segundo periodo de crecimiento vegetativo, restableciéndose de esta manera el equilibrio entre una fase de crecimiento radicular y otra vegetativa (Calabrese, 1992; Hernández, 1991).

Así como en la mayoría de los frutales de hoja persistente el crecimiento de los brotes vegetativos del aguacate está sincronizado en flujos que varían en vigor, duración y magnitud (Scora et al., 2002; Rocha-Arroyo et al., 2011a), los cuales ocurren generalmente dos o tres veces al año y pueden o no incluir la totalidad del árbol (Davenport, 1986). El número de flujos vegetativos depende de las condiciones ambientales, la magnitud de cada flujo es variable y usualmente uno de ellos es el principal responsable de la producción del flujo de crecimiento reproductivo (Salazar-García et al., 2006; Salazar-García et al., 2007; Rocha-Arroyo et al., 2011).

El crecimiento vegetativo presenta un patrón definido de crecimiento sigmoideal, donde la etapa inicial presenta un crecimiento lento, después la longitud de las ramas se incrementa significativamente y después en una etapa final el crecimiento se estabiliza. La etapa de crecimiento acelerado coincide con la etapa de floración, donde se puede alcanzar una velocidad de crecimiento de brotes vegetativos de 3 mm/día. Estos flujos pueden durar de 3 a 4 meses. En el subtrópico la magnitud de este crecimiento está determinada fuertemente por la estacionalidad, encontrándose una mayor magnitud en primavera (Dixon, 2007). Seguido del flujo de crecimiento vegetativo se presenta un flujo de crecimiento radical. Las raíces inician su etapa de crecimiento rápido cuando el crecimiento vegetativo comienza a declinar. Posteriormente, comienza un segundo flujo de crecimiento vegetativo, restableciéndose de esta manera el equilibrio entre una fase de crecimiento radical y otra vegetativa (Scora et al., 2002).

En un estudio realizado por Rosales et al. (2003) se observó que el crecimiento vegetativo apical del aguacate "Hass" inicia a los 7 de días iniciada la brotación de yemas reproductivas, incrementándose progresivamente a partir de los 29 días para presentar su máxima tasa de crecimiento a los 67 días, luego desciende hasta los 144 días, momento a partir del cual la tasa de crecimiento vegetativo prácticamente es nula. En el caso de los brotes laterales el crecimiento se da en un solo período que abarca desde los 29 hasta los 122 días, siendo su intensidad menor que el crecimiento vegetativo apical.

Un fuerte estímulo ambiental sincroniza el crecimiento vegetativo y la floración, existiendo un período fisiológico de inactividad; aunque la planta produce un elevado número de flores, tiende a direccionar más los recursos al crecimiento vegetativo que a la producción de flores y frutos. El manejo de la fenología del árbol para maximizar el rendimiento de frutos se realiza en dos puntos clave: la identificación de períodos críticos de demanda de nutrientes y la manipulación del crecimiento vegetativo para mejorar la asignación de recursos para el crecimiento de los frutos (Whiley, 1990b).

### **2.3.2 Floración**

El aguacate presenta una floración muy característica. Esta especie es autocompatible pero manifiesta una dicogamia sincronizada. Basándose en su comportamiento floral los cultivares se clasifican en dos grupos, A y B, que complementan sus ciclos florales. Los cultivares del grupo A se comportan como femeninos por la mañana y como masculinos durante la tarde del día siguiente. Los cultivares tipo B presentan un ciclo floral complementario. En determinados ambientes, la interplantación de cultivares A y B maximiza la polinización y contribuye a un aumento de los rendimientos. Entre ambas fases, los tépalos cierran. Movimientos conspicuos de los órganos sexuales de la flor acompañan la apertura y cierre de los tépalos. Durante la primera apertura de los tépalos la flor actúa como femenina con el estigma fresco, mientras que los estambres permanecen inmaduros y se muestran flexionados sobre los tépalos. Tras un cierre completo de la flor, sucede una segunda apertura en estado masculino en la que el estigma se oscurece y marchita, los estambres se levantan y liberan el polen. Con posterioridad la flor cierra definitivamente (Cuevas, 2007).

En la fase femenina los estaminodios segregan néctar. En la fase masculina los órganos secretores de néctar son los nectarios. El ciclo floral del aguacate se sigue simultáneamente en todas las flores que alcanzan la antesis, lo que se conoce como dicogamia sincronizada. Este complicado mecanismo de polinización se realiza de forma inalterada en determinadas zonas tropicales y subtropicales (Cabezas, 2003).

La adopción de la dicogamia como estrategia reproductiva, implica que para una eficaz transferencia de polen, los insectos han de visitar las flores en ambas fases. Esto se consigue mediante la producción secuencial de atractivos florales (Cuevas, 2007). La

alternancia de cosechas es un serio problema en los árboles de aguacate. El año “on” de alta producción, se caracteriza por una abundante floración unida a una ausencia de brotes nuevos y caída precoz de hoja vieja, lo que provoca la defoliación del árbol que puede ocasionar quemaduras en troncos y ramas, incluso se llegan a detectar disminuciones del área de la sección del tronco. En el siguiente año “off” de baja o nula producción, se distingue porque la floración es escasa, la cosecha baja y el crecimiento vegetativo muy alto (Pérez, 2003).

Según Calvert (1993), el aguacate tiene alrededor de un millón de flores, pero sólo necesita que se polinicen cinco mil para una producción comercial de 50 kg por árbol; esto equivale a un 0,02% del número total de flores. Una característica notable en los cultivares de aguacate, especialmente en los de raza mexicana y sus híbridos, es el enorme número de flores que forman; sin embargo, se caracterizan por presentar un muy bajo porcentaje de frutos que llegan a cosecha, obteniéndose sólo el 0,1% de los frutos.

### **2.3.3 Cuajado de frutos y caída de órganos reproductivos**

Sedgley y Alexander (1983) mencionan que los árboles de aguacate pueden producir miles de inflorescencias, cada una de las cuales, pueden estar constituidas por más de 100 flores, de forma que el número total de flores por árbol puede ser más de un millón. La floración contribuye con un 8% de la producción total de biomasa seca en un ciclo completo de crecimiento y el proceso moviliza carbohidratos no estructurales de reserva y nutrientes móviles desde las hojas (Gazit y Degani, 2002). Romero (2011) encontró que en un año de alta producción, de 108 mil flores solo 168 frutos llegan a cuajado, indicando que el aguacate es un árbol poco eficiente en el cuajado de frutos.

Se ha encontrado que un árbol adulto de raza guatemalteca puede producir 1,6 millones de flores sin embargo solo llegan a cuajar entre 0,001% a 0,23% (Gazit y Degani, 2002). Cossio et al. (2007a) encontraron una variación amplia de emisión de estructuras florales entre arboles de raza guatemalteca, entre 1,1 y 2,3 millones de los cuales llegaron a cosecha el 0,015%. Autores como Lahav y Zamet (1999) reportan para el cultivar Fuerte que solo 0,015% de las flores se convierten en frutos maduros. Otros autores reportan en variedades guatemaltecas bajo condiciones subtropicales que cerca de 2 millones de flores son producidas pero se ha estimado que únicamente llegan a cuajado entre el

0,001% y 0,1% (Salazar-García y Lovatt, 1998; Dixon y Sher, 2002; Can-Alonzo et al., 2005; Cossio-Vargas et al., 2007b). Garner y Lovatt (2008) reportan valores de cuajado más altos en el cultivar Fuerte en California (0,07%).

Garner y Lovatt (2008) encontraron una rápida caída de estructuras reproductivas pocos días después del pico de antesis y una mayor magnitud en la abscisión acumulada durante los primeros días después de antesis del año "on" debido a la mayor producción de flores en este ciclo productivo. Romero (2011) reporta que la dinámica de abscisión de estructuras reproductivas presentó un comportamiento similar a lo reportado para condiciones subtropicales en otras variedades de aguacate (Lahav y Zamet, 1999; Dixon et al., 2007a; Garner y Lovatt, 2008; Alcaraz et al., 2011) y en otras especies frutales como cítricos (Laskowski, 2006), donde se presenta un pico máximo de abscisión relativa cercano a los valores máximos de abscisión acumulada durante el primer mes después de antesis, para luego presentar una caída abrupta en la tasa de abscisión relativa que coincide con un aumento en la cantidad de frutos en cuajado, seguido se presenta un nuevo pico cerca al momento de la etapa de crecimiento exponencial del fruto.

De otra parte, los frutos de aguacate que no cuajan se dividen en dos grupos, provenientes de flores polinizadas, pero en las que no se alcanzó la fertilización, y provenientes de flores polinizadas y fertilizadas que dan lugar a un embrión normal y semillado (Lovatt, 1990). En condiciones favorables, cuajan más frutos de aguacate que los que el árbol es capaz de llevar hasta la madurez. Al respecto, la planta ajusta su capacidad de nutrir a los frutos modificando su número, provocando la caída masiva de frutos recién cuajados durante las primeras tres a cuatro semanas y nuevamente en el verano, cuando el fruto ya ha alcanzado entre un 10% y un 40% de su tamaño final (Whiley et al., 1988; Wolstenholme et al., 1990). Sedgley (1987) encontró que durante la primera semana después de la antesis el 80% de los frutos caídos procedían de flores polinizadas pero no fertilizadas. No obstante, un mes después de la antesis todos los frutos caídos habían sido fertilizados y presentaban un normal desarrollo del embrión y del endospermo.

Una vez los frutos inician el cuajado, la abscisión se puede atribuir a frutos con fallas en el desarrollo de la semilla, aborto del embrión o muerte de la cubierta seminal (Dixon y Sher, 2002; Kohne, 2004; Alcaraz et al., 2011). La caída de los frutos puede ser aumentada considerablemente por efecto de un estrés ambiental, especialmente durante olas de frío

o calor. Mientras más joven sea el fruto, mayor es su susceptibilidad a condiciones adversas (Gazit y Degani, 2002).

Gazit y Degani (2002) también reportan en la variedad Fuerte un segundo pico de abscisión atribuido a caída de frutos entre 50 y 100 g. Esta caída de frutos se debe a la rápida utilización de reservas de carbohidratos del árbol, la cantidad de fotoasimilados necesarios se incrementa y excede la capacidad fotosintética de las hojas, por tanto el crecimiento del sumidero se limita por la disponibilidad de metabolitos, así la población de frutos en desarrollo es ajustada continuamente por la abscisión de frutos. Es probable que solo los frutos de mayor vigor puedan persistir en el árbol (Laskowski, 2006).

Esta competencia también se puede presentar entre el crecimiento de frutos jóvenes y el crecimiento vegetativo (Bower y Cutting, 1988; Gazit y Degani, 2002). El desarrollo del fruto compite fuertemente con raíces y brotes nuevos, reduciendo las reservas al mínimo al momento de la caída de frutos (Wolstenholme y Whiley, 1995; Rosales et al., 2003). Cossio-Vargas et al., (2007a) reportan una caída importante de frutos que marcan los periodos de competencia entre el crecimiento vegetativo y el desarrollo del fruto, afectando directamente la productividad.

La disponibilidad de carbohidratos se ha considerado como el primer factor clave en la abscisión de frutos, demostrado con correlaciones entre niveles de carbohidratos y rendimiento, en algunos estudios se ha demostrado que la implementación de técnicas para incrementar los niveles de carbohidratos resultan en una mayor cantidad de frutos y en frutos de mayor tamaño al momento de cosecha (Wolstenholme et al., 1990; Lovatt, 1997). Es así como la principal hipótesis que explica la abscisión de frutos jóvenes es un insuficiente suministro de fotoasimilados a los frutos como consecuencia de una baja producción en las hojas o baja asignación a los frutos, sin embargo otra hipótesis ha sido planteada, donde se atribuye gran parte de la caída de frutos a un mecanismo de regulación hormonal por el cual las plantas aseguran la supervivencia de frutos selectos (Paz-Vega, 1997; Lovat, 2006).

El cuajado inicial de frutos correlaciona positivamente con la cantidad de frutos a cosecha, similar a lo reportado en trabajos previos, la mayoría realizados para la variedad Hass (Paz-Vega, 1997; Lahav y Zamet, 1999; Bruwer y Robbertse, 2003; Dixon et al., 2007b).

Los árboles en un año "on" presentan una mayor intensidad en la floración, adicional, una mayor cantidad de frutos iniciaron cuajado y llegaron a cosecha. Según estudios previos (Paz-Vega, 1997; Salazar-García et al., 1998; Salazar-García y Lovatt, 2002) el alto rendimiento en un año "on" utiliza gran cantidad de energía agotando parte de las reservas del árbol así, la disponibilidad de recursos se ve limitada y se reduce significativamente la intensidad de floración en el año "off". Esta reducción es asociada con una disminución en la producción de inflorescencias lo cual es acompañado por una alta producción de brotes vegetativos. Lovatt (2006) encontró que la presencia de un alto número de frutos en un año "on" inhibe el desarrollo de brotes florales pero promueve el desarrollo de brotes vegetativos e incrementa el número de yemas inactivas para el siguiente ciclo o año "off", esta diferencia está considerada a ser un determinante en la alternancia de cosecha en aguacate (Dixon, 2007).

### **2.3.4 Crecimiento y desarrollo del fruto**

Una vez las flores son polinizadas y fertilizadas con éxito, se inicia el proceso de cuajado, el ovario engrosa en el centro de las flores, los restos de tépalos y androceo se desprenden y el pedúnculo del fruto engruesa (Davenport, 1986; Cabezas *et al.*, 2003). En la mayoría de frutos existen dos centros de crecimiento: el óvulo y el pericarpio. El crecimiento desde el pericarpio usualmente direcciona el aumento del tamaño, mientras el alargamiento posterior está relacionado con el desarrollo de la semilla (Cowan *et al.*, 2001). El pericarpio consta de tres capas: el exocarpio o cáscara, el mesocarpio comestible y una capa interna delgada junto a la cubierta de la semilla que corresponde al endocarpio (Scora *et al.*, 2002).

La semilla de aguacate juega un papel importante en el desarrollo del fruto. Al presentar mayor dominancia sobre el mesocarpio como vertedero de agua y solutos, actúa como un reservorio potencial durante el crecimiento del fruto. La cubierta seminal es el punto de unión en el transporte de solutos entre la semilla y mesocarpio a través de los plasmodesmos. Estas funciones le atribuyen el papel de órgano regulador de procesos fisiológicos y bioquímicos en el fruto durante el desarrollo y maduración. El no desarrollo de la cubierta seminal es sugerido como un inhibidor de la actividad meristemática y por tanto, puede disminuir la fuerza del vertedero, existiendo una marcada relación entre el tamaño de la semilla y el tamaño final del fruto (Cowan *et al.*, 2001; Kalala *et al.*, 2005), el

cual es la consecuencia de un complejo de eventos metabólicos que ocurren durante el cuajado del fruto y hasta la maduración.

Considerando la acumulación de materia seca, el fruto presenta un crecimiento sigmoide, en donde se distinguen claramente las tres fases de crecimiento: lineal, de crecimiento lento, hasta 61 días después de anthesis (dda), exponencial, de crecimiento acelerado (hasta 116 dda) y de maduración (hasta 143 dda). Por tratarse de un fruto climatérico, la fase de maduración se reduce solo a 27 días (Cossio *et al.*, 2009). En un estudio realizado por Rosales *et al.* (2003) se determinó la curva de crecimiento del fruto de aguacate Hass encontrando frutos desde 0,2 cm de diámetro 79 días después de brotación, presentando a partir de este momento una mayor tasa de cuajado con un máximo a los 95 días que desciende desde los 98 días hasta los 137 días. Este descenso rápido del cuajado, probablemente sería generado por la coincidencia de la brotación y el crecimiento vegetativo, reproductivo y radical.

## **2.4 Factores que determinan el comportamiento productivo del aguacate**

### **2.4.1 Relaciones nutrimentales**

La aplicación de fertilizantes se debe realizar considerando las necesidades de la planta, las características físico-químicas del suelo, las condiciones del cultivo y el comportamiento fenológico del árbol. El análisis foliar es una herramienta importante para conocer el estado nutrimental de huertos comerciales, particularmente para el desarrollo de programas de fertilización, ya que podría ayudar a mejorar no sólo el rendimiento sino el tamaño y calidad de la fruta (Salazar y Lazcano, 1999).

Uno de los aspectos más importantes a considerar en la interpretación de resultados del análisis vegetal, se refiere a las relaciones nutrimentales, debido a que es común que se presenten síntomas de deficiencia de algún nutriente por un desbalance, en cuanto a su concentración relativa con los demás. Esta relación es importante, tanto en el sustrato donde crecen las plantas (suelo o soluciones nutritivas) como dentro de la planta misma, ya que muchas veces altas concentraciones de algún elemento, pueden reducir la porción absorbida de otro, causando así una deficiencia de forma indirecta o inducida. Los

balances adecuados entre nutrimentos varían con la etapa fenológica de la planta; así lo que fue óptimo para el desarrollo de la plántula puede no serlo ya para el desarrollo y cuajado de fruto, de ahí la importancia de conocer los equilibrios críticos para cada etapa fenológica (Arellano y Gutiérrez, 2009).

**Tabla 2-1:** Agrupación de los nutrientes de acuerdo al tipo de funciones en la planta (Mengel y Kirkby, 2000).

NUTRIENTES	FUNCIONES
<b>Grupo 1</b>	<b>Nutrientes que forman compuestos orgánicos</b>
N	Constituyente de los aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucleicos, nucleótidos, coenzimas, hexoaminas, etc.
S	Componente de la cisteína, cistina y metionina y de las proteínas. Constituyente del ácido lipoico, coenzima A, tiamina pirofosfato, glutatión, biotina, adenosina-5 – fosfosulfato y 3- fosfoadenosina.
<b>Grupo 2</b>	<b>Nutrientes que son importantes en el almacenamiento de energía o en la integridad estructural</b>
P	Componente de los azúcar fosfato, ácidos nucleicos, nucleótidos, coenzimas, fosfolípidos, ácido fítico, etc. Presenta un papel clave en las reacciones que interviene el ATP.
B	Forma complejos con manitol, mananos, ácido polimanurónico y otros constituyentes de la pared celular. Involucrado en la elongación celular y en el metabolismo de los ácidos nucleicos.
Si	Se deposita como silica-gel amorfa en la pared celular. Contribuye a las propiedades mecánicas de la pared celulare, como la elasticidad y la rigidez.
<b>Grupo 3</b>	<b>Nutrientes que permanecen en forma iónica</b>
K	Requerido como cofactor por más de 40 enzimas. Principal catión en el establecimiento de la turgencia celular y en el mantenimiento de la electroneutralidad.
Na	Involucrado en la regeneración del fosfoenolpiruvato en las plantas C4 y CAM. Sustituye al potasio en algunas funciones.

Mg	Requerido por muchas enzimas involucradas en la transferencia de grupos fosfato. Constituyente de la molécula de clorofila.
Ca	Constituyente de la lámina media de la pared celular. Requerido como cofactor por algunas enzimas involucradas en la hidrólisis del ATP y fosfolípidos. Actúa como segundo mensajero en la regulación metabólica. También interviene en la integridad de las membranas.
Mn	Requerido para la actividad de algunas deshidrogenasas, descarboxilasas, quinasas, oxidasas, peroxidasas. Involucrado con otros cationes en la activación de enzimas y en la producción de O <sub>2</sub> en la fotosíntesis.
Cl	Requerido en las reacciones fotosintéticas involucradas en la producción de oxígeno.
<b>Grupo 4</b>	<b>Nutrientes Involucrados en la transferencia de electrones</b>
Fe	Constituyente de los citocromos y de las proteínas no hemínicas involucradas en la fotosíntesis, fijación del N <sub>2</sub> y la respiración.
Cu	Componente del ácido ascórbico oxidasa, tirosinasa, monoamina oxidasa, uricasa, citocromo oxidasa, fenolasa, lacasa y plastocianina.
Zn	Constituyente de la alcohol deshidrogenasa, glutámico deshidrogenasa, anhidrasa carbónica, etc.
Mo	Constituyente de la nitrogenasa, nitrato reductasa y xantina deshidrogenasa.
Ni	Constituyente de la ureasa. En las bacterias fijadoras de N <sub>2</sub> constituyente de las hidrogenasas.

A partir de análisis foliares se obtiene información acerca de la capacidad del árbol para absorber y utilizar los nutrientes aportados en la solución fertilizante y por el suelo (Mattar, 2007). Por otra parte, las prácticas de fertilización deben estar encaminadas a lograr más vigor y productividad de los árboles así como una calidad máxima del fruto. La decisión que se tome siempre debe ir respaldada por el análisis foliar y del suelo, ya que son herramientas para evaluar directamente el estado de disponibilidad de nutrimentos del suelo y su contenido en las plantas (Cerdas *et al.*, 2006).

El aguacate es considerado como una especie de baja demanda de nutrientes. Esto se demuestra por el bajo contenido total de nutrientes en la cosecha al comparar con otros árboles frutales y cultivos de campo. La capacidad del aguacate de extraer y utilizar los nutrientes minerales se refleja en la concentración de cada nutriente en los tejidos, por lo que el análisis químico de las hojas, proporciona una valiosa información acerca del estado nutricional del árbol (Gamalier *et al.*, 2005).

El sodio (Na), cobalto (Co), silicio (Si) y vanadio (V) son necesarios para algunas plantas. Aunque no son considerados esenciales, se aceptan como benéficos o mejoradores del desarrollo de determinados cultivos, ya que pueden estimular la absorción o el transporte de otros elementos esenciales, limitar la absorción de otros que se encuentren en exceso o suplir parcialmente la falta de algún elemento esencial. Entre la comunidad científica actual existe cierta controversia ante la inclusión de silicio como elemento esencial (Alley y Vanlauwe, 2009). En la tabla 2-1 se presentan las principales funciones de los elementos en las plantas de acuerdo con Mengel y Kirkby (2000).

## 2.4.2 Macronutrientes

**Nitrógeno (N).** El fruto del aguacate es rico en aceite y presenta una alta concentración de proteínas; por lo tanto, es un depósito importante de carbono y N. Sin embargo, en esta especie existen períodos de competencia entre el desarrollo del fruto y crecimiento vegetativo, por lo que la distribución y transporte del N dentro del árbol es de gran importancia. Deficiencias de N se reflejan en hojas pequeñas y pálidas, defoliación, caída temprana de frutos y frutos pequeños. Además, se ha encontrado que los árboles con deficiencias de N son más susceptibles a los daños por heladas (Gamalier *et al.*, 2005).

El momento de demanda crítica de N en aguacate se estima que corresponde al período de caída de frutos, caracterizado por la competencia entre el desarrollo de los frutos nuevos y el crecimiento vegetativo. Sobre este particular la aplicación de N (urea con bajo biuret) o fósforo (fosfato de potasio), al momento que se presenta el máximo grosor de la cáscara del fruto, contribuyó al incremento del tamaño comercial de los frutos (6,9 a 8,8 cm por árbol) (Lovatt, 1999).

Es necesario que no haya exceso ni deficiencia de N, fósforo y potasio, porque un desequilibrio en estos elementos, reduce considerablemente el tamaño y calidad del fruto.

Se sabe que un alto contenido de N, causa una disminución del contenido de calcio y se incrementa la sensibilidad a enfermedades y las paredes son más delgadas con lo que se aumenta la susceptibilidad a daños mecánicos (Cerdas *et al.*, 2006).

**Fósforo (P).** Una deficiencia de P provoca una textura harinosa no deseable en el fruto y sensibilidad a bajas temperaturas, además de reducción de tamaño. Si aunado a esto hay deficiencia de calcio, se oscurece la pulpa y se acorta el período de conservación (Cerdas *et al.*, 2006).

**Potasio (K).** Los frutos provenientes de árboles con deficiencia de K no toman buen color ni alcanzan un adecuado tamaño. También hay deficiencia en la formación de la semilla. El K en la cantidad adecuada provee al fruto buen sabor y color y reduce la posibilidad de enfermedades en poscosecha (Cerdas *et al.*, 2006).

**Calcio (Ca).** El Ca es importante en la fisiología de la planta, y por el papel que juega durante el ablandamiento del fruto, ya que está involucrado en la organización celular y la integridad de la pared y membrana celular (Cerdas *et al.*, 2006). El contenido y balance nutrimental se han relacionado con el desarrollo de desórdenes fisiológicos del fruto. El Ca es el nutrimento implicado más frecuentemente y existen numerosos informes publicados sobre reducción de fisiopatías en una gama de frutos después de mejorar la nutrición con Ca. Para mermar la incidencia de desórdenes fisiológicos en poscosecha, la relación Ca+Mg/K en el porcentaje de saturación de bases del suelo, debe de mantenerse entre 4 y 5 (Salazar-García, 2002). El Ca es absorbido por las raíces y distribuido al resto de la planta principalmente a través del xilema. Las hojas, que son las que transpiran en mayor proporción, acumulan más Ca que otros órganos. Entonces, los factores que afectan la acumulación de Ca en el fruto son la concentración en el suelo, la concentración de otros cationes (porque compiten con el Ca para ser absorbidos por las raíces), el vigor del crecimiento vegetativo del árbol, el manejo del agua y posiblemente el portainjerto (Salazar-García, 2002). Por otra parte, demasiado Ca en el suelo, podría reducir la absorción de otros nutrimentos, incluyendo al K, el magnesio y el boro, los cuales también están involucrados en la calidad del fruto (Salazar-García, 2002).

Siendo el Ca uno de los nutrimentos de poca movilidad en los tejidos vegetales, se deben desarrollar métodos para incrementar su penetración en las hojas de aguacate y su posterior translocación hacia el fruto, sin que se presenten daños al follaje por las aspersiones (Solis *et al.*, 1998).

Entre otras funciones el Ca es importante porque incrementa la estabilidad de la membrana y aumenta la resistencia de la pared celular (Penter y Stassen, 2000). Por consiguiente, este nutrimento afecta la firmeza y la senescencia del fruto por medio de la alteración de los procesos extra e intracelulares (Buccheri y Di Vaio, 2004). El Ca tiene una función importante en el desarrollo de la pared celular, a tal grado que cuando la disponibilidad de este nutrimento es inadecuada, la pared celular pierde su integridad, ocasionando desórdenes fisiológicos (Dilmaghani *et al.*, 2004). Aunque el Ca es probablemente el catión más abundante tomado por las plantas, los contenidos de este elemento dentro del fruto son relativamente bajos (Tagliavini *et al.*, 2000).

**Magnesio (Mg).** El Mg forma parte de la clorofila, es el pigmento responsable de la fotosíntesis y del color verde de las plantas. El Mg en el aguacate, se ha demostrado que promueve mayor número de brotes nuevos, floración temprana y mayor amarre de frutos al disminuir el número de abortos (Chirinos, 1999). La deficiencia de Mg es nociva sobre todo cuando el Ca también está deficiente. Este elemento contribuye al estatus hídrico de los tejidos (Cerdas *et al.*, 2006).

**Azufre (S).** A pesar de su papel, tan importante en el metabolismo de las plantas, el S nunca ha sido visto como un nutrimento importante para el aguacate y el monitoreo de sus niveles foliares normalmente recibe poca atención. Esto es debido probablemente a que nunca ha habido una fuerte razón para sospechar de algún efecto dañino debido a la deficiencia de S. Sin embargo, el hecho es que el S del suelo está siendo constantemente removido por la cosecha y por lo tanto debe de ser reemplazado (Salazar-García, 2002).

Como otros nutrimentos, el S debe manejarse con mucho interés. Las muestras foliares y de suelo deben de ser calibradas periódicamente para tener un buen juicio sobre la cantidad de S a aplicar. Es importante recordar que después de la aplicación al suelo de S elemental, éste necesita oxidarse a  $SO_4$ , mediante la acción de las bacterias de la materia orgánica. De esto se desprende que es indispensable la frecuente incorporación de materia orgánica al suelo del huerto (Salazar-García, 2002).

### 2.4.3 Micronutrientes

**Hierro (Fe).** El déficit de Fe es otro de los problemas frecuentes en el cultivar aguacate en suelos de pH alcalino. Sin embargo, también se produce el déficit en áreas de suelo de pH muy ácido (menor a 5,0) debido a que la absorción del Fe es competitiva con la de manganeso, elemento cuya solubilidad es fuertemente incrementada en pH ácido. El Fe tiene una relación directa con la síntesis de la molécula de clorofila, al ser cofactor de varias enzimas que catalizan su formación. Con déficit de Fe las hojas quedan con bajos niveles de clorofila, resintiéndose todo el aparato productor de carbohidratos. Estos efectos repercuten fuertemente en los rendimientos (Gamalier *et al.*, 2005).

El Fe es un componente importante de las enzimas involucradas en la transferencia de electrones (reacciones redox) como citocromos y proteínas. También, es componente de proteínas involucradas en la fotosíntesis, fijación de N y respiración. En este último proceso, ocurre una oxidación reversible de  $Fe^{+2}$  a  $Fe^{+3}$  durante la transferencia de electrones (Taiz y Zeiger, 2002).

De manera similar a la deficiencia de Mg, los síntomas típicos de la deficiencia de Fe aparecen como una clorosis intervenal. Sin embargo, el Fe no puede ser rápidamente movilizado de las hojas adultas a las jóvenes, razón por la cual los síntomas inicialmente aparecen en las hojas jóvenes. En condiciones de extrema deficiencia, la hoja completa podría tornarse blanca. La clorosis de las hojas ocurre porque se requiere Fe para la síntesis de la clorofila. Sin embargo, su papel preciso en la síntesis de clorofila todavía es sujeto de investigación. La baja movilidad del Fe es probablemente debido a su precipitación en las hojas adultas como óxidos insolubles y fosfatos, o la formación de complejos con fitoferritina, una proteína secuestradora de Fe en la hoja. La precipitación del Fe reduce su posterior movilización hacia el floema para su transporte a largas distancias (Marschner, 2012).

**Manganeso (Mn).** Los síntomas foliares de las deficiencias de Mn, S y Mg pueden ser similares en ciertas etapas del desarrollo de la hoja o de la deficiencia. Una forma relativamente segura para descartar entre ellas es el análisis foliar. Sin embargo, en ocasiones los niveles foliares de Mn son elevados en árboles con o sin síntomas de deficiencia. Esto puede originarse por aplicaciones de fungicidas que contienen Mn,

aunque el siguiente flujo de crecimiento podría mostrar niveles deficientes. Ante esto, es importante conocer el historial de las aplicaciones foliares realizadas en el huerto (Salazar-García, 2002).

**Zinc (Zn).** También este elemento está asociado a la actividad de meristemas y, cuando hay deficiencias de él, prevalece la clorosis de la hoja y la deformación del fruto. De manera similar al boro, las concentraciones de Zn en la hoja también descienden durante el desarrollo de las panículas de flores. En tejidos florales, los niveles pueden ser entre un 80 – 100 % superiores durante la antesis (apertura de la flor) que en las hojas adyacentes (Gardiazabal, 2004).

Al igual que el Fe, el Zn ha llamado la atención a investigadores de la nutrición mineral del aguacate. La deficiencia de Zn está presente en la mayoría de las regiones productoras del mundo, en los diferentes rangos de pH del suelo en los que se cultiva el aguacate. La importancia de eliminar esta deficiencia radica en que ésta, no sólo reduce la cantidad de fruto cosechado, sino que es una de las principales razones para que los cultivares de aguacate produzcan fruto pequeño y de forma redondeada (Salazar-García, 2002). El déficit de Zn produce deformación en el fruto la cual en estas condiciones es redondeado con pérdidas del valor comercial y también descensos de la producción. La no corrección conduce al decaimiento total del árbol (Gamalier *et al.*, 2005).

**Cobre (Cu).** Es un elemento que participa en procesos de óxido-reducción con importante función en fotosíntesis, respiración, metabolismo del C y el N. constituyente de más de 100 proteínas en las plantas, se requiere para el normal funcionamiento de la plastocianina, superóxido dismutasa, citocromo oxidasa, ascorbato oxidasa y polifenol oxidasa, entre otros (Marschner, 2002). Las deficiencias de Cu son menos comunes que el resto de los micronutrientes. La deficiencia de este elemento puede darse en suelos recién nivelados muy ácidos o los clasificados como Histosoles, pobres en nutrientes. El Cu puede ser también secuestrado por la materia orgánica en los suelos vírgenes con muy altos contenidos de materia orgánica y condiciones de baja temperatura y alta humedad (Salazar-García, 2002).

**Boro (B).** El B está estrechamente asociado con la división celular y la actividad meristemática (responsable del crecimiento), siendo particularmente importante durante la polinización y el desarrollo temprano del fruto. Tal es así que en árboles severamente

deficientes, se producen deformaciones del fruto y de los brotes (Gardiazabal, 2004). El B tiene un efecto positivo en la gametogénesis (formación del óvulo y grano de polen), germinación del polen, crecimiento del tubo polínico hacia el óvulo, así como en la división celular en las etapas iniciales del desarrollo del fruto. Los efectos positivos de la aplicación de B también se han observado en árboles sin deficiencia de este nutrimento (Jaganath y Lovatt, 1995). También se ha observado que incrementa la división celular y la síntesis de ácidos nucleicos en el fruto en desarrollo, lo que incrementa su posibilidad de retención (Faust, 1989).

El B es otro de los nutrientes que se presenta como un problema de ocurrencia común en todas las áreas en que se cultiva aguacate en el mundo. El déficit de B produce diferentes trastornos en el árbol pero los más importantes afectan a la producción y calidad del fruto. Estos efectos están relacionados al rol fisiológico del B en el proceso de crecimiento del tubo polínico y cuajado del fruto. En el caso específico del aguacate, una de las funciones más importantes del B está en la activación del crecimiento del tubo polínico, con lo cual un déficit del mismo, conduce a menor cuajamiento y menor producción (Gamalier, 2005). Cuando el B está deficiente se manifiesta como una reducción en el tamaño del fruto y una redondez muy marcada y oscurecimiento de la semilla (Cerdas *et al.*, 2006).

Al parecer el crecimiento vegetativo y el desarrollo de inflorescencias no compiten entre sí por este elemento, puesto que las mejores concentraciones en hojas se presentan cuando ocurre la floración, pero posiblemente estas concentraciones no sean suficientes para permitir el buen desarrollo del tubo polínico una vez dada la polinización (Castillo *et al.* 2007). Las aspersiones con B cuando las inflorescencias han alcanzado el estado coliflor (elongación de ejes secundarios de la inflorescencia, los que todavía están cubiertos por sus brácteas, flores pequeñas sin abrir), han dado resultados promisorios para mejorar el amarre de fruto (Salazar-García *et al.*, 1998; Castillo, *et al.*, 2007).

En experimentos semi *in vivo* (con las flores de aguacate separadas del árbol y colocadas en agar), se encontró que el mejor crecimiento del tubo polínico (alcanzando el ovario) se obtuvo en aquellas flores suplementadas con concentraciones de B de entre 50 y 100 mg L<sup>-1</sup>. De lo que se desprende que se requiere de una cierta concentración de B en la planta, antes de la floración para una adecuada fecundación y amarre de fruto

(Castillo, *et al.*1998). Al respecto, la aplicación foliar de B (tetraborato de sodio), a árboles de aguacate en la floración y desarrollo de éstas (elongación de las inflorescencias secundarias) incrementó el número de tubos de polen que alcanzan el óvulo (Lovatt, 1999).

#### 2.4.4 Nutrientes en el fruto

La materia seca está formada de carbono y de todos los nutrimentos empleados durante el desarrollo y crecimiento del fruto. Así se forman las proteínas y aceites, ambos de alto contenido en los frutos de aguacate (Salazar-García, 2002). Los frutos con mayor contenido de materia seca y aceite utilizan mayor cantidad de nutrimentos. Para calcular la cantidad de nutrimentos que deben aplicarse a los huertos, ya sea en forma orgánica o inorgánica, es necesario conocer la cantidad de nutrimentos removidos por el fruto (Salazar-García, 2002). Estudios hechos por Maldonado *et al.* (2007) indicaron una acumulación diferencial de nutrimentos en el fruto, siendo el K el más concentrado, seguido de N, P, Mg, Ca, Fe, B, Zn, Cu y Mn.

Aun cuando los micronutrientes son acumulados en cantidades pequeñas en el fruto, a medida que se incrementa la producción la cantidad exportada mediante la cosecha, resulta significativa, necesitándose realizar suministros periódicos de estos elementos para mantenerlos en un balance adecuado en el follaje del árbol y en el fruto (Crowley *et al.*, 1996). Según Lahav y Whiley (2002) la cosecha de los frutos impacta más que la abscisión natural de flores, frutos y hojas, pero es una cantidad muy pequeña (< 8 %) respecto del total de nutrimentos del árbol entero.

El contenido de nutrientes, removidos por el fruto, puede ser distinta entre cultivares, aunque también es frecuente encontrar diferencias dentro de un mismo cultivar. Algunas razones que explican este comportamiento son: a) edad del árbol, b) estado de desarrollo del fruto, c) manejo del huerto, d) disponibilidad de nutrientes en el suelo (incluye la fertilización), e) diferente habilidad de los portainjertos para absorber los nutrimentos del suelo y translocarlos a la parte aérea y f) metodología y procedimientos analíticos usados (Salazar-García, 2002). El fruto de aguacate sorprendentemente es bajo en N y muy alto en P y K. La cantidad de N, P ( $P_2O_5$ ) y K ( $K_2O$ ) extraídos por una tonelada de fruto de aguacate es de 0,83, 2,40 y 3,62 kg respectivamente (Chirinos, 1999).

No todos los nutrimentos que el árbol extrae del suelo terminan en el fruto. Por ejemplo, el Ca es el nutrimento de mayor demanda por el fruto en la mayoría de los frutales. Sin embargo, de todo el Ca absorbido por la planta, una gran proporción es utilizado en el crecimiento de brotes vegetativos y raíces (Barker y Pilbeam, 2007). Los nutrimentos del suelo absorbidos por las raíces de árbol se transforman en compuestos orgánicos o inorgánicos que luego son transportados a los diferentes órganos de árbol. Una gran cantidad de estos nutrimentos se retira del huerto en forma permanente cada año (por ejemplo con la cosecha) y otra parte importante se remueve en forma temporal y puede ser reciclada en el huerto (Salazar-García, 2002).

En condiciones normales de cultivo, los nutrimentos tienden a moverse de los sitios de mayor concentración o abundancia en la planta a los sitios de mayor demanda. Este movimiento se realiza principalmente a través del floema (Marschner, 2002; Salazar-García, 2002), tal como se muestra en la tabla 2-2.

El conocimiento de la facilidad con que los diferentes nutrimentos pueden removilizarse dentro de la planta, es una herramienta valiosa para el diagnóstico acertado de trastornos nutrimentales en condiciones de campo (Salazar-García, 2002). La removilización de nutrimentos de los tejidos más viejos a los más jóvenes, durante el desarrollo de las plantas o durante una condición de estrés, origina cambios rápidos en la concentración de nutrimentos en las hojas u otros órganos. La removilización se basa en varios procesos fisiológicos y bioquímicos que son: utilización de nutrimentos almacenados en las vacuolas (N, P, K, Mg, etc.), degradación de proteínas almacenadas en las vacuolas de las células del mesófilo de las hojas, finalmente, la degradación de estructuras celulares (cloroplastos) y proteínas enzimáticas, transformando aquellos nutrimentos ligados estructuralmente (Mg de la clorofila y los micronutrientes de las enzimas) a una forma móvil (Marschner, 2002).

**Tabla 2-2:** Movilidad de los elementos nutricionales en la planta de aguacate (Salazar-García, 2002).

<b>Movilidad</b>	<b>Nutrientes</b>
Alta	N, P, K, Mg, S, Cl, Na
Media	Fe, Cu, Zn, B, Mo
Baja	Ca, Mn

La condición nutrimental, tanto de árbol como de fruto, es un aspecto clave para que el fruto cosechado sea de la máxima calidad comercial. Resulta claro que la calidad del fruto depende de las condiciones climáticas, manejo del huerto, cultivar, etc. Los árboles con deficiencias crónicas de B (Whiley *et al.*, 1990) o de Zn, particularmente durante las etapas tempranas de crecimiento del fruto, pueden causar deformación y pueden resultar en una tasa elevada de rechazo al momento de la cosecha (Salazar-García, 2002).

Existe poca información experimental sobre la mayoría de los desórdenes fisiológicos (fisiopatías), derivados de la nutrición que suelen presentarse en el fruto de aguacate y todavía no han sido establecidos los niveles adecuados de nutrimentos en el fruto que resulten en la mejor calidad y reducida incidencia de fisiopatías. La caída prematura de frutos ha sido asociada con una degeneración y muerte de la testa de la semilla en etapas iniciales o intermedias de desarrollo del fruto. La conservación de los nutrientes juega un papel importante en las plantas adaptadas a ambientes de baja o mediana fertilidad. Una manera en que los nutrimentos pueden ser conservados es mediante la prolongación de la vida activa de las hojas y/o mediante el reciclamiento o reabsorción de una porción del contenido total de nutrientes de las hojas, previo a su abscisión (Salazar-García, 2002).

Wolstenholme (1987), indica que el fruto de aguacate es muy demandante de energía y tiene una gran dependencia de las reservas del árbol. Esto hace que la estrategia del árbol sea de alta eficiencia para captar, almacenar, conservar y reciclar carbohidratos y reservas minerales, haciéndolo parecer como un árbol cuya producción es barata en cuanto al gasto de nutrimentos.

La vida de las hojas en el aguacate puede variar según el flujo vegetativo en que se origine la demanda de nutrimentos y otros compuestos en etapas críticas de la fenología del árbol, así como la presencia de estreses que causen o aceleren su abscisión (Salazar-

García, 2002). Dentro de la investigación que se ha realizado en esta especie acerca de la caída temprana de frutos, la mayoría de los trabajos se han enfocado en la competencia por carbohidratos entre los frutos y el crecimiento vegetativo en el período de amarre de fruto y poco se conoce acerca del papel de los nutrimentos sobre este proceso (Figuroa *et al.*, 2001).

El contenido de Ca en las hojas de aguacate es un tercio en comparación a los cítricos y el Mg en cambio es tres veces mayor. El alto contenido foliar de Mg del aguacate, indica su gran necesidad de incluirlo en los programas de fertilización (Chirinos, 1999). Las Tablas 2-3 y 2-4 hacen relación al papel de los nutrientes en el desarrollo del fruto y a los aspectos que influyen en la concentración de los mismos, en las hojas.

El aguacate es considerado una especie sensible al estrés por sales. El NaCl reduce el área foliar fotosintética y su rendimiento. La tolerancia a las sales, definida como la capacidad de mantener un crecimiento al ser expuestos en un ambiente salino, es mayor en portainjertos de origen antillano y menor en los de origen mexicano, encontrándose los de origen guatemalteco en una situación intermedia (Castro *et al.*, 2009).

**Tabla 2-3:** Nutrientes y su efecto sobre algunas características del fruto de aguacate (Salazar-García, 2002).

NUTRIMENTOS	EFECTOS SOBRE EL FRUTO
N	<p><b>Nivel arriba de lo normal:</b> a) disminuye el transporte de Ca al fruto. b) aumenta el tamaño del fruto con epidermis color verde oscuro, pero la pulpa es menos firme y con menor contenido de aceite. c) incrementa la intensidad de caída precosecha del fruto.</p> <p><b>Nivel abajo de lo normal:</b> fruto pequeño con epidermis verde claro.</p>
P	<p><b>Nivel abajo de lo normal:</b> fruto pequeño con epidermis verde claro.</p>
K	<p><b>Nivel arriba de lo normal:</b> incrementa susceptibilidad a desórdenes fisiológicos (principalmente de la pulpa) debido a su relación con Ca y Mg.</p> <p><b>Nivel abajo de lo normal:</b> fruto pequeño y susceptible a la deshidratación, desórdenes fisiológicos.</p>
Ca	<p><b>Nivel arriba de lo normal:</b> a) mantiene la estructura de la pared celular y la integridad de la membrana. b) baja la tasa respiratoria y retrasa la senescencia. c) incrementa resistencia a pudriciones fungosas y ablandamientos.</p> <p><b>Nivel abajo de lo normal:</b> incrementa el oscurecimiento de haces vasculares (vascular browning) y pulpa gris (gray pulp).</p>
Mg	<p><b>Nivel normal:</b> a) poca evidencia de su efecto directo en la calidad del fruto. b) importante su relación con los cationes Ca y K.</p> <p><b>Nivel arriba de lo normal:</b> en condiciones deficientes de Ca, el Mg puede reemplazarlo en los sitios de intercambio en la membrana incrementando los desórdenes fisiológicos.</p>
Zn	<p><b>Nivel arriba de lo normal:</b> altera la maduración del fruto.</p>
B	<p><b>Nivel arriba de lo normal:</b> a) acelera la maduración del fruto. b) aumenta la presencia de desórdenes fisiológicos. c) incrementa la incidencia de pudriciones.</p> <p><b>Nivel abajo de lo normal:</b> a) deficiencia de B interacciona con deficiencia de Ca incrementando desórdenes fisiológicos. b) causa tejidos corchosos y deformaciones en el interior (pulpa) y exterior (epidermis) del fruto.</p>

**Tabla 2-4:** Factores que afectan las concentraciones de nutrientes en las hojas de aguacate (Gardiazabal, 2011).

Factor	Concentración de nutrientes
Posición de las hojas en los árboles	Hay pequeñas diferencias en las concentraciones de nutrientes según la posición de las hojas. En Israel la mejor correlación se obtuvo con hojas de la posición norte.
Lluvias y riego*	Si la cantidad de agua aplicada a un cultivo es insuficiente, bajará el peso seco de las hojas y también la concentración de N, P, K, Ca, Mg, Zn y Mn.
Producción	Usualmente altas producciones dan como resultado un agotamiento de nutrientes, que pueden observarse en la temporada siguiente.
Anillado	En la mayoría de los casos el anillado es seguido por clorosis y una baja en los contenidos minerales de la hoja, este agotamiento de los nutrientes es causado por altas cosechas y la interrupción y translocación de los nutrientes ocasionado por el anillado.
Cultivares	Generalmente los cultivares guatemaltecos tiene niveles foliares más elevados que los cultivares mexicanos. Ensayos llevados a cabo en Israel, muestran que las concentraciones de P, K y Fe en el cultivar Nabal (guatemalteco), fue mayor que en el cultivar Fuerte.

\*(Gardiazabal, 2004)

### 2.4.5 Antecedentes nutricionales

Mientras existan deficiencias y excesos de elementos nutritivos se afectará la nutrición del cultivo y en consecuencia los rendimientos de fruto. Muchos de estos desbalances se pueden presentar por antagonismo, sinergismo o influencia de factores ambientales que

limitan la disponibilidad y absorción de nutrientes (Maldonado, *et al.*, 2007). El desarrollo de estrategias de manejo nutricional está basado en una comprensión fundamental de la fisiología y fenología del árbol, más que en la relación NPK (Whiley, 1990).

Se reporta que la máxima producción de fruto puede ser obtenida con dosis altas de fertilización mineral que consistió en la aplicación por árbol de 2.140 kg N; 0,742 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 2,520 kg K<sub>2</sub>O; 810 g Zn y 94,30 g B. Su equivalente, para un huerto con 156 árboles por hectárea fue: 333,84 kg N; 11,752 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 393,12 kg K<sub>2</sub>O; 126,36 kg Zn y 14,711 kg B y resultó en un rendimiento promedio de 21.230 ton ha<sup>-1</sup> para las cosechas 2002 y 2003. La fertilización mineral incrementó de manera más consistente la producción y tamaño del fruto que el biofertilizante. En Michoacán (México), se evaluó durante cinco años la respuesta del cv. Hass a la aplicación por hectárea (con 100 árboles) de: 200 kg N, 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 100 kg K<sub>2</sub>O, obteniéndose un rendimiento de fruto de 16,7 ton ha<sup>-1</sup> (promedio de cinco años), comparado con 11,6 ton ha<sup>-1</sup> para árboles sin fertilización (Aguilera-Montañez y Salazar-García, 1996).

Investigadores de California estudiaron durante 5 años la nutrición del aguacate con Mg. Demostraron que un efecto notable de la deficiencia de Mg es la defoliación prematura y que su aplicación al suelo es más efectiva que la aspersión foliar para corregir deficiencias. La aplicación de la enmienda encalante dolomita, además de corregir la acidez del suelo, aporta Mg, aunque para tener efectos más rápidos es conveniente usar fuentes de Mg solubles en agua, tal como el sulfato doble de K y Mg que aporta además K y S (Chirinos, 1999). Con relación al Zn, se menciona que una de las causas de deficiencia de este elemento puede atribuirse a la fertilización con P, debido a la formación de Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> insolubles, promoción del crecimiento por el P y dilución del Zn en el follaje o por interferencia del P en las funciones metabólicas del Zn (Mortvedt *et al.*, 1972; Crowley y Smith, 1996).

En experimentos semi *in vivo* (con las flores de aguacate separadas del árbol y colocadas en agar), se encontró que el mejor crecimiento del tubo polínico (alcanzando el ovario) se obtuvo en aquellas flores suplementadas con concentraciones de B de entre 50 y 100 mg litro<sup>-1</sup> (Robbertse y Coetzer, 1988; Robbertse *et al.*, 1990). Las aspersiones con B, realizadas cuando las inflorescencias del aguacate están en el estado coliflor, el cual se caracteriza por la elongación de los ejes secundarios de la inflorescencia, los que

todavía están cubiertos por sus brácteas y con flores pequeñas sin abrir (Salazar-García *et al.*, 1998), pueden ser benéficas para el amarre de fruto (Jaganath y Lovatt, 1998).

Es probable que la aplicación foliar de B alivie su deficiencia temporal en las flores, la cual puede deberse a deficiencia de B en el árbol o a la presencia de condiciones climáticas frías que reducen tanto la movilidad del B en el floema de la planta como la velocidad de desarrollo del tubo polínico. En Sudáfrica, las aspersiones con B durante el otoño o la primavera a árboles de aguacate sin deficiencia de B (según análisis foliares) incrementaron el amarre de fruto (Robbertse *et al.*, 1990, 1992). Resultados similares fueron obtenidos con aguacate 'Hass' en California, en donde una sola aplicación en el estado coliflor con Solubor (20,5% B) para proporcionar 6 g B/árbol, incrementó 26% el rendimiento (Lovatt, 1998).

Cossio, *et al.* (2009) aplicaron vía foliar 8 g de boro por árbol, el muestreo foliar realizado a hojas jóvenes en julio 2001, cuatro meses después de la primera aspersion con B al follaje, mostró incrementos en el contenido de B. Los árboles control presentaron 75 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que los tratamientos con una y dos aspersiones con B aumentaron los niveles de B a 121 y 114 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Para el muestreo de octubre 2001, cuando las hojas eran adultas, no hubo diferencias estadísticas en el contenido foliar de B entre los distintos tratamientos y fluctuó de 28,3 a 33,7 mg kg<sup>-1</sup>; sin embargo, un año después del inicio de esta investigación (2002) el contenido de B en la pulpa del fruto no fue afectado significativamente por la aplicación de B al suelo y fluctuó de 53,4 mg kg<sup>-1</sup> a 64,1 mg kg<sup>-1</sup>. Según Jaganath y Lovatt (1998), las aspersiones con B en prefloración mejoran la viabilidad del polen y la longevidad del óvulo, sobre todo cuando el clima es frío y lluvioso.

Castillo *et al.* (1998), no encontraron diferencias en la concentración de B de las hojas y de las inflorescencias entre las zonas norte y sur de la copa del árbol, ni entre las inflorescencias de otoño y de invierno, lo que sugiere una distribución homogénea del elemento en la planta a través del tiempo. Los valores registrados con el análisis foliar fueron bajos o insuficientes a lo largo del año. Bajo estas condiciones de insuficiencia de B en el árbol, el crecimiento vegetativo y el desarrollo de las inflorescencias no compiten

entre sí por este elemento, puesto que las mejores concentraciones en hojas se presentaron cuando ocurrió la floración

La redistribución de nutrimentos de la hoja hacia el fruto es particularmente importante durante el crecimiento reproductivo, principalmente del fruto (Marschner, 1986), de los cuales el N se removiliza del 50 al 70 % y el Mg del 15 al 23 %, con dirección al fruto especialmente en frutales subtropicales (Tagliavini *et al.*, 2000; Salazar-García, 2002).

## 2.4.6 Factores climáticos

En el trópico, andino colombiano se obtienen rangos de adaptación amplios, que van desde 0 a 2.200 m.s.n.m., en donde las zonas marginales de mayor altitud, no registran temperaturas mínimas inferiores a 13°C, logrando cultivos productivos con frutos de óptima calidad, con los cultivares 'Hass', 'Gwen' y 'Fuerte' (Ríos y Tafur, 2003).

En lo que respecta a la temperatura, los cultivares tienen un comportamiento diferente de acuerdo con la raza. La raza antillana es poco resistente al frío, mientras que los cultivares de la raza guatemalteca son más resistentes y las mejicanas las que presentan la mayor tolerancia. En cuanto a precipitación, se considera que 1.200 mm anuales bien distribuidos son suficientes. Sequías prolongadas provocan la caída de las hojas, lo que reduce el rendimiento; el exceso de precipitación durante la floración y la fructificación, reduce la producción y provoca la caída del fruto (Velásquez, 2006).

### Factores ambientales y culturales

**Temperatura.** El aguacate es muy sensible a las bajas temperaturas en especial el cv. Hass, que sufre daño con temperaturas menores a -1°C. También es importante que al momento de la floración las temperaturas sean óptimas, aunque en Chile existen pocos lugares con esta condición. Se ha visto que con temperaturas de 20° a 25°C durante el día y 10°C en la noche, se presenta una exitosa fecundación y un buen cuajamiento (Gamalier *et al.*, 2005).

Se ha señalado que el rango óptimo de temperatura para la fotosíntesis del aguacate cv. 'Edranol' cultivado en macetas es de 20-24°C (Bower *et al.*, 1978), y para árboles del cv. 'Fuerte' de 28-31°C. Scholefield *et al.* (1980) han señalado que a temperaturas por debajo de 15°C o por encima de 40°C, la tasa de fotosíntesis neta es, aproximadamente, un 33%

de la observada dentro del rango de temperaturas óptimas. En huertos de aguacate en Queensland, Australia, Whiley et al. (1999) demostraron que la tasa fotosintética máxima para hojas del cv. 'Hass' decreció desde  $19,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  durante el otoño, cuando la temperatura mínima diaria era  $\geq 14^\circ\text{C}$ , a  $10,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en invierno, cuando era  $\leq 10^\circ\text{C}$ .

**Viento.** Este factor afecta el crecimiento del aguacate principalmente en sus primeros años al producir doblamiento, problemas en la conducción, deformación estructural sombreamiento y muerte de yemas. También genera daños mecánicos en planta, epidermis rugosa o "russet" en los frutos, caída de yemas, flores y frutos. Además, el viento produce un aumento en la demanda hídrica de las plantas y dificulta el vuelo de las abejas afectando la polinización (Gamalier *et al.*, 2005). El terreno destinado al cultivo debe contar con buena protección natural contra el viento y en su ausencia, debe establecerse una barrera cortavientos preferentemente un año antes del establecimiento de la plantación. El viento produce daño, rotura de ramas, caída del fruto, especialmente cuando están pequeños. También, cuando el viento es muy seco durante la floración, reduce el número de flores polinizadas y por consiguiente de frutos (Velásquez, 2006).

**Radiación.** La intensidad y duración de la iluminación son factores determinantes de la floración (Coutanceau, 1964), es de amplio conocimiento que la floración y fructificación son menos abundantes a la sombra que bajo plena luz (Meyer, 1960). Cuando la iluminación es baja, respecto de sus requerimientos, el crecimiento vegetativo se reduce, tanto en número como en longitud de los brotes, así como en el tamaño de las hojas, resultando en un menor desarrollo del árbol y una menor actividad fotosintética. Ello provoca diferencias de crecimiento entre las zonas sombreadas y soleadas de un árbol. Así, las partes altas de la planta, tienden a formar copas aparasoladas debido a una falta de renovación del material vegetativo que debería originarse desde las partes internas del árbol (Gil-Albert, 1992). De este modo, en el interior del árbol se originan numerosas ramificaciones y la densidad de ramillas exteriores reduce la iluminación, por tanto, la floración en su interior; sólo la parte exterior de la copa con iluminación adecuada presenta floración satisfactoria (Coutanceau, 1964).

En las hojas de la mayor parte de las especies el máximo de actividad fotosintética se alcanza con intensidades lumínicas muy por debajo de la luz solar. Investigaciones previas demuestran que en el manzano muchas de las hojas interiores reciben tan sólo el 1%, o menos, de la luz solar que reciben las de la periferia; es decir, aún bajo luz solar plena, muchas de las hojas (interiores) de esta especie no sintetizan a su capacidad máxima (Meyer, 1960). Gil-Albert (1992) señala que la falta de luz afecta la inducción y diferenciación floral, en razón del bajo nivel de carbohidratos acumulados. Adicionalmente, el desarrollo de las flores y la posterior fructificación también se ven afectadas.

**Precipitación.** La lluvia que ocurre durante el período de floración influye en la sanidad, favoreciendo el desarrollo de hongos que afectan el cuajamiento, disminuye la actividad de las abejas y causa daño mecánico. Si las lluvias son abundantes y producen anegamiento, se puede presentar la asfixia radical o favorecer el daño causado por el hongo *Phytophthora cinnamomi*. Por ello es importante que el diseño de la plantación considere la evacuación de las aguas-lluvia (Gamalier *et al.*, 2005; Cerdas *et al.*, 2006).

**Humedad relativa.** La humedad ambiental óptima debe ser inferior al 60%. El exceso de humedad relativa puede ocasionar el desarrollo de algas o líquenes sobre el tallo, ramas y hojas o enfermedades fúngicas que afectan el follaje, la floración, la polinización y el desarrollo de los frutos. Un ambiente muy seco provoca la muerte del polen con efectos negativos sobre la fecundación y con ello la formación de menor número de frutos. Rodríguez (2009), indica que la humedad ambiental influye en la calidad del fruto y en la sanidad de la parte aérea del árbol. Humedades altas inducen a la proliferación de las enfermedades de las hojas, tallos y frutos.

**Agua.** El estrés por agua durante el desarrollo del fruto reduce la calidad interna del fruto maduro. Se produce un aumento de la actividad de la polifenol oxidasa (PPO, enzima que causa oscurecimiento de la pulpa de la fruta madura). Cuando el riego ha sido satisfactorio, se han encontrado concentraciones más altas de Ca en la pulpa y esto reduce enfermedades poscosecha y desórdenes fisiológicos en el fruto (Cerdas *et al.*, 2006)

**Textura de suelo.** El aguacate prefiere suelos francos a franco – arcillo – limosos. Se puede cultivar bajo riego en suelos relativamente pesados, en zonas con baja

precipitación, asegurando un buen drenaje. Se adapta a diversos tipos de suelo, desde los arenosos y sueltos hasta los limosos y compactos, pero las condiciones óptimas serían un suelo franco de consistencia media, húmica y rica en materia orgánica (Cerdas *et al.*, 2006). Los mejores son los de textura media, suelos francos arcillo arenosos, profundos (0,80 a 1,50 m), con buen drenaje interno y superficial de 3 a 5% de materia orgánica, No es aconsejable plantar árboles de esta especie en suelos salinos, arcillosos o con capas duras que impidan el buen desarrollo radical (Anacafé, 2006). Los suelos más recomendados son los de textura ligera, profundos, bien drenados con un pH neutro o ligeramente ácidos (5,5 a 7).

**Salinidad.** El aguacate es muy susceptible al exceso de sodio y le son suficientes concentraciones del 40% de caliza, por lo que no debe cultivarse en terrenos calizos. El aguacate no tolera la salinidad. Los portainjertos de la raza antillana son los más tolerantes a la salinidad, mientras que los portainjertos de la raza mexicana son los más susceptibles (Cerdas *et al.*, 2006).

**pH.** Debe tener un nivel de acidez de 6 a 6,5, En suelos con pH superiores a 7, las plantas presentan severas clorosis, debido a que disminuye la absorción de hierro (Amórtegui, 2001).

**Poda y cosecha.** El árbol de aguacate se debe formar desde que tenga una altura aproximada de 1,5 m de altura. La formación recomendada es como un vaso, por lo que las ramas laterales se distribuyen hacia los cuatro puntos cardinales, eliminando aquellos ejes del centro. Esta forma es la más indicada para favorecer la entrada de luz y reducir la humedad en el árbol, además los árboles que así se podan son más bajos y facilitan las labores agrícolas en los mismos. El aguacate no alcanza su madurez de consumo en el árbol, debido a que este produce un inhibidor de la maduración que pasa al fruto por el pedúnculo. La determinación del momento de cosecha es un factor clave para garantizar que el fruto madure adecuadamente, optimizar la calidad y minimizar las pérdidas. Es un fruto climatérico cuya maduración puede ocurrir naturalmente durante el almacenamiento o puede inducirse utilizando de 10 a 100 ppm de etileno a 21 °C (Cerdas *et al.*, 2006).

## 3. Materiales y métodos

### 3.1 Localización

El estudio se llevó a cabo en la finca La María, situada en el municipio de San Sebastián de Mariquita (Tolima), vereda Pantano Grande a 495 msnm, 5°11'2,67" N - 74°52'53,05" O. Se escogieron e identificaron árboles prototipo del cv. Lorena de 8 años de edad injertados sobre patrones antillanos y sobresalientes por producción y sanidad que ya habían alcanzado estabilidad en la producción. Las prácticas de manejo del cultivo fueron las tradicionalmente realizadas por el agricultor, haciendo especial énfasis en la nutrición y la sanidad

Se evaluaron dos ciclos productivos correspondientes a los años de 2009 y 2011. Para el análisis de la información correspondiente al periodo 2009, se partió de datos preexistentes registrados por el equipo técnico de Corpoica. Los registros del periodo de 2011, fueron tomados como se describe en el numeral 3.2.

Los criterios para la selección del lugar de estudio fueron basados en la existencia de un área representativa del cultivo, donde se contó con una historia del manejo y programas de fertilización para el cultivar sobre la cual soporta la producción y que el huerto tuviese una edad mayor o igual a 8 años productivos y sin síntomas visuales de daños por *Phytophthora cinnamomi*.

Desde el punto de vista técnico, la selección del cv. Lorena obedeció a que es el de mejor comportamiento en el mercado para el consumo interno, por su tamaño y por ser el de mayor concurrencia en las zonas productoras. Cabe destacar que el cv. Lorena es el único nativo de los cultivares que se plantan para consumo interno, lo que le confiere una mejor adaptabilidad a las condiciones del trópico colombiano (Ríos-Castaño, 2003).

## 3.2 Métodos

### 3.2.1 Abscisión global (acumulada y relativa)

Se seleccionaron cinco árboles sobresalientes en producción y sanidad. Debajo del dosel se dispuso de una polisombra con el fin de recolectar semanalmente las estructuras reproductivas que caían del árbol (Figura 3-1). Se tomaron tres submuestras por árbol, determinando el peso fresco, peso seco y número de flores y frutos en cada submuestra, este procedimiento se llevó a cabo cada 8 días.



**Figura 3-1:** Disposición de la polisombra para la colecta de estructuras reproductivas con el fin de determinar la abscisión global en aguacate cv. Lorena.

Para el cálculo de la Abscisión Acumulada (AA) y Relativa (AR) (tasa media de abscisión diaria), entre los periodos de observación se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$AA = \frac{\sum \text{Estructuras reproductivas caídas}}{\text{Total de estructuras reproductivas}} * 100$$

$$AR = \frac{Ni - Nt}{Ni * d} * 100$$

Donde  $Ni$  es el número de estructuras al inicio de un intervalo,  $Nt$  es el número de estructuras al final del intervalo y  $d$  es el número de días transcurridos (Laskowski, 2006).

### 3.2.2 Crecimiento y desarrollo del fruto

En los cinco árboles seleccionados para cuantificar la abscisión, se marcaron en cada uno y en plena apertura floral, cinco ramas con inflorescencias (Figura 3-2). Se hizo el seguimiento al crecimiento de los frutos, realizando muestreos semanales para evaluar el incremento en diámetro ecuatorial y longitudinal con la ayuda de un calibrador vernier Mítutoyo®. A las muestras se les evaluó el peso fresco y posteriormente se secaron a 105 °C durante 72 horas para determinar el peso seco. Con base en los datos obtenidos Se determinó el modelo de crecimiento no lineal tipo logístico empleando el enfoque funcional para dicho modelo, adicionalmente se calculó la tasa absoluta de crecimiento (TAC) y la tasa relativa de crecimiento (TRC) mediante las ecuaciones de la tabla 3-1 (Hunt, 1990).



**Figura 3-2:** Selección y marcado de inflorescencias de aguacate cv. Lorena.

**Tabla 3-1:** Ecuaciones utilizadas para determinar TAC y TRC

Índice	Descripción	fórmula	Unidades
TAC	Tasa absoluta de crecimiento	$(dW/dt)$	$g\ d^{-1}$
TRC	Tasa relativa de crecimiento	$(1/W)(dW/dt)$	$g\ g^{-1}\ d^{-1}$

$W$  = masa seca total (g);  $dW/dt$  = variación de la masa seca en función del tiempo.

### 3.2.3 Análisis foliar

Cada dos meses, se tomaron de los árboles inicialmente marcados, hojas jóvenes y sanas completamente expandidas (lámina más pecíolo) correspondientes unas a brotes

vegetativos y otras proveniente de bordes productivos. Las hojas se conservaron en bolsas plásticas debidamente identificadas en un termo a baja temperatura hasta llegar al laboratorio. Allí, fueron lavadas cuatro veces con agua destilada y luego secadas en estufa de aire circulante a 60°C durante 72 horas. Las hojas fueron pulverizadas en molino de acero inoxidable y tamizadas en una malla No. 40. Cada muestra fue sometida a la determinación de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, B, Zn, Na, Cl y Mo. Métodos de análisis: N, P, B (Colorimetría); S (Turbimetría); Ca, Mg, K, Al, Cu, Fe, Mn, Zn (Absorción Atómica).

Para la interpretación de los resultados del análisis foliar, se utilizó el enfoque de **Índice de Balance** desarrollado por Keenworthy (1973), citado por Salazar-García (2002) y como valores estándar de referencia se tomaron los propuestos por Robinson (1986) y Palacios (1986) citados por Salazar-García (2002). Cuando no hubo valor estándar o coeficiente de variación (CV) para algún nutrimento, este se calculó a partir de los intervalos propuestos por Embelton y Jones (1966), citados por Salazar-García y Lazcano (1999) (Tabla 3-2).

El Índice de Balance Kenworthy es un procedimiento de evaluación de las concentraciones foliares que permite determinar los desbalances nutrimentales. Se considera que la técnica de Índices de Balance es apropiada para árboles frutales ya que además de considerar en su cálculo un valor estándar (óptimo del contenido de cualquier nutrimento, incluye la variación fisiológica natural existente en una población de árboles con altos rendimientos y no requiere de una gran base de datos (Salazar-García y Lazcano, 1999).

**Tabla 3-2:** Valores estándar (S) y coeficientes de variación (CV) utilizados para calcular los Índices de Balance, en aguacate (Salazar-García y Lazcano, 1999).

Nutriente	S	C.V. (%)
N (%)	2,35	10,9
P (%)	0,14	11,1
K (%)	1,37	15,9
Ca (%)	1,86	17,6
Mg (%)	0,58	15,7
S (%)	0,4	11
Fe (ppm)	91	38,9
Cu (ppm)	10	70,4
Mn (ppm)	240	38,9
Zn (ppm)	27	32,8
B (ppm)	75	49,3
Na (ppm)	296	13,1
Cl (%)	0,25	96,3

El cálculo del Índice de Balance se hizo con las siguientes ecuaciones:

- Si X (valor reportado por el laboratorio) fue menor que el valor estándar (Tabla 5):

$$P = (X/S) 100 \quad I = (100 - P) (CV/100) \quad B = P + I$$

- Cuando X fue mayor que el valor estándar:

$$P = (X/S) 100 \quad I = (P - 100) (CV/100) \quad B = P - I$$

En donde: X = muestra problema; S = valor estándar; I = influencia de la variación; P = porcentaje del estándar; CV = coeficiente de variación; B = Índice de Balance.

Tomando como “Deficientes” los rangos de concentración de nutrientes cuyos Índices de Balance sean menores a 39,99. “Abajo Normal o Bajo” los rangos de concentración de nutrientes definidos por los Índices de Balance entre 40 a 79,99. “Suficiente o Normal” la concentración de nutrientes que oscila entre los Índices de Balance entre 80 y 119,99. “Arriba Normal o Alto” para Índices de Balance de 120 a 159,99 y “Exceso” para los Índices de Balance mayores a 160 (Salazar-García y Lazcano, 1999).

### 3.2.4 Análisis de suelo

Cada cuatro meses se tomó una muestra compuesta por tres sub-muestras a tres profundidades 0-15, 15-30 y 30-45 cm correspondiente al área donde se encontraban plantados los árboles. Se determinó textura, pH, conductividad eléctrica, y fertilidad (MO, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, B, Zn, Na, Cl y Mo), con los métodos de análisis del

Laboratorio de Suelos, Agua y Foliar de Corpoica, así: Textura: Tacto: A (arena), L (limo), Ar (arcilla); pH: Potenciometrico, relación suelo agua, 1:2,5; materia orgánica (Wakley – Black Modificado); P: Fósforo Disponible (Bray II); S y B: Azufre y Boro Disponible (Fosfato Monocálcico); Al+H: Acidez Intercambiable KCl 1N; cationes de cambio (Ca, Mg, K y Na): Acetato de amonio 1 M a pH 7,00; CICE: Capacidad de Cambio Catiónica Efectiva (suma de cationes); elementos menores (Cu, Fe, Mn, Zn): Olsen Modificado; CE.: Conductividad eléctrica.

### **3.2.5 Nutrientes en pulpa**

Una vez en al mes durante el crecimiento del fruto, se tomaron muestras de frutos de 10 árboles incluidos los inicialmente marcados. En cada árbol se colectaron dos frutos sanos tomando como base el tamaño de los frutos provenientes de las ramas marcadas y así poder adquirir frutos del mismo tamaño en los otros árboles no marcados. Los frutos se conservaron en bolsas plásticas debidamente identificadas en un termo a baja temperatura hasta llegar al laboratorio. Allí, fueron lavados cuatro veces con agua destilada y luego secados en estufa de aire circulante a 60 °C durante 72 horas. Los tejidos fueron pulverizados en molino de acero inoxidable y tamizados en una malla No. 40. Cada muestra fue sometida a la determinación de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, B, Zn, Na, Cl y Mo. Métodos de análisis: N Nitrógeno total, micro-Kjeldahl, valoración volumétrica. P: Fósforo total, calcinación a 475°C, valoración colorimétrica con molibdato y vanadato de amonio. Ca, K, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn totales, calcinación a 475°C, valoración por espectrofotometría de absorción atómica. B: Boro total, calcinación a 475°C, valoración colorimétrica con azometina-H.

### **3.3 Análisis estadístico**

En todos los casos se hizo un muestreo al azar. Los datos obtenidos fueron sometidos a estadística descriptiva y prueba de correlación de Pearson. Las variables de crecimiento se ajustaron al modelo logístico de crecimiento mediante análisis funcional. Se utilizó el Software SAS v. 9,2.

## 4. Resultados

### 4.1 Comportamiento productivo del aguacate

#### 4.1.1 Abscisión global (acumulada y relativa)

Ciclo 1, 2009

La abscisión acumulada de estructuras reproductivas, se caracterizó por presentar mayor incremento en la fase de crecimiento lento del fruto, ya que a los 19 dda, se tenía un 78,81% de abscisión, en tanto que a los 52 dda se presentó una abscisión acumulada de 98,98 %, al final de la fase de crecimiento lineal se registró un 99,83% a los 112 dda y en la fase de maduración se obtuvo un 99,97% a los 144 dda. Respecto a la abscisión relativa, esta mostro cuatro momentos de altos valores hasta la fase de maduración, a los 25 dda (11,91 %/d) en la fase de crecimiento lento, a los 60 dda (6,61 %/d) al inicio del crecimiento lineal, al inicio de la maduración a los 116 dda (3,82 %/d), y final de esta a los 133 dda con 5,97 %/d (Figura 4-1).

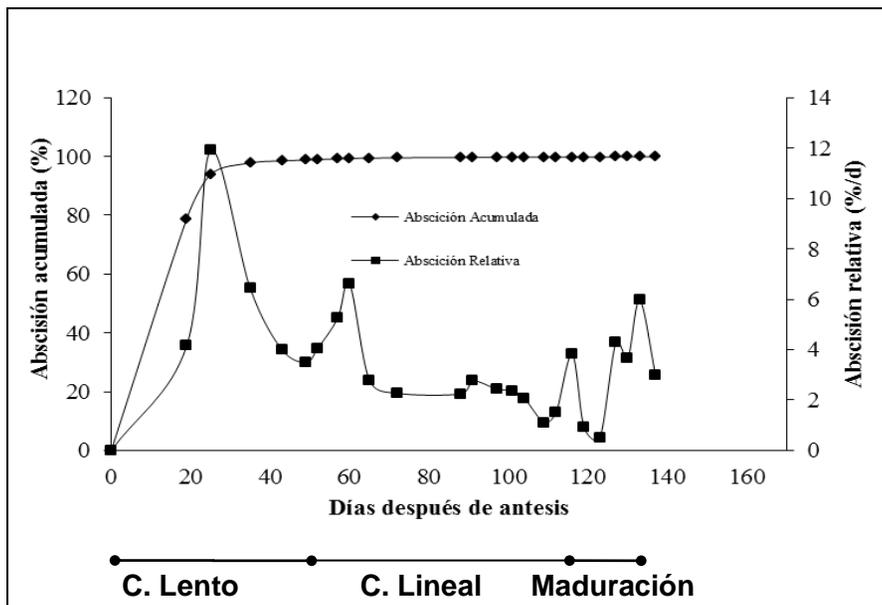
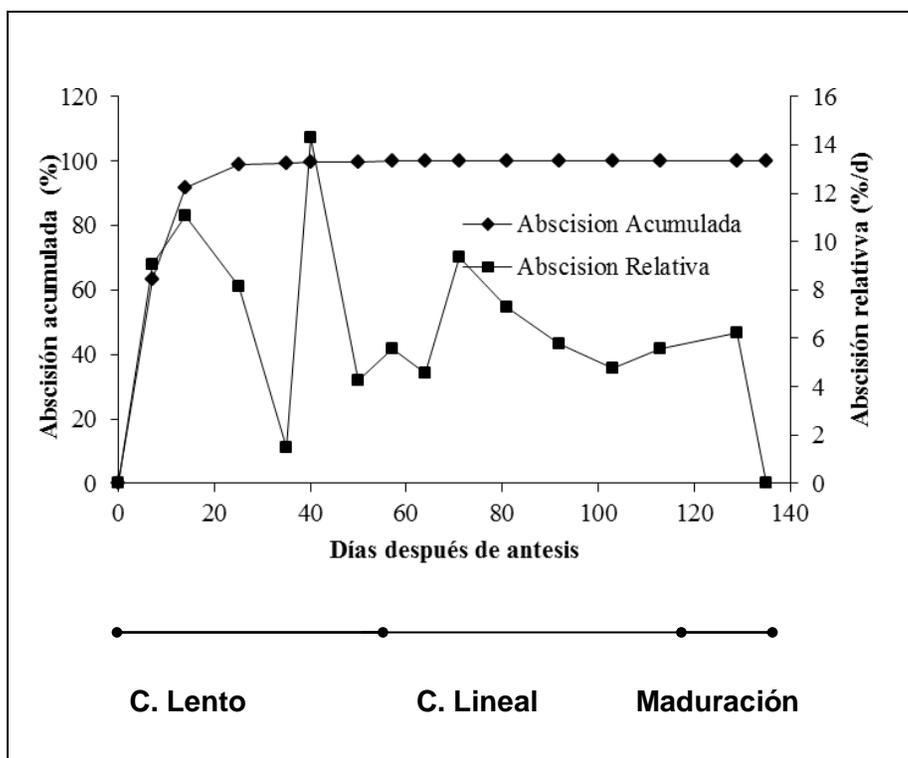


Figura 4-1: Abscisión acumulada y relativa durante el desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2009.

**Ciclo 2, 2011**

Se encontró que la abscisión acumulada tuvo un mayor incremento en la fase de crecimiento lento, principalmente en los primeros 14 dda donde la abscisión fue de 91,76%, durante la fase de crecimiento lineal la abscisión fue aumentado levemente hasta estabilizarse en 99,99% a los 81 dda y en la maduración presento su mayor valor del 100% a los 129 dda. Respecto a la abscisión relativa, presentó cuatro momentos de aumento, donde se destacan altos valores a los 14 (11,1 %/d), 40 (14,3 %/d) en la fase de crecimiento lento, a los 71 dda (9,4%/d) en la fase de crecimiento lineal y 129 dda (6,3 %/d), indicando que los mayores valores de abscisión relativa estuvieron en la fase exponencial o de crecimiento lento (Figura 4-2).



**Figura 4-2:** Abscisión acumulada y relativa durante el desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena. Año 2011.

## 4.1.2 Crecimiento y desarrollo del fruto

### Ciclo 1, 2009

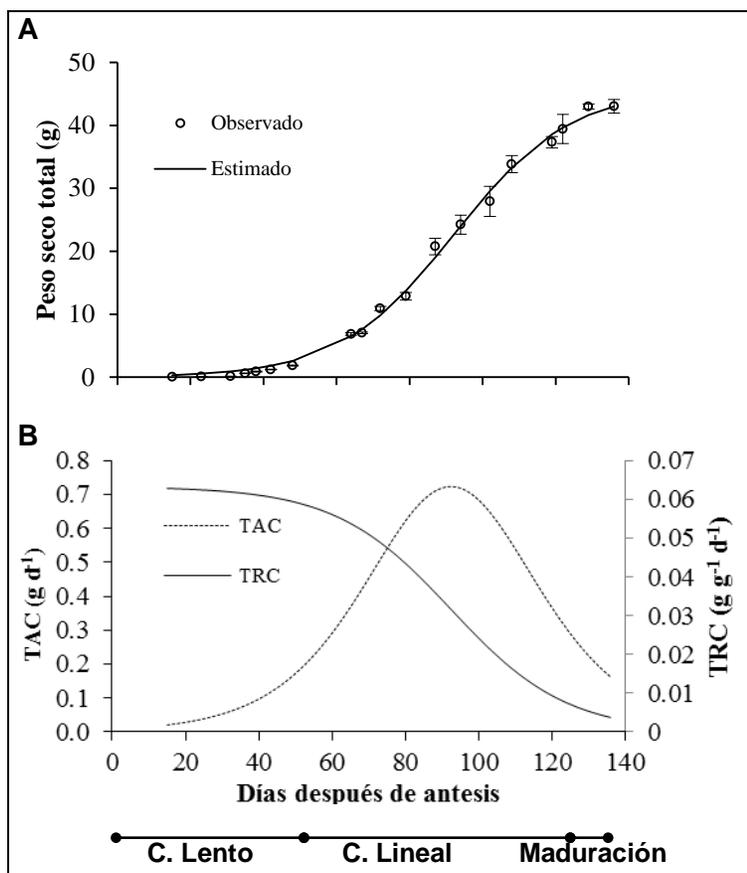
De acuerdo con el comportamiento de los pesos secos (total, semilla y pulpa) se establecieron tres fases o estados de desarrollo del fruto, primera fase o de crecimiento lento, la cual fue seguida de la fase de crecimiento lineal y finalmente estuvo la fase de maduración (Figuras 4-3, 4-4 y 4-5). Se encontró que los diámetros ecuatorial y longitudinal no son parámetros adecuados para establecer las fases de desarrollo del fruto de aguacate porque dependen en gran medida del estatus hídrico del fruto, y las duraciones de las fases aparentemente son diferentes, sin embargo, se describió el comportamiento de estas variables en las fases de desarrollo del fruto (Figuras 4-6 y 4-7). Estos parámetros de crecimiento se ajustaron al modelo de crecimiento logístico, cuyas ecuaciones se presentan en la tabla 4-1.

La fase de crecimiento lento comprendió desde la antesis hasta los 48 dda, se caracterizó por baja acumulación de peso, de esta manera la TAC incremento levemente y la TRC permaneció casi estable, pero los diámetros tuvieron un mayor aumento. Al final de esta etapa, el peso seco total fue de 1,864 g, acompañado de una TAC de 0,1546 g d<sup>-1</sup> y una TRC de 0,0597 g g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. Los pesos secos de semilla y de pulpa fueron 0,278 y 1,184 g respectivamente, por su parte la TAC para cada peso fue 0,0246 y 0,104 y la TRC 0,059 y 0,0528 g g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> (Figuras 4-3, 4-4 y 4-5). A los 48 dda, el fruto alcanzó 26,61 y 38,6 mm de diámetro ecuatorial y longitudinal, en este mismo punto, la TAC fue de 0,825 y 1,2 mm d<sup>-1</sup>, mientras que la TRC fue igual para los dos diámetros con 0,0315 g mm<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> (Figuras 4-6 y 4-7).

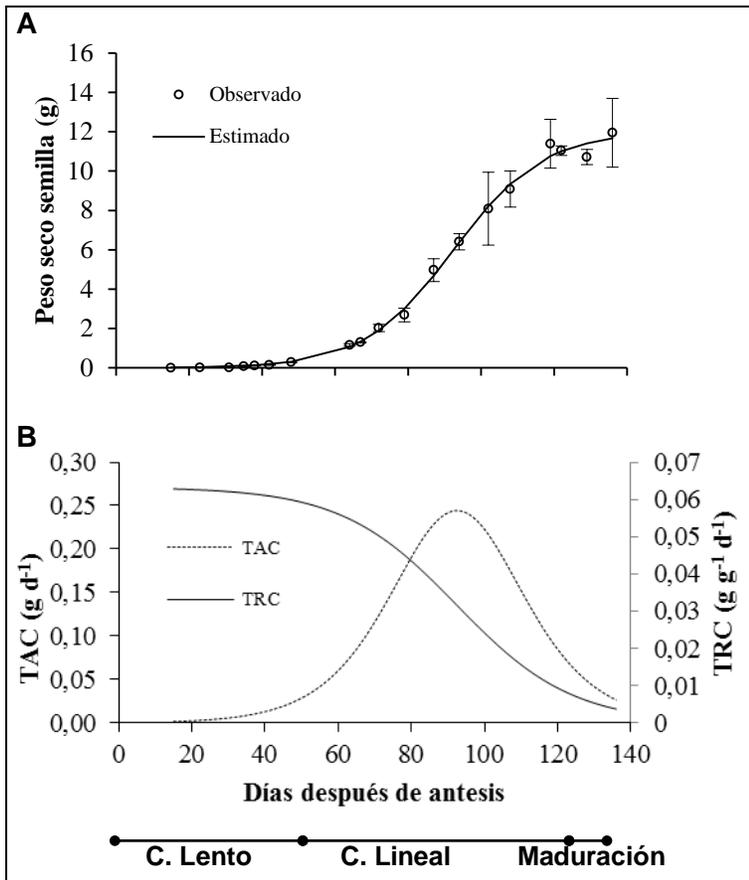
En la fase de crecimiento lineal, los incrementos de peso y diámetro fueron representativos, se alcanzó la mayor TAC y la más alta disminución de la TRC, indicando que fue la fase de mayor crecimiento. Esta fase finalizó a los 119 dda, en este punto, el peso seco total, de semilla y pulpa fueron 37,3, 11,39 y 22,05 g respectivamente (Figuras 4-3, 4-4 y 4-5), mientras que los diámetros ecuatorial y longitudinal fueron de 67,84 y 99,37 mm (Figuras 4-6 y 4-7).

La fase de maduración, que finalizó con la cosecha a los 136 dda; se caracterizó porque el crecimiento fue bajo, lo que correspondió con la mayor disminución de la TAC y estabilización de la TRC. Los valores encontrados en la cosecha fueron 43,02, 11,94 y

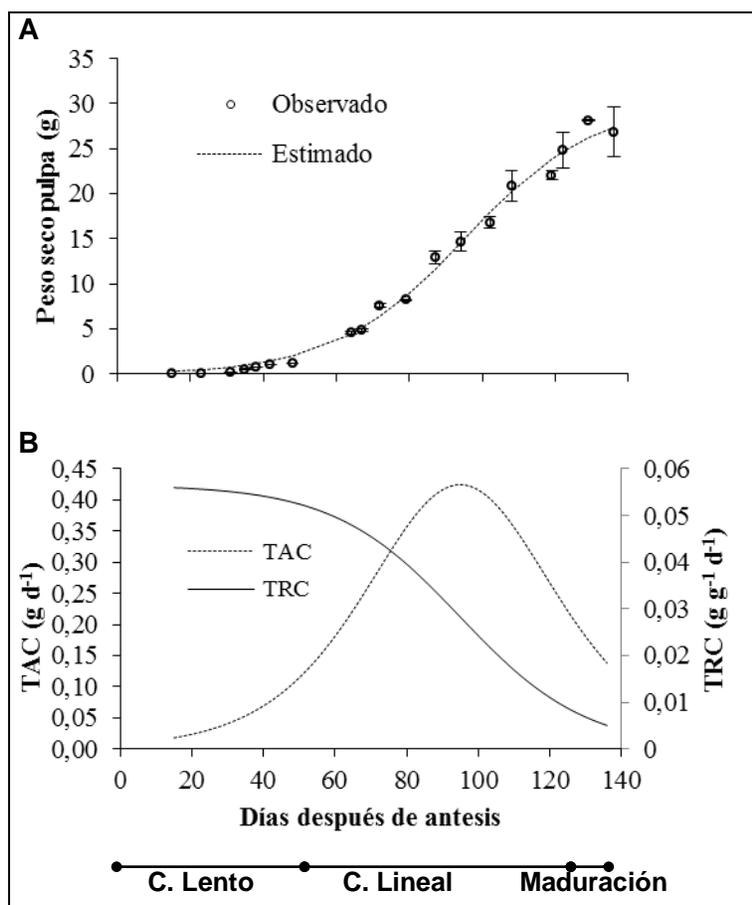
26,82 g para peso seco total, de semilla y pulpa, respectivamente (Figuras 4-3, 4-4 y 4-5), por su parte, los diámetros ecuatorial y longitudinal fueron de 73,3 y 102,97 mm (Figuras 4-6 y 4-7).



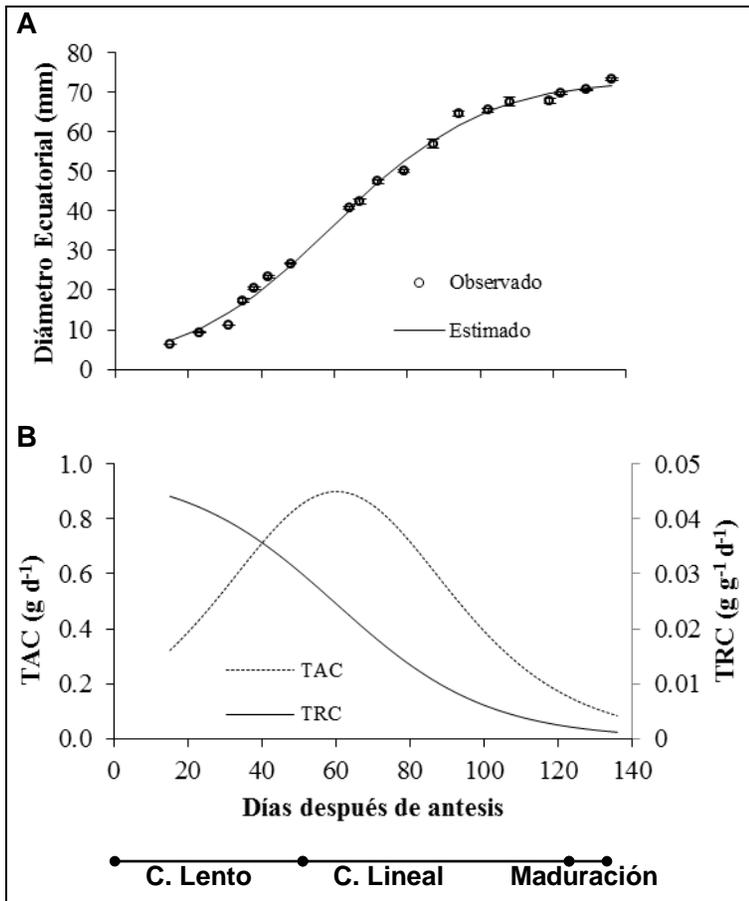
**Figura 4-3:** Fases de desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2009, con base en el comportamiento de: A. Peso seco total; B. TAC y TRC. Las barras verticales indican el error estándar (n=5).



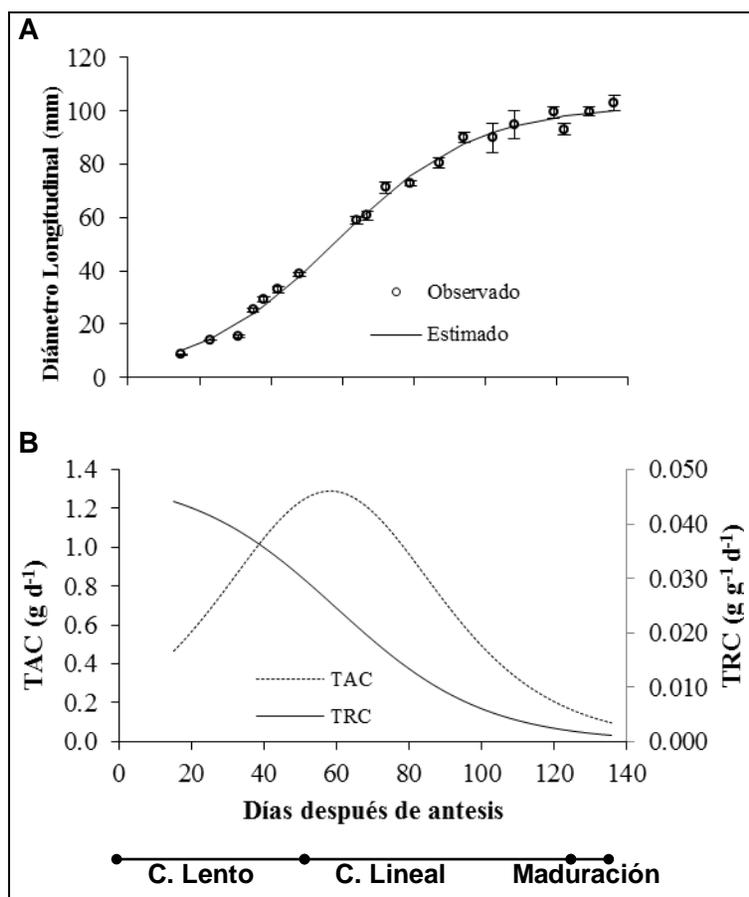
**Figura 4-4:** Fases de desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2009, con base en el comportamiento de: A. Peso seco de semilla; B. TAC y TRC. Las barras verticales indican el error estándar (n=5).



**Figura 4-5:** Fases de desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2009, con base en el comportamiento de: A. Peso seco de pulpa; B. TAC y TRC. Las barras verticales indican el error estándar (n=5).



**Figura 4-6:** Fases de desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2009, con base en el comportamiento de: A. Diámetro ecuatorial; B. TAC y TRC. Las barras verticales indican el error estándar (n=5).



**Figura 4-7:** Fases de desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2009, con base en el comportamiento de: A. Diámetro longitudinal; B. TAC y TRC. Las barras verticales indican el error estándar (n=5).

**Tabla 4-1:** Ecuaciones del modelo logístico para las variables de crecimiento del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2009.

Parámetro	Modelo	R <sup>2</sup>
Peso seco total	$Y = 45,7337 / 1 + e^{-0,0633 \cdot (dda-92,442)}$	0,99
Peso seco semilla	$Y = 11,9949 / 1 + e^{-0,0815 \cdot (dda-92,492)}$	0,97
Peso seco pulpa	$Y = 30,0258 / 1 + e^{-0,0566 \cdot (dda-94,9493)}$	0,98
Diámetro ecuatorial	$Y = 73,5004 / 1 + e^{-0,049 \cdot (dda-60,086)}$	0,99
Diámetro longitudinal	$Y = 101,8 / 1 + e^{-0,0507 \cdot (dda-58,258)}$	0,99

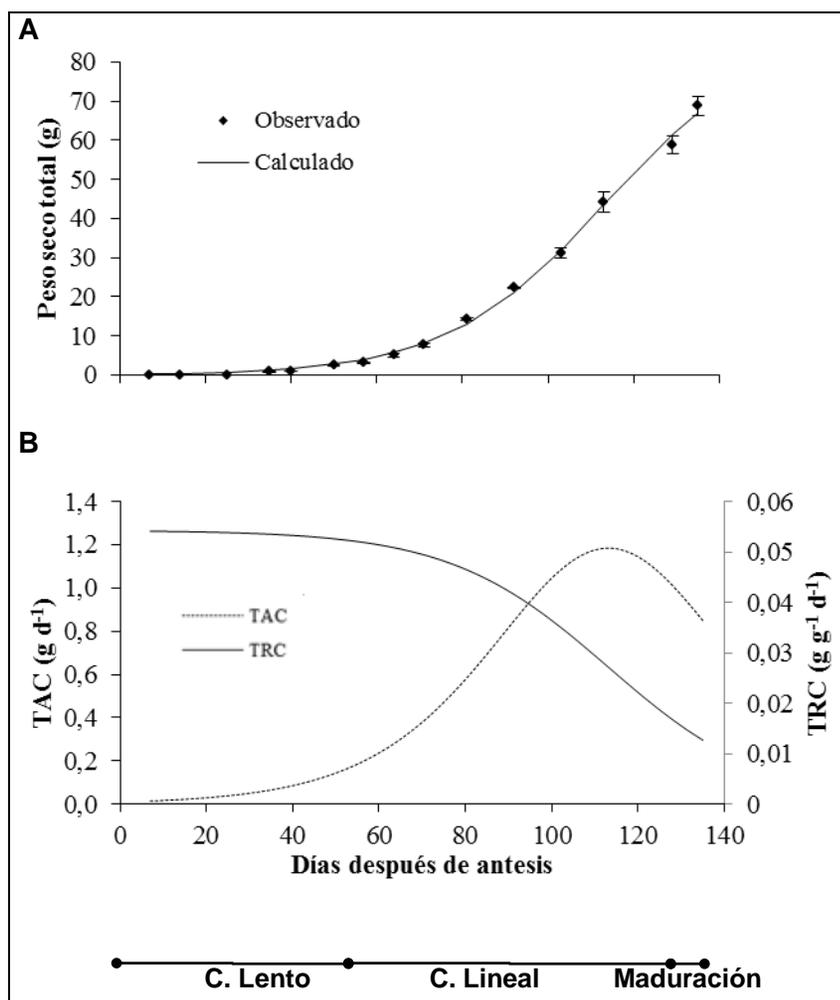
## Ciclo 2, 2011

Se determinaron tres fases de desarrollo del fruto de aguacate con base en el comportamiento de los pesos secos total, de semilla y pulpa. El primer estado correspondió a la fase de crecimiento lento que se extendió hasta los 57 dda, luego vino la fase de crecimiento lineal que finalizó a los 118 dda y finalmente estuvo la fase de maduración que concluyó con la cosecha a los 135 dda (Figuras 4-8, 4-9 y 4-10, Tabla 4-2).

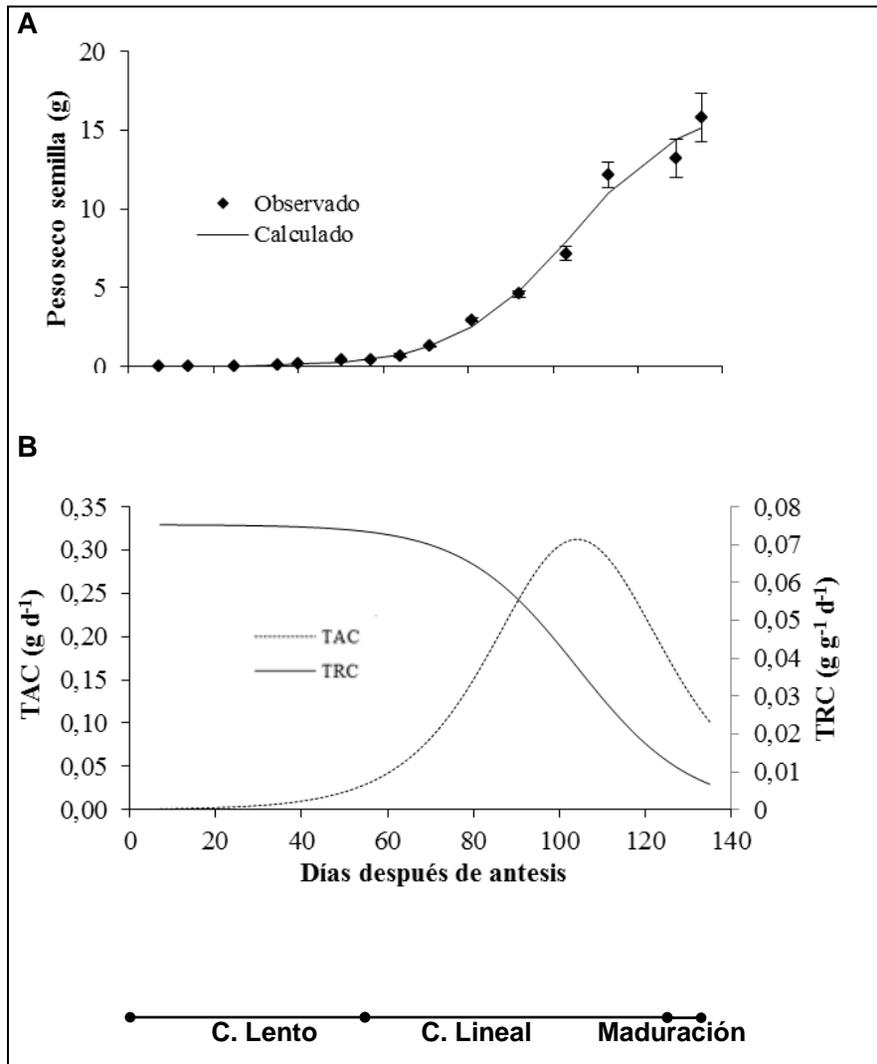
En la fase de crecimiento lento hubo poca ganancia de peso, lo cual se reflejó en que la TAC presentó un leve incremento y la TRC permaneció más o menos estable, sin embargo, los diámetros presentaron un mayor aumento en esta fase. Al final de este estado, el peso seco total fue de 3,116 g, junto con una TAC de  $0,205 \text{ g d}^{-1}$  y una TRC de  $0,0518 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$  (Figura 4-8). Los pesos secos de semilla y de pulpa fueron 0,41 y 2,706 g respectivamente, por su parte la TAC para cada peso fue 0,034 y 0,165 y la TRC 0,0731 y  $0,047 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$  (Figuras 4-9 y 4-10). En este mismo punto, el fruto alcanzó 31,214 y 47,154 mm de diámetro ecuatorial y longitudinal, en este mismo punto, la TAC fue de 0,769 y  $1,18 \text{ g d}^{-1}$ , mientras que la TRC fue de  $0,0253 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$   $0,0258 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$  respectivamente (Figura 4-11 y 4-12).

Respecto a la fase de crecimiento lineal, los incrementos de peso y diámetro fueron representativos, indicando que fue la fase de mayor crecimiento, lo cual se corroboró con la más alta TAC y la mayor disminución de la TRC. Al final de esta fase, el peso seco total, de semilla y pulpa fueron 49,42, 12,29 y 37,23 g respectivamente (Figuras 4-8, 4-9 y 4-10), mientras que los diámetros ecuatorial y longitudinal fueron de 69,69 y 93,10 mm (Figuras 4-11 y 4-12).

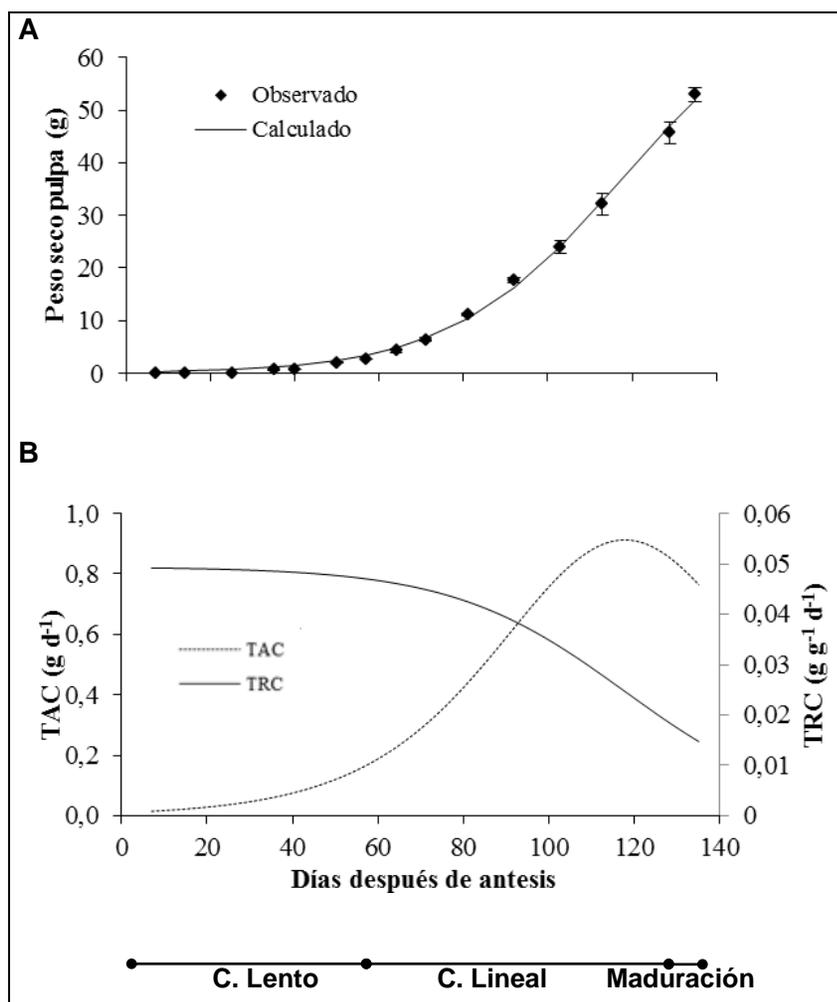
La fase de maduración, que finalizó con la cosecha a los 135 dda, se caracterizó porque el crecimiento fue bajo, lo que correspondió con la mayor disminución de la TAC y estabilización de la TRC. Los valores encontrados en la cosecha fueron 68,812, 15,82 y 52,98 g para peso seco total, de semilla y pulpa, respectivamente (Figuras 4-8, 4-9 y 4-10), por su parte, los diámetros ecuatorial y longitudinal fueron de 84,3 y 123,44 mm (Figuras 4-11 y 4-12).



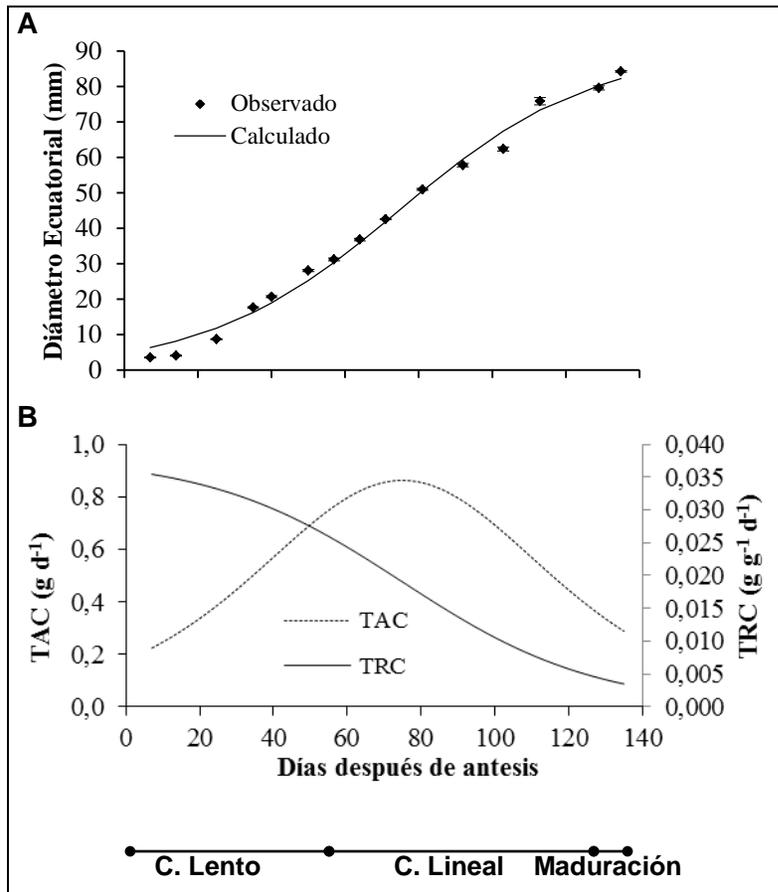
**Figura 4-8:** Fases de desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2011, con base en el comportamiento de: A. Peso seco total; B. TAC y TRC. Las barras verticales indican el error estándar (n=5).



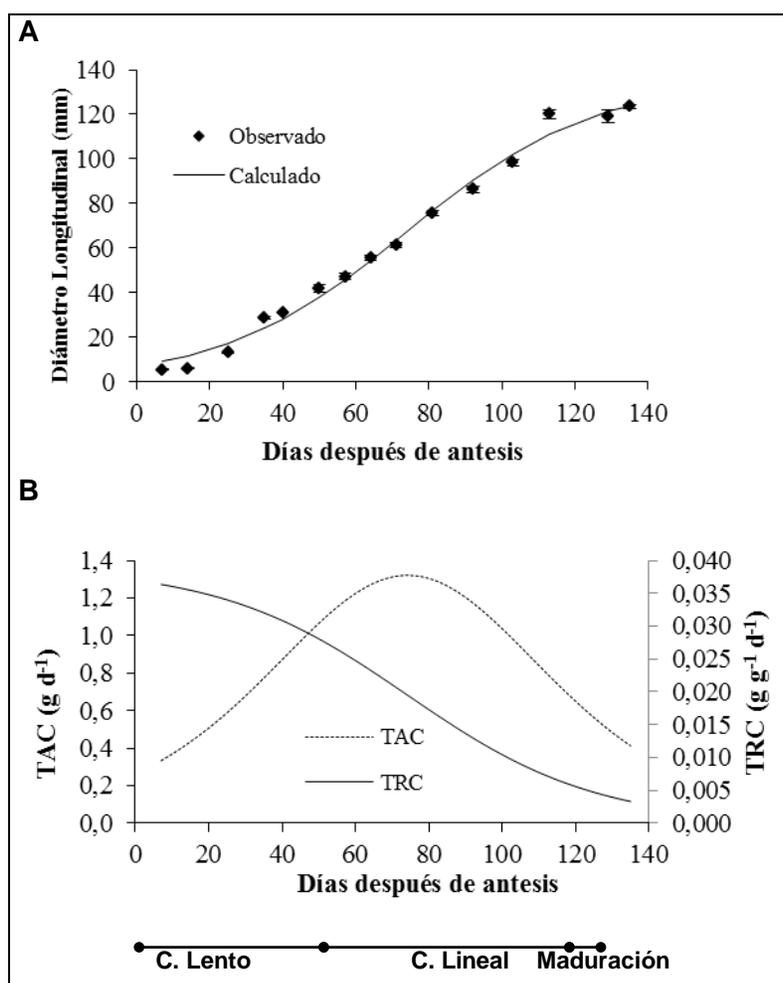
**Figura 4-9:** Fases de desarrollo del fruto de aguacate variedad Lorena, año 2011, con base en el comportamiento de: A. Peso seco de semilla; B. TAC y TRC. Las barras verticales indican el error estándar (n=5).



**Figura 4-10:** Fases de desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2011, con base en el comportamiento de: A. Peso seco de pulpa; B. TAC y TRC. Las barras verticales indican el error estándar (n=5).



**Figura 4-11:** Fases de desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2011, con base en el comportamiento de: A. Diámetro ecuatorial; B. TAC y TRC. Las barras verticales indican el error estándar (n=5).



**Figura 4-12:** Fases de desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2011, con base en el comportamiento de: A. Diámetro longitudinal; B. TAC y TRC. Las barras verticales indican el error estándar (n=5).

**Tabla 4-2:** Ecuaciones del modelo logístico para las variables de crecimiento del fruto de aguacate cv. Lorena, año 2011.

Parámetro	Modelo	R <sup>2</sup>
Peso seco total	$Y = 87,2898 / 1 + e^{-0,0543 \cdot (dda - 113,1)}$	0,98
Peso seco semilla	$Y = 16,6067 / 1 + e^{-0,0753 \cdot (dda - 104,1)}$	0,97
Peso seco pulpa	$Y = 73,9058 / 1 + e^{-0,0494 \cdot (dda - 117,7)}$	0,99
Diámetro ecuatorial	$Y = 90,5749 / 1 + e^{-0,0381 \cdot (dda - 74,9086)}$	0,96
Diámetro longitudinal	$Y = 135,5 / 1 + e^{-0,039 \cdot (dda - 74,1949)}$	0,95

## 4.2 Relaciones nutrimentales

### 4.2.1 Evolución de nutrientes a nivel foliar

Ciclo 1, 2009

#### Elementos mayores en hojas provenientes de brotes reproductivos

**Nitrógeno.** En hojas de brotes reproductivos, se encontró que el contenido de N osciló entre 1,17% y 2,14%, en la fase de crecimiento lento, este elemento disminuyó a valores inferiores a 2%, mientras que en la fase de crecimiento lineal y maduración la concentración se incrementó; en esta última fase, la concentración fue de 2,14% y nuevamente volvió a disminuir posterior a la cosecha (Figura 4-13A).

**Fósforo.** Disminuyó levemente hasta la fase de crecimiento lineal, posteriormente, tuvo un rápido incremento hasta los 159 dda (fase de maduración), donde alcanzó su máxima concentración con 0,26%, luego tuvo un marcado descenso hasta los 187 dda con 0,11% (Figura 4-13C).

**Potasio.** Este elemento decreció en las primeras fases de desarrollo del fruto, alcanzando su punto más bajo a los 92 dda (0,42%), luego incrementó y su valor máximo fue a los 159 dda con 0,69% (Figura 4-13B).

**Calcio.** La mayor concentración se encontró en la antesis, la tendencia de este elemento fue de disminución, con un leve aumento en la fase de maduración, a los 187 dda el valor encontrado fue de 1,74% (Figura 4-13D).

**Magnesio.** Incrementó drásticamente hasta los 71 dda y alcanzó una concentración de 1,31%, después decreció de forma representativa a los 92 dda (fase de crecimiento lineal) para permanecer casi constante a los 187 dda (Figura 4-13E).

**Azufre.** Tuvo un comportamiento irregular, presentó valores máximos a los 71 y 187 dda con 0,23% y 0,22% respectivamente (Figura 4-13F).

#### Análisis de correlaciones

En general, hubo baja correlación entre el crecimiento del fruto y las diferentes concentraciones de los elementos mayores en hojas de yemas reproductivas. Se

destacaron algunas correlaciones entre elementos, por ejemplo, entre el N y el P, el K y el S, aunque con este último fue negativa. El S tuvo correlación negativa con el P y el Ca. El Ca mostró relación directa con el Mg (Tabla 4-3).

**Tabla 4-3:** Correlaciones de Pearson entre la masa seca total (MST), de semilla (MSS) de pulpa (MSP) del fruto de aguacate cv. Lorena y los elementos mayores en hojas provenientes de brotes reproductivos. \*\* nivel de significancia al 1%, \* nivel de significancia al 5%, ns: sin diferencias significativas.

	MST	MSS	MSP	N	P	K	Ca	Mg	S
MST	1	0,99 **	0,99 **	0,48 ns	0,40	0,36	-0,47	-0,36 ns	0,24
MSS		1	0,99 **	0,49 ns	0,42	0,37	-0,46	-0,35 ns	0,24
MSP			1	0,48 ns	0,41	0,36	-0,46	-0,36 ns	0,25
N				1	0,98 **	0,66 *	0,54 ns	0,39 ns	-0,67 *
P					1	0,51	0,59 ns	0,31 ns	-0,77 *
K						1	0,33 ns	0,72 *	-0,17
Ca							1	0,76 *	-0,91 *
Mg								1	-0,47
S									1

### Elementos mayores en hojas provenientes de brotes vegetativos

**Nitrógeno.** El contenido más alto se encontró en la antesis (2,1%), de ahí en adelante, el comportamiento fue muy variable, se observaron otros puntos máximos en la maduración (2,04%) y a los 208 dda (2,02%) que corresponde al Estado 0 (Figura 4-13A).

**Fósforo.** La disminución de la concentración de este elemento fue leve durante el desarrollo del fruto; sin embargo, hubo un pequeño incremento desde la fase crecimiento lineal hasta la maduración a los 159 dda (0,14%), (Figura 4-13C).

**Potasio:** En la maduración se reportó la mayor concentración (1,72%), en las demás fases, la concentración fue inferior a 1,18% (Figura 4-13B).

**Calcio.** Mostró un comportamiento muy irregular, solo hubo aumentos entre el final de la fase lineal y la maduración y después entre los 187 y 208 dda del estado vegetativo, en este último punto, se presentó la mayor concentración con 3,1% (Figura 4-13D).

**Magnesio.** En la antesis se encontró la mayor concentración (0,375%), aunque predominó la tendencia a la disminución de la concentración de este elemento, hubo aumentos en la maduración y a los 208 dda (Figura 4-13E).

**Azufre.** La concentración de este elemento se incrementó durante la fase de crecimiento lento a 0,21%, en la fase de crecimiento lineal y maduración disminuyó rápidamente, pero tuvo un leve incremento durante el Estado 0; sin embargo, a los 232 dda decreció marcadamente y alcanzó valores 0,02% (Figura 4-13F).

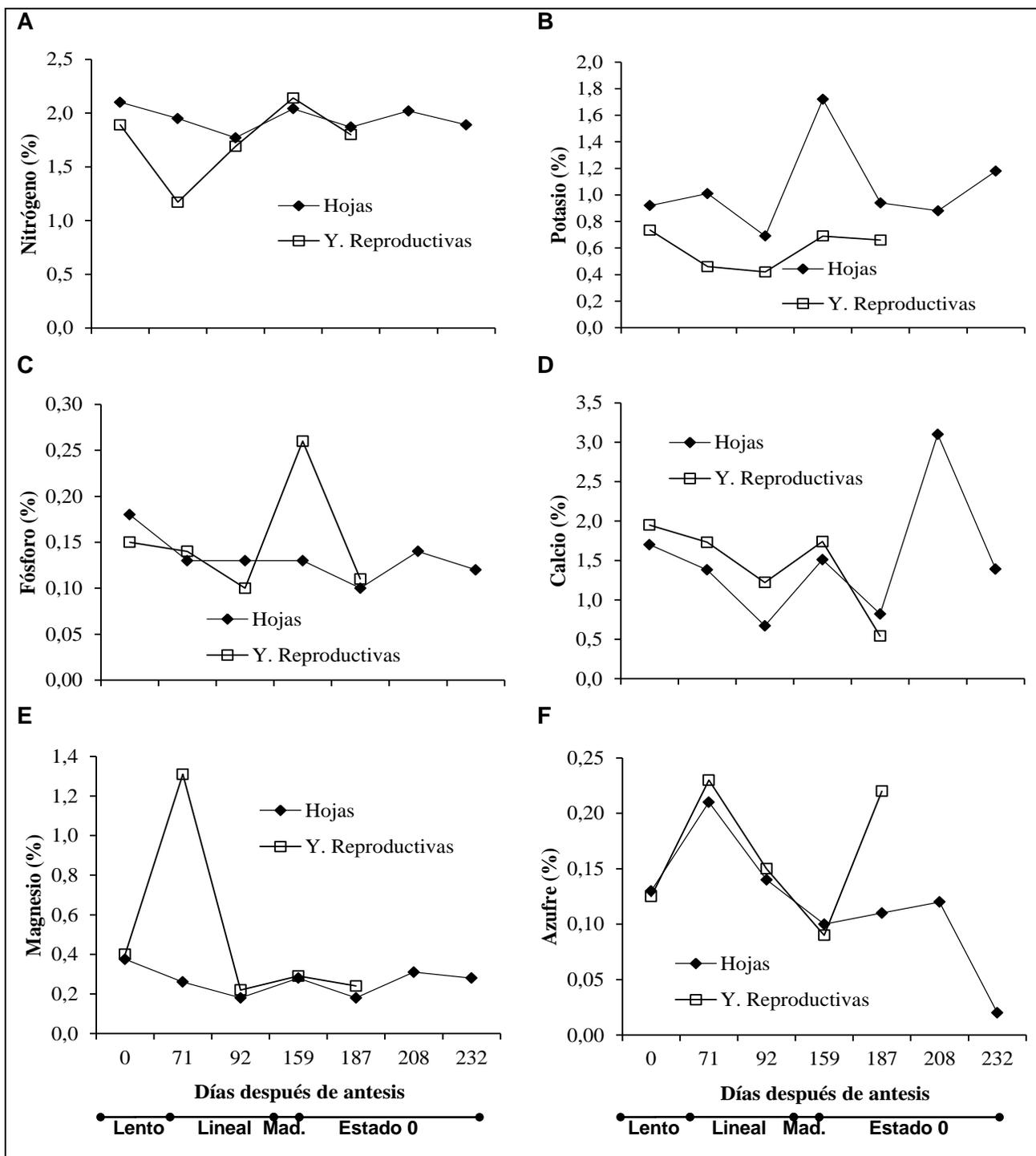
#### **Análisis de correlaciones**

La masa seca del fruto presentó correlación significativa y directa con el K, e inversa con P y S. Entre elementos, a medida que hubo mayor incremento del N, también aumentó el P, K, Ca y Mg. El P mostró correlación con el Ca y el Mg, el Ca con el Mg, y el S con el K aunque fue inversa (Tabla 4-4).

**Tabla 4-4:** Correlaciones de Pearson entre la masa seca total (MST), de semilla (MSS) de pulpa (MSP) del fruto de aguacate cv. Lorena y los elementos mayores en hojas provenientes de brotes vegetativos. \*\* nivel de significancia al 1%, \* nivel de significancia

	MST	MSS	MSP	N	P	K	Ca	Mg	S
MST	1	0,99 **	0,99 **	0,01 ns	-0,7*	0,62*	-0,08 ns	-0,35 ns	-0,9**
MSS		1	0,99 **	0,03 ns	-0,7*	0,62*	-0,07 ns	-0,33 ns	-0,93**
MSP			1	0,02 ns	-0,74*	0,63*	-0,08 ns	-0,34 ns	-0,93**
N				1	0,66*	0,6*	0,99**	0,93 **	-0,4 ns
P					1	-0,07 ns	0,73*	0,88*	0,44 ns
K						1	0,55 ns	0,28 ns	-0,8*
Ca							1	0,95**	-0,28 ns
Mg								1	-0,01 ns
S									1

al 5%, ns: sin diferencias significativas.



**Figura 4-13:** Contenido foliar de nutrientes mayores en hojas, provenientes de brotes reproductivos y brotes vegetativos de árboles de aguacate cv. Lorena, año 2009, durante el crecimiento y desarrollo del fruto. A. Nitrógeno, B. Potasio, C. Fósforo, D. Calcio, E. Magnesio y F. Azufre.

## Ciclo 2, 2011

### Elementos mayores en hojas provenientes de brotes reproductivos

**Nitrógeno.** Osciló continuamente, tuvo puntos máximos en la antesis (1,43%), a los 71 dda (1,77%) y 158 dda (1,45%) (Figura 4-14A).

**Fósforo.** Tuvo un leve incremento de los 0 a los 34 dda, pero luego disminuyó de forma representativa y a los 59 dda tuvo un valor de 0,1%, permaneció estable hasta los 71 dda, luego incrementó hasta los 129 dda para finalmente disminuir en la cosecha (Figura 4-14C).

**Potasio.** La concentración de K incrementó continuamente hasta los 59 dda, donde alcanzó su máximo valor (0,82%), posteriormente disminuyó hasta la cosecha donde alcanzó una concentración de 0,45% (Figura 4-14B).

**Calcio.** Se observó un incremento continuo del calcio hasta los 59 dda, en ese momento alcanzó la máxima concentración (4,54%), posteriormente mostró una disminución representativa hasta la cosecha, donde tuvo el valor más bajo con tan solo 0,33% (Figura 4-14D).

**Magnesio.** Hubo una relación lineal directa entre el incremento de la concentración de magnesio y el desarrollo del fruto hasta los 59 dda, aquí presentó el valor más alto (0,42%) y luego disminuyó hasta la cosecha, aunque a los 129 dda tuvo un leve incremento (Figura 4-14E).

**Azufre.** Se presentó un rápido incremento hasta los 34 dda, momento en que se alcanzó la máxima concentración (0,27%), luego tuvo un rápido descenso hasta los 71 dda, volvió a incrementar a los 129 dda para finalmente descender de forma drástica en la cosecha con un valor de 0,02% (Figura 4-14F).

### Análisis de correlaciones

En general, hubo baja correlación entre el crecimiento del fruto y los elementos mayores en brotes reproductivos. Se destacaron algunas correlaciones, por ejemplo, la correlación

negativa entre la masa seca del fruto y el N y el Ca, y la correlación negativa entre estos dos elementos, así como la correlación positiva entre el Mg, el P y el K (Tabla 4-5).

**Tabla 4-5:** Correlaciones de Pearson entre la masa seca total (MST), de semilla (MSS) de pulpa (MSP) del fruto de aguacate cv. Lorena y los elementos mayores en brotes reproductivos. \*\* nivel de significancia al 1%, \* nivel de significancia al 5%, ns: sin diferencias significativas.

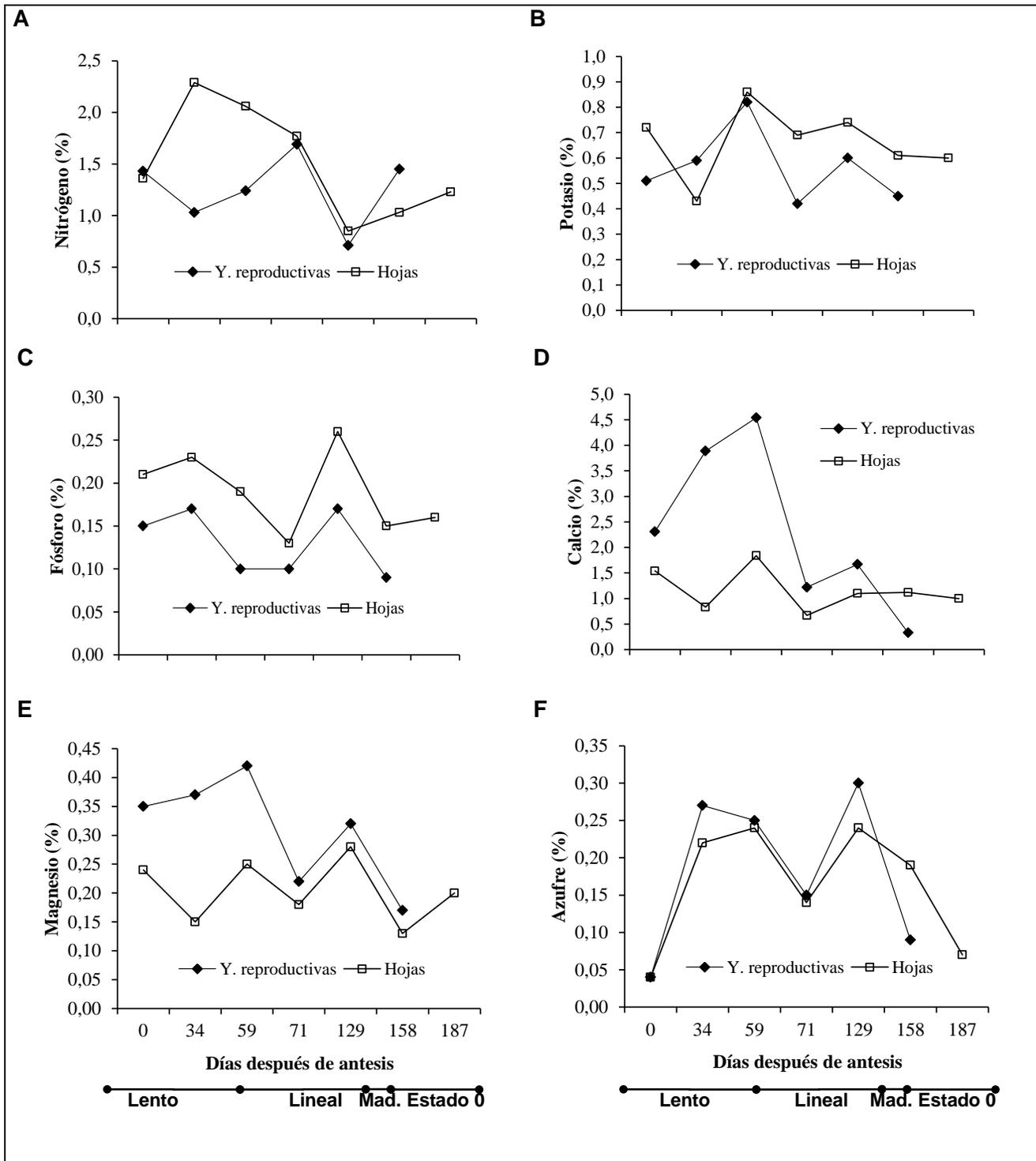
	MST	MSS	MSP	N	P	K	Ca	Mg	S
MST	1	0,98*	0,94*	-0,81*	0,03 ns	-0,64 ns	-0,92 *	-0,36 ns	0,47 ns
MSS		1	0,88*	-0,78*	-0,10 ns	0,71 ns	-0,91 *	-0,49 ns	0,43 ns
MSP			1	0,82*	0,36 ns	-0,43 ns	-0,88 *	-0,03 ns	0,52 ns
N				1	-0,28 ns	0,76 ns	0,96 *	0,19 ns	0,05 ns
P					1	0,36 ns	-0,14 ns	0,88 *	0,08 ns
K						1	0,78 ns	0,74 *	0,29 ns
Ca							1	0,33 ns	-0,13 ns
Mg								1	0,09 ns
S									1

#### Elementos mayores en hojas provenientes de brotes vegetativos

**Nitrógeno.** Este elemento aumentó representativamente de los 0 a los 34 dda para alcanzar la mayor concentración (2,29%), pero luego sufrió un descenso representativo hasta los 129 dda, luego aumentó levemente hasta los 187 dda (Figura 4-14A).

**Fósforo.** Tuvo un leve incremento de los 0 a los 34 dda, pero luego disminuyó hasta los 59 dda y alcanzó un valor de 0,19%, después se observó un incremento representativo y llegó a su máxima concentración a los 129 dda (0,26%), luego el P disminuyó (Figura 4-14C).

**Potasio.** Hasta los 34 dda la concentración de K disminuyó a 0,43%, inmediatamente, la concentración se aumentó hasta 0,86% a los 59 dda y después disminuyó continuamente hasta los 187 dda (Figura 4-14B).



**Figura 4-14:** Contenido foliar de nutrientes mayores en hojas, de brotes reproductivos y brotes vegetativos de árboles de aguacate cv. Lorena, año 2011, durante el crecimiento y desarrollo del fruto. A. Nitrógeno, B. Potasio, C. Fósforo, D. Calcio, E. Magnesio y F. Azufre.

**Calcio.** Sufrió una leve disminución a los 34 dda (0,83%), luego incrementó hasta los 59 dda para llegar a su máxima concentración (1,84%), después disminuyó y desde los 129 dda permaneció casi constante (Figura 4-14D).

**Magnesio.** Con un comportamiento oscilatorio, presentó puntos máximos a los 0, 59, 129 y 187 dda, con una concentración máxima a los 129 dda (0,28%) y mínima (0,13%) a los 158 dda (Figura 4-14E).

**Azufre.** Se presentó un rápido incremento hasta los 34 dda; sin embargo, alcanzó la máxima concentración (0,24%) a los 59 dda, en tanto que disminuyó a los 71 dda para luego incrementar a los 129 dda y finalmente volver a disminuir hasta los 187 dda (Figura 4-14F).

#### **Análisis de correlaciones**

La masa seca de semilla del fruto presentó correlación significativa y negativa con el Ca y el Mg. Entre elementos, a medida que hubo mayor incremento del Ca, también aumentó el Mg y el K (Tabla 4-6).

**Tabla 4-6:** Correlaciones de Pearson entre la masa seca total (MST), de semilla (MSS) de pulpa (MSP) del fruto de aguacate cv. Lorena y los elementos mayores en hojas de brotes vegetativos. \*\* nivel de significancia al 1%, \* nivel de significancia al 5%, ns: sin diferencias significativas.

	<b>MST</b>	<b>MSS</b>	<b>MSP</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
<b>MST</b>	1	0,98*	0,94*	-0,41ns	0,04ns	-0,48ns	-0,78ns	-0,77ns	0,23ns
<b>MSS</b>		1	0,88*	-0,28ns	-0,07ns	-0,53ns	-0,82*	-0,84*	0,12ns
<b>MSP</b>			1	-0,68ns	0,32ns	-0,33ns	-0,64ns	-0,53ns	0,45ns
<b>N</b>				1	0,65ns	-0,29ns	-0,04ns	-0,24ns	-0,85ns
<b>P</b>					1	-0,13ns	-0,07ns	0,29ns	0,23ns
<b>K</b>						1	0,91*	0,81*	0,68ns
<b>Ca</b>							1	0,93*	0,38ns
<b>Mg</b>								1	0,40ns
<b>S</b>									1

## Ciclo 1, 2009

### Elementos menores en hojas provenientes de brotes reproductivos

**Cobre.** Presentó incrementos en la fase lineal ( $529,6 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y a los 187 dda ( $570,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ), pero al final de la maduración tuvo la concentración más baja con  $122,1 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 4-15A).

**Hierro.** Disminuyó continuamente durante todo el desarrollo, sin embargo, la mayor disminución se observó entre la antesis y el crecimiento lento, en esta última fase la concentración de Fe fue de  $7,3 \text{ mg kg}^{-1}$  y al final del estado 0 de  $6 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 4-15B).

**Manganeso.** Se caracterizó por presentar una rápida disminución durante la fase de lento crecimiento e inicio de la fase de crecimiento lineal, luego tuvo un incremento muy leve hasta la maduración y después decreció, aunque muy poco, el máximo valor ( $190,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ) se obtuvo en la antesis (Figura 4-15C).

**Boro.** Con un incremento continuo, el B alcanzó su máxima concentración a los 92 dda (crecimiento lineal) con  $205 \text{ mg kg}^{-1}$ , pero inmediatamente se observó una disminución bastante marcada hasta llegar a valores de  $30,7 \text{ mg kg}^{-1}$  en la maduración, concentración que permaneció casi estable hasta el final del estudio (Figura 4-15B).

**Zinc.** En la antesis se presentó la máxima concentración con  $343,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ; sin embargo, durante el desarrollo del fruto, los niveles de Zn decrecieron bastante rápido, principalmente hasta el inicio de la maduración (Figura 4-15E).

### Análisis de correlaciones

El Fe fue el único elemento que presentó correlación significativa con la masa seca del fruto; sin embargo, la correlación fue inversa. No obstante, mostró correlación significativa con el Mn y el Zn, estos dos últimos también tuvieron una correlación directa y significativa, al igual que entre el Na y el Cu (Tabla 4-7).

**Tabla 4-7:** Correlaciones de Pearson entre la masa seca total (MST), de semilla (MSS) de pulpa (MSP) del fruto de aguacate cv. Lorena y los elementos menores en hojas de brotes reproductivos. \*\* nivel de significancia al 1%, \* nivel de significancia al 5%, ns: sin diferencias significativas.

	MST	MSS	MSP	Cu	Fe	Mn	Zn	B
MST	1	0,99 **	0,99 **	0,10 ns	-0,72 *	-0,61 ns	-0,60 ns	-0,54 ns
MSS		1	0,99 **	0,09 ns	-0,71 *	-0,60 ns	-0,59 ns	-0,55 ns
MSP			1	0,10 ns	-0,72 *	-0,61 ns	-0,60 ns	-0,54 ns
Cu				1	-0,43 ns	-0,58 ns	-0,44 ns	0,39 ns
Fe					1	0,98 **	0,98 **	-0,18 ns
Mn						1	0,98 **	-0,32 ns
Zn							1	-0,33 ns
B								1

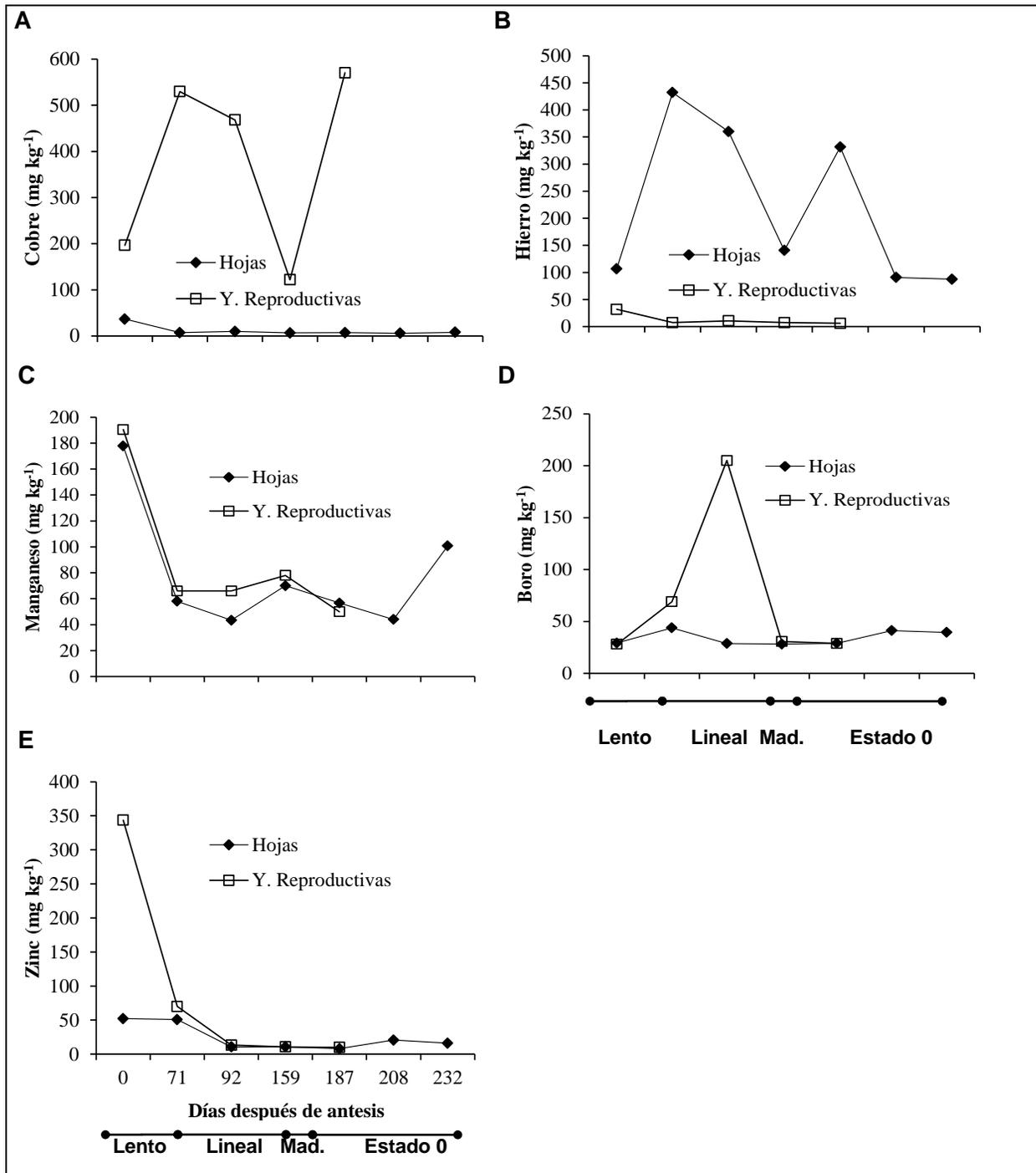
#### Elementos menores en hojas provenientes de brotes vegetativos

**Cobre.** Con el valor más alto en la antesis ( $36,65 \text{ mg kg}^{-1}$ ), la concentración de Cu disminuyó drásticamente hasta el inicio de la fase lineal ( $7,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y de ahí en adelante permaneció más o menos estable (Figura 4-15A).

**Hierro.** Incrementó continuamente hasta inicio de la fase lineal, ahí alcanzó la concentración más alta ( $432,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ), pero luego disminuyó a gran velocidad hasta la maduración, nuevamente tuvo un incremento al principio del estado 0 y finalmente descendió a valores cercanos a  $80 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 4-15B).

**Manganeso.** La concentración más alta se obtuvo en la antesis ( $177,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ), pero después disminuyó durante casi todo el desarrollo, entre los 208 y 232 dda tuvo un incremento representativo (Figura 4-15C).

**Boro.** Presentó los mayores valores al inicio de la fase lineal y al final del estado 0, mientras que en la antesis, al final de la fase lineal, durante la maduración y al principio del estado 0, se observaron los valores más bajos (Figura 4-15D).



**Figura 4-15:** Contenido foliar de nutrientes menores en hojas, de brotes reproductivos y brotes vegetativos de árboles de aguacate cv. Lorena, año 2009, durante el crecimiento y desarrollo del fruto. A. Cobre., B. Hierro, C. Manganeso, D. Boro, E. Zinc.

**Zinc.** En la fase de crecimiento lento y al inicio de la fase lineal, se encontraron las concentraciones mayores (cerca de 50 mg kg<sup>-1</sup>); sin embargo, después de este momento y hasta el comienzo del estado 0, la concentración de Zn disminuyó de forma

representativa, a pesar de esto, al final de este último estado este elemento volvió a incrementar pero la concentración no superó los 20 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 4-15E).

### Análisis de correlaciones

El Cu fue el único que correlacionó con el crecimiento y de manera inversa. Este mismo elemento mostró correlación directa con el Mn, el Zn y el B. El Fe tuvo correlación negativa con el Mn y el Zn; a su vez el Zn correlaciono también con el B y el Mn (Tabla 4-8).

**Tabla 4-8:** Correlaciones de Pearson entre la masa seca total (MST), de semilla (MSS) de pulpa (MSP) del fruto de aguacate cv. Lorena y los elementos menores en hojas de brotes vegetativos. \*\* nivel de significancia al 1%, \* nivel de significancia al 5%, ns: sin diferencias significativas.

	MST	MSS	MSP	Cu	Fe	Mn	Zn	B
MST	1	0,99**	0,99**	-0,67*	0,07 ns	-0,47 ns	-0,62 ns	-0,46 ns
MSS		1	0,99**	-0,66*	0,05 ns	-0,46 ns	-0,61 ns	-0,46 ns
MSP			1	-0,67*	0,07 ns	-0,47 ns	-0,62 ns	-0,46 ns
Cu				1	-0,60 ns	0,96 **	0,99 **	0,72 *
Fe					1	-0,7 *	-0,67 *	-0,004
Mn						1	0,98 **	0,62 ns
Zn							1	0,67*
B								1

### Ciclo 2, 2011

#### Elementos menores en hojas provenientes de brotes reproductivos

**Cobre.** Presentó una concentración de 39,4 mg kg<sup>-1</sup> en la antesis y luego decreció rápidamente hasta llegar a 4,89 mg kg<sup>-1</sup> a los 158 dda (Figura 4-16A).

**Hierro.** Hubo una disminución leve de los 0 a los 34 dda y alcanzó su concentración más baja ( $87,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ), pero luego el Fe incrementó drásticamente hasta  $468,2 \text{ mg kg}^{-1}$  a los 71 dda, tuvo una caída a los 129 dda y finalmente volvió a incrementar (Figura 4-16B).

**Manganeso.** Este elemento disminuyó levemente hasta los 59 dda, luego tuvo una rápida caída hasta los 71 dda, para luego ascender a los 129 dda y nuevamente disminuyó hasta los 158. La máxima ( $142,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y mínima ( $43,65 \text{ mg kg}^{-1}$ ) concentraciones se obtuvieron a los 0 y 158 dda, respectivamente (Figura 4-16C).

**Boro.** En la antesis mantuvo una concentración de  $59,2 \text{ mg kg}^{-1}$ , la cual disminuyó a  $45,4 \text{ mg kg}^{-1}$  a los 59 dda, luego aumentó drásticamente hasta alcanzar su máxima concentración a los 71 dda ( $205 \text{ mg kg}^{-1}$ ), luego disminuyó de manera representativa hasta los 158 dda, donde alcanzó la menor concentración con  $23,63 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 4-16D).

**Zinc.** Alcanzó su máximo valor a los 34 dda ( $32,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ) después de un leve aumento a partir de la antesis, sin embargo, volvió a disminuir hasta los 158 dda, donde presentó el menor valor con  $5,4 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 4-16E).

## Correlaciones

El Cu fue el único elemento que presentó correlación significativa y positiva con la masa seca del fruto. Adicionalmente, se observó correlación entre el Zn y Fe y el Mn, también se destaca la correlación negativa entre el B y la masa seca del fruto, aunque solo fue significativa con la masa seca de semilla (Tabla 4-9).

**Tabla 4-9:** Correlaciones de Pearson entre la masa seca total (MST), de semilla (MSS) de pulpa (MSP) del fruto de aguacate cv. Lorena y los elementos menores en brotes reproductivos. \*\* nivel de significancia al 1%, \* nivel de significancia al 5%, ns: sin diferencias significativas.

	MST	MSS	MSP	Cu	Fe	Mn	Zn	B
MST	1	0,98 *	0,94 *	0,99 **	-0,79 ns	-0,30 ns	-0,67 ns	-0,81 ns
MSS		1	0,88 *	0,98 **	-0,78 ns	-0,32 ns	-0,72 ns	-0,89 *
MSP			1	0,93 *	-0,72 ns	-0,22 ns	-0,50 ns	-0,58 ns
Cu				1	-0,73 ns	-0,22 ns	-0,62 ns	-0,81 ns
Fe					1	0,88 ns	0,93 *	0,73 ns
Mn						1	0,86 *	0,44 ns
Zn							1	0,83 ns
B								1

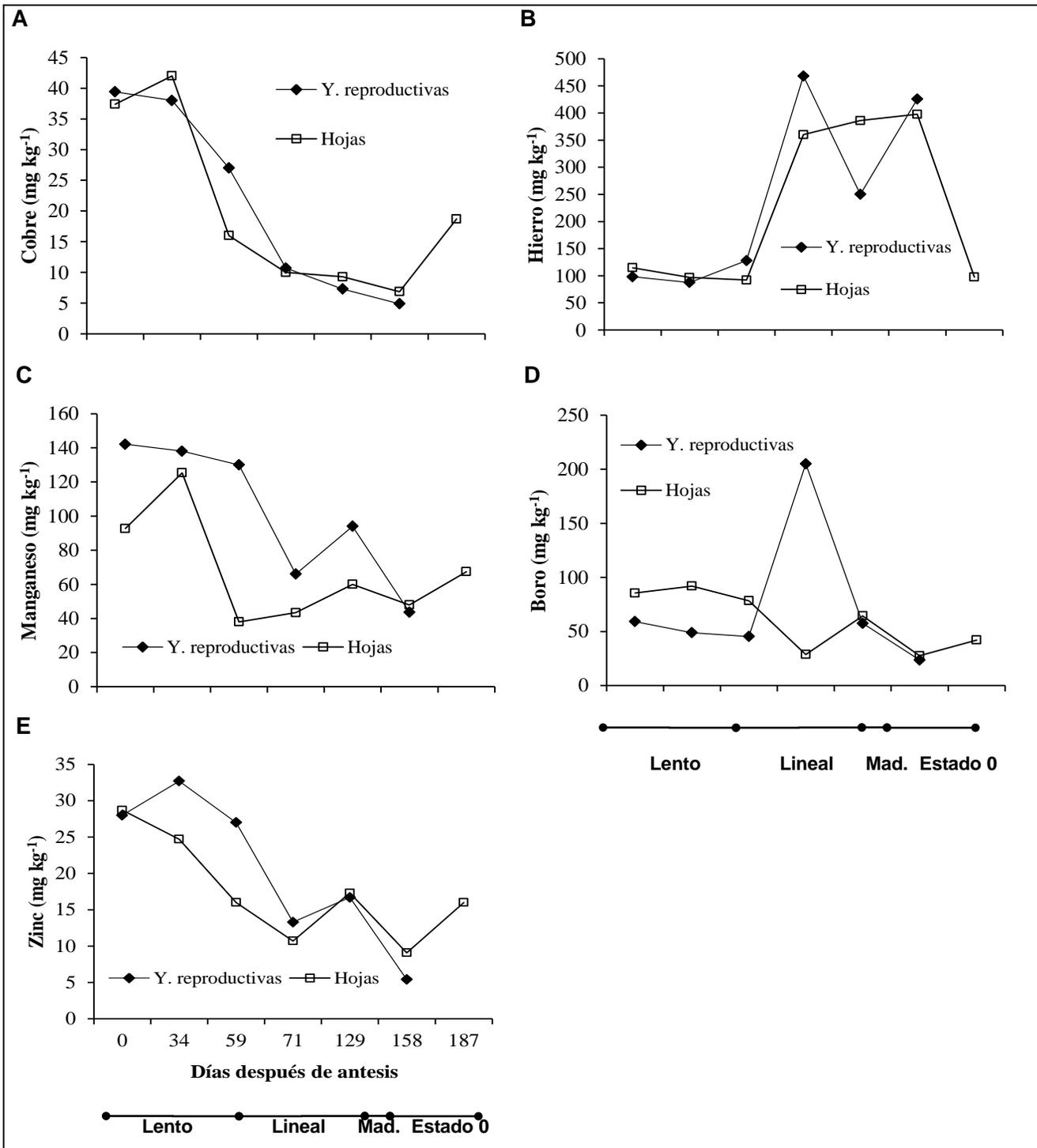
### Elementos menores en hojas provenientes de brotes vegetativos

**Cobre.** Presentó la máxima concentración a los 34 dda ( $42 \text{ mg kg}^{-1}$ ), después de una rápida disminución, a los 158 dda se obtuvo la concentración más baja con  $6,86 \text{ mg kg}^{-1}$ , finalmente hubo un incremento representativo hasta los 187 dda (Figura 4-16A).

**Hierro.** Hubo una disminución leve hasta los 59 dda, se presentó un rápido incremento hasta los 71 dda y después siguió aumentando aunque a menor velocidad y se alcanzó el máximo valor a los 158 dda ( $397,85 \text{ mg kg}^{-1}$ ), luego se observó una disminución drástica hasta los 187 dda (Figura 4-16B).

**Manganeso.** Presentó un aumento hasta los 34 dda y se obtuvo la mayor concentración con  $125,4 \text{ mg kg}^{-1}$ , luego tuvo una disminución bastante grande y a los 59 dda el Mn fue de  $38 \text{ mg kg}^{-1}$ , posteriormente se observó un incremento continuo pero poco marcado hasta los 187 dda (Figura 4-16C).

**Boro.** En la antesis mantuvo una concentración de  $59,2 \text{ mg kg}^{-1}$ , la cual disminuyó a  $28,7 \text{ mg kg}^{-1}$  a los 71 dda, después se observó un incremento hasta los 129 dda, nuevamente disminuyó para finalmente aumentar a los 187 dda (Figura 4-16D).



**Figura 4-16:** Contenido foliar de nutrientes menores en hojas, de brotes reproductivos y brotes vegetativos de árboles de aguacate cv. Lorena, año 2011, durante el crecimiento y desarrollo del fruto. A. Cobre, B. Hierro, C. Manganeso, D. Boro, E. Zinc.

**Zinc.** Alcanzó su máximo valor a los 0 dda (28,7 mg kg<sup>-1</sup>), después decreció continuamente hasta los 71 dda. Se observaron incrementos de los 71 dda a los 129 dda

y de los 158 dda a los 187 dda; a los 158 dda presentó el valor más bajo 9,08 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 4-16E).

### Análisis de correlaciones

A medida que aumentó la masa seca del fruto se observó incremento en el Cu y disminución en el Fe, el Mn y el Zn, no hubo correlación con el B. Además, el Cu mostró correlación negativa con los demás elementos (Tabla 4-10)

**Tabla 4-10:** Correlaciones de Pearson entre la masa seca total (MST), de semilla (MSS) de pulpa (MSP) del fruto de aguacate cv. Lorena y los elementos menores en hojas de brotes vegetativos. \*\* nivel de significancia al 1%, \* nivel de significancia al 5%, ns: sin diferencias significativas.

	MST	MSS	MSP	Cu	Fe	Mn	Zn	B
MST	1	0,98*	0,94 *	0,88 *	-0,95 *	-0,88 *	-0,90 *	-0,43 ns
MSS		1	0,88 *	0,94 *	-0,95 *	-0,94 *	-0,95 *	-0,55 ns
MSP			1	0,67 ns	-0,89 *	-0,68 ns	-0,71 ns	-0,13 ns
Cu				1	-0,88 ns	-0,99 **	-0,99 **	-0,79 ns
Fe					1	0,89 *	0,89 *	0,54 ns
Mn						1	0,99 **	0,79 ns
Zn							1	0,75 ns
B								1

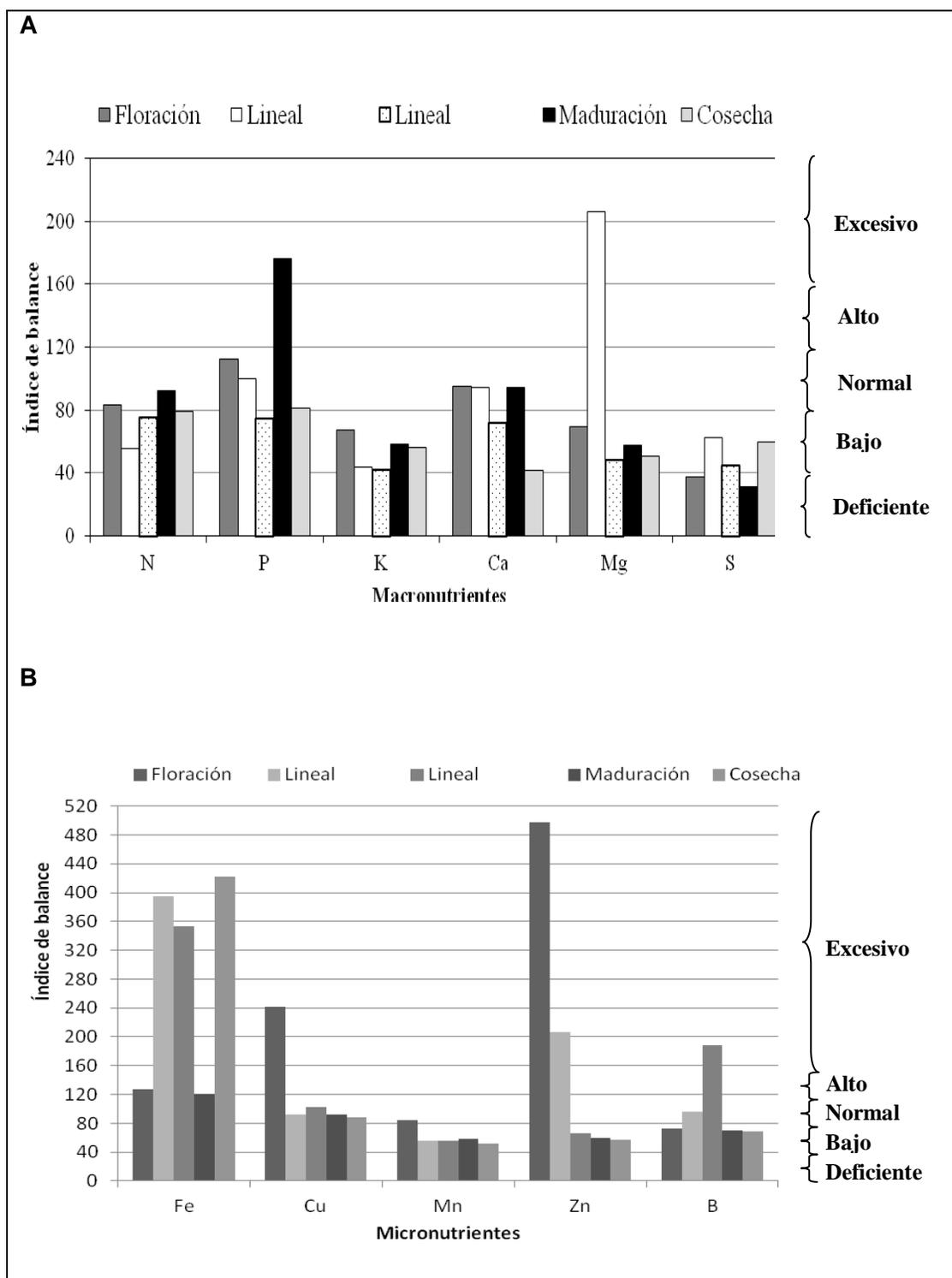
## 4.2.2 Índice de balance de nutrientes

Ciclo 1, 2009

### Índice de balance en brotes reproductivos

**Elementos mayores.** El S en el estado de crecimiento lento y en la maduración, fue el único elemento que estuvo deficiente según el índice de balance. La mayoría de los elementos se encontraron en un índice de balance bajo. En un nivel normal se encontró al Ca en todos los estados, excepto en la cosecha; el P estuvo normal en todos los estados excepto en la maduración y el N en crecimiento lento y maduración también fue normal, en nivel alto no se ubicó ningún elemento, mientras que en nivel excesivo se encontró al Mg en crecimiento lineal y al P en la maduración (Figura 4-17A).

**Elementos menores.** Ningún elemento estuvo en condición deficiente. La mayoría de elementos se ubicaron en un nivel bajo o normal, mientras que en un nivel alto estuvo el Fe y el Cu durante el crecimiento lento y como elementos excesivos: el Cu en floración y el Fe en crecimiento lineal y maduración, el B también durante el crecimiento lineal. (Figura 4-17B).

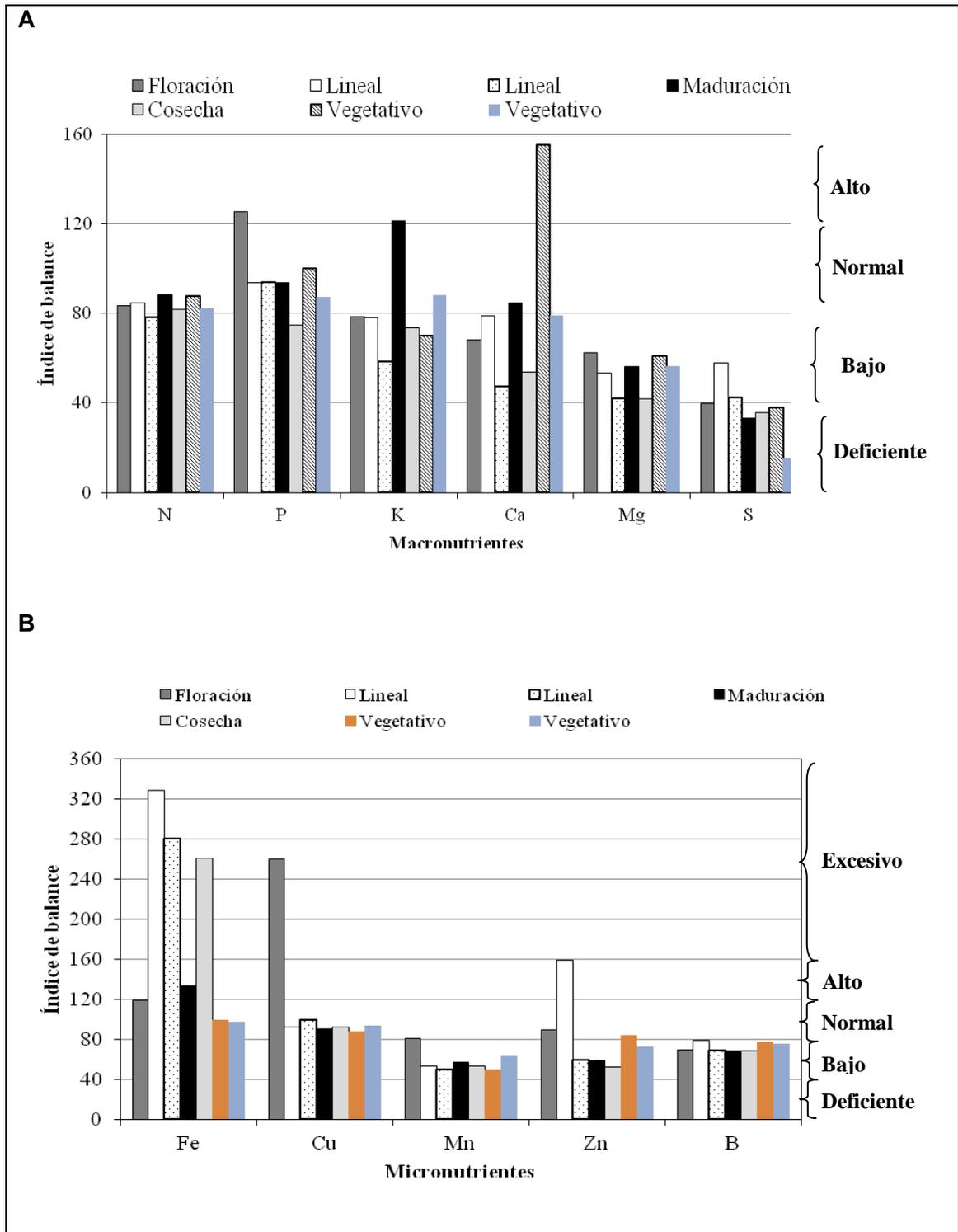


**Figura 4-17:** Índice de balance de nutrientes mayores (A) y menores (B) en hojas provenientes de brotes reproductivos durante el crecimiento y desarrollo de frutos de aguacate cv. Lorena, año 2009.

## Índice de balance en brotes vegetativos

**Elementos mayores.** Se encontró que el S fue único elemento en estado deficiente y en casi todos los estados, exceptuando el estado de crecimiento lineal (71 y 92 dda). En nivel bajo se ubicó la gran mayoría de los nutrientes. El K, el Ca, y el Mg fueron bajos en antesis y crecimiento lineal, en este último también estuvo bajo el S y el N. en maduración solo estuvo bajo el Mg, mientras que en la cosecha estuvieron el P, el K, el Ca y el Mg. A los 216 dda (etapa 0) fueron bajos el K y el Mg y a los 240 dda el Ca y el Mg. En un nivel normal estuvieron el N y el P en la mayoría de los estados de desarrollo. Por su parte, el P en antesis, el K en maduración y el Ca a los 216 dda (etapa 0) fueron altos, mientras que en un nivel excesivo no hubo ningún elemento (Figura 4-18A).

**Elementos menores.** No hubo ningún elemento con un nivel deficiente. El Mn y el B durante todo el desarrollo fueron bajos, al igual que el Zn en las etapas de maduración, cosecha y vegetativa. En un nivel normal se ubicó el Cu desde el estado de crecimiento lineal hasta el final del estudio, también estuvo el Zn en antesis y 216 dda, y el Fe en antesis y estado vegetativo. El Zn en estado lineal (71 dda) y el Fe en maduración estuvieron altos, mientras que el Cu en antesis y el Fe en los demás estados fueron considerados como excesivos (Figura 4-18B).



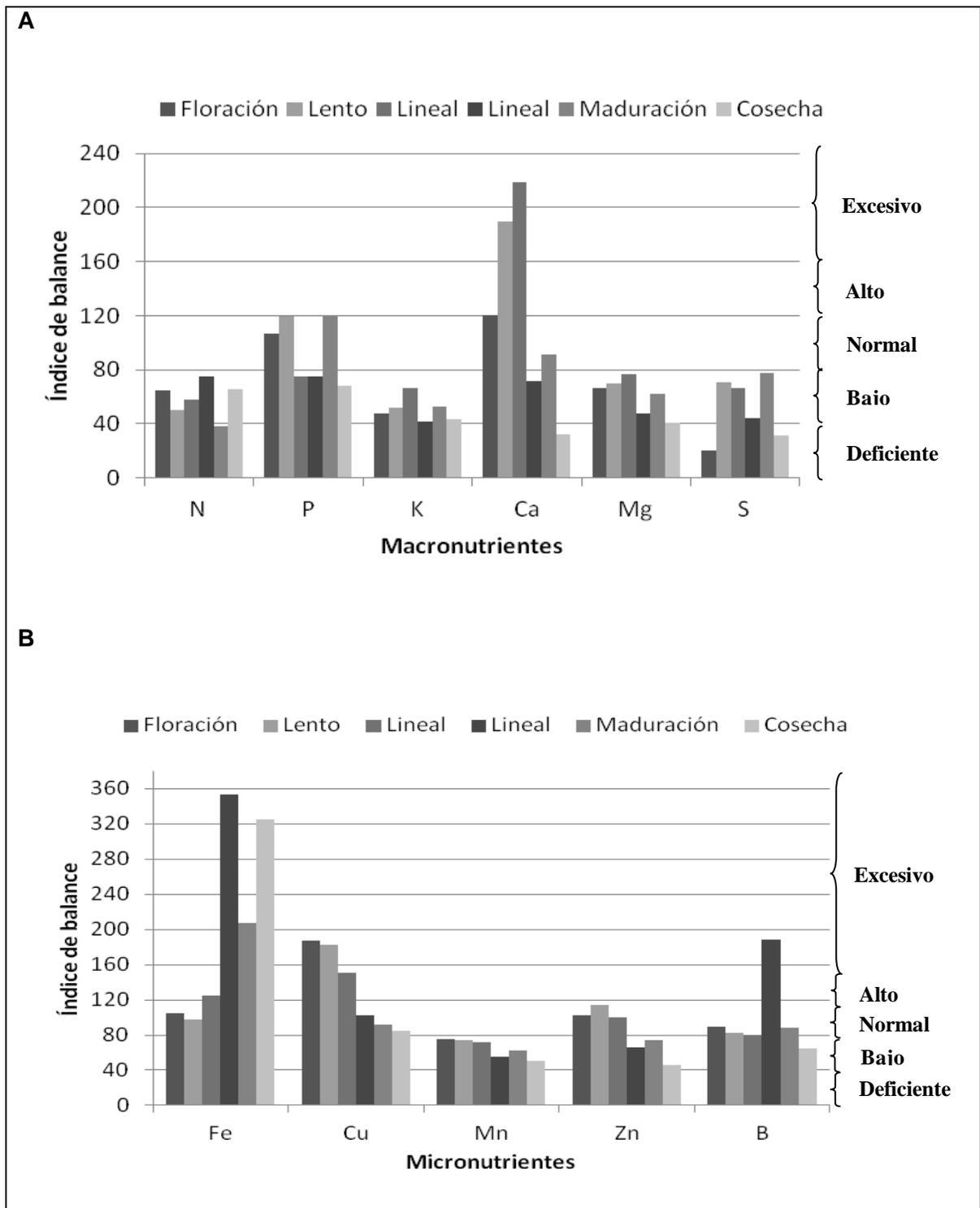
**Figura 4-18:** Índice de balance de nutrientes mayores (A) y menores (B) en hojas provenientes de brotes vegetativos durante el crecimiento y desarrollo de frutos de aguacate cv. Lorena, año 2009.

## Ciclo 2, 2011

### Índice de balance en brotes reproductivos

**Elementos mayores.** Se encontró que hubo un nivel deficiente del S en floración y cosecha, el N en maduración y el Ca en la cosecha. En nivel bajo estuvieron el N, el K y el Mg en todos los estados de desarrollo, el S en los estados restantes y el P en crecimiento lineal y cosecha. Respecto al nivel normal, se ubicó el Ca en floración y maduración, el P en floración crecimiento lineal y maduración. Y en un nivel excesivo estuvo el Ca para el crecimiento lineal (Figura 4-19A).

**Elementos menores.** No se encontró ningún elemento en nivel deficiente. En un nivel bajo, estuvo el Mn durante todo el desarrollo, el Zn desde los 71 dda en adelante y el Boro en la cosecha (Figura 21B). En un índice de balance normal estuvieron el Zn en las tres primeras etapas y el Fe en las dos primeras, B hasta la maduración y Cu desde los 71 dda hasta la cosecha, mientras que en un nivel alto se encontró al Fe y el Cu en crecimiento lineal, los demás presentaron un nivel excesivo (Figura 4-19B).

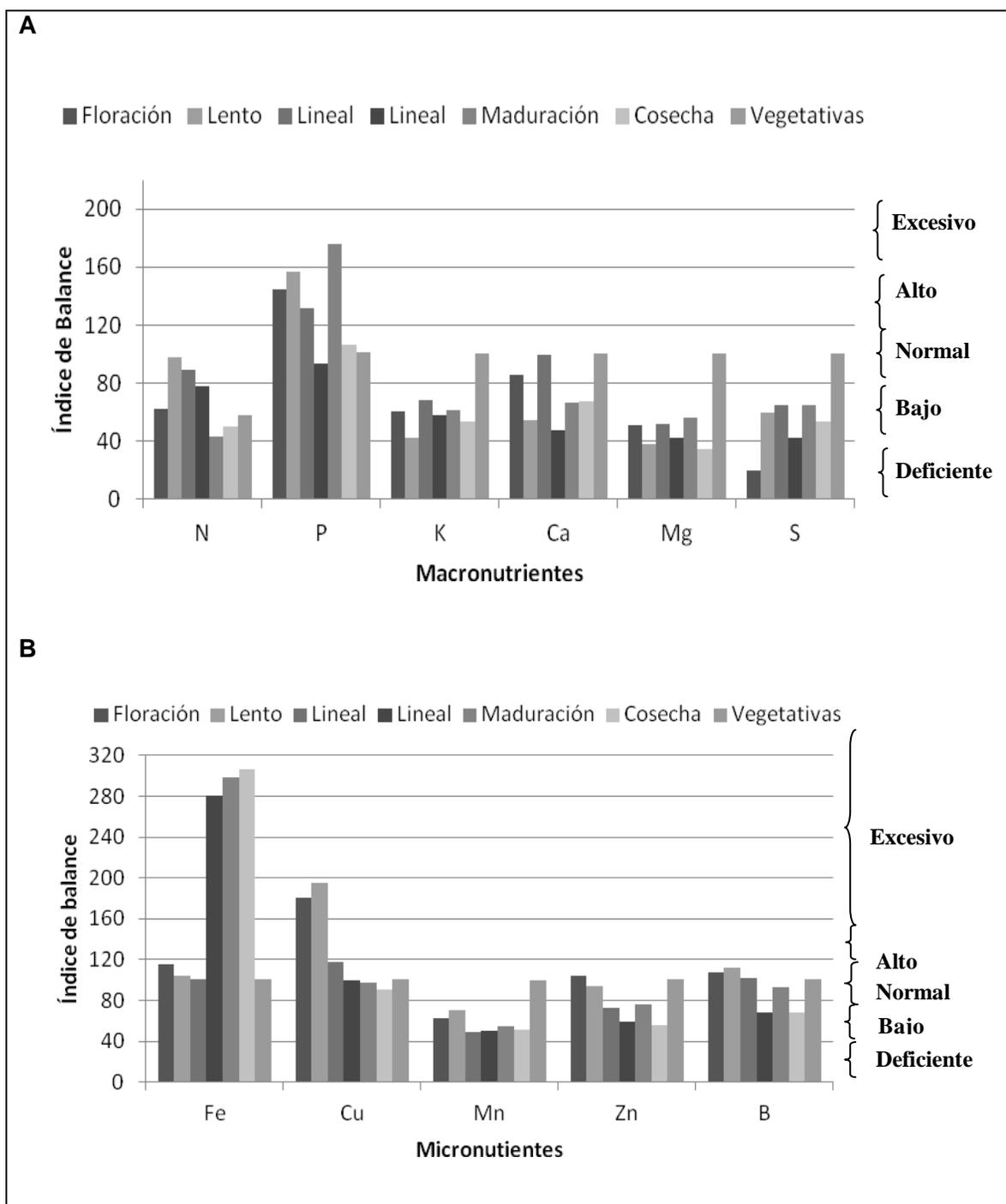


**Figura 4-19:** Índice de balance de nutrientes mayores (A) y menores (B) en hojas provenientes de brotes reproductivos durante el crecimiento y desarrollo de frutos de aguacate cv. Lorena, año 2011.

### **Índice de balance en brotes vegetativos**

**Elementos mayores.** Se encontró que el S en etapa de floración, el Mg y el Na en la fase de crecimiento lento y el Mg en cosecha estuvieron en índice deficiente. En un índice bajo estuvieron la mayoría de los nutrientes. Para un nivel normal estuvieron el Ca en floración y crecimiento lineal, el N en crecimiento lento y lineal, por su parte el P estuvo siempre en un nivel alto o normal y excesivo en la maduración, excepto el P que estuvo en un nivel normal (Figura 4-20A).

**Elementos menores.** No se ubicó a ningún elemento en índice deficiente ni alto. En un índice bajo se encontró al Mn en los cinco primeros estados y el Zn desde crecimiento lineal hasta cosecha. La mayoría de nutrientes se encontraron en nivel normal, mientras que el Cu en las dos primeras etapas y el Fe entre los 71 dda y la cosecha estuvieron excesivos (Figura 4-20B).



**Figura 4-20:** Índice de balance de nutrientes mayores (A) y menores (B) en hojas provenientes de brotes vegetativos durante el crecimiento y desarrollo de frutos de aguacate cv. Lorena, año 2011.

### 4.2.3 Características fisicoquímicas del suelo

#### CICLO 1, 2009

Los resultados se presentan en las tablas 4-15, 4-16, 4-17 y 4-18.

**Textura.** La textura vario según la profundidad, encontrándose desde suelos limosos, franco arcillosos, franco limosos, hasta suelos arcillosos. En los análisis estudiados se encontró que la textura se relacionó con la profundidad, puesto que a medida que se hacía más profundo el terreno la textura se volvió más fina.

**pH.** Este parámetro físico – químico vario desde 4,7 a 6,0 lo que indica que se trata de un terreno predominantemente ácido, que va de extremadamente ácido a moderadamente ácido, no varía el pH con la profundidad del suelo. Durante el 2009 el pH se mantuvo por encima de 5 en las fases de floración, el crecimiento lento y la cosecha.

**Materia Orgánica (MO).** El contenido de MO fácilmente oxidable, vario desde 5,8 % en el suelo FA a una profundidad de 15 a 30 cm, a 19,1 % en un suelo limoso a una profundidad de 15 a 30 cm. No se puede determinar una tendencia de la MO con la profundidad del suelo. Para el 2009, cuando los árboles se encontraban en fase vegetativa, se registraron valores de pH bajos y contenidos de materia orgánica bajos.

**Conductividad Eléctrica (CE).** Esta característica físico química vario desde 0,09 mS/cm en el estado vegetativo de 2011, a 0,88 mS/cm en el estado vegetativo de 2009 donde se encontró mayor acidez y contenido de MO. La CE tiene una clara tendencia a disminuir con la profundidad del suelo.

**Tabla 4-11:** Comportamiento de los nutrientes en el suelo (0-15 cm) durante el crecimiento y desarrollo de frutos de aguacate cv. Lorena, año 2009.

Parámetro	Unidades	Fases fenológicas					
		Floración		Crecimiento lento		Cosecha	
pH		5,3	Fuerte. ácido	5,3	Fuerte. ácido	5,3	Fuerte. ácido
MO		11,3		8,8		9,1	
P	%	58,9	Alto	10,5	Bajo	26,9	Adecuado
S		20,8	Alto	10,8	Adecuado	7,1	Bajo
SAI	%	18	Alto	21	Alto	7	Adecuado
Ca	cmol/Kg	1,61	Bajo	0,97	Bajo	2,13	Bajo
Mg		0,45	Bajo	0,22	Bajo	0,56	Bajo
K		0,15	Bajo	0,08	Bajo	0,26	Adecuado
Na		0,05	Bajo	0,06	Bajo	0,09	Bajo
CICE		3		2		3	
CE	dS/m	0,2	Adecuado	0,19	Adecuado	0,33	Adecuado
Fe	mg/Kg	152	Alto	71	Alto	114	Alto
Cu		3,8	Alto	1,9	Adecuado	4,3	Alto
Mn		4,9	Bajo	1,9	Bajo	2,4	Bajo
Zn		3,7	Alto	2,6	Adecuado	8,6	Alto
B		0,09	Bajo	0,13	Bajo	0,2	Adecuado
Ca/Mg		3,6	Adecuado	4,5	Adecuado	3,8	Adecuado
Ca/K		10,7	Bajo	11,7	Bajo	8,1	Bajo
Mg/K		3	Bajo	2,6	Bajo	2,1	Bajo
Ca+Mg)/K		13,7	Adecuado	14,3	Adecuado	10,2	Bajo
Ca	% de saturación	54	Adecuado	48,6	Bajo	70,2	Alto
Mg		15,2	Adecuado	10,8	Adecuado	18,3	Adecuado
K		5	Alto	4,2	Adecuado	8,7	Alto
Na		1,8	Bajo	3	Bajo	2,9	Bajo

**Tabla 4-12:** Comportamiento de los nutrientes en el suelo (15-30 cm) durante el crecimiento y desarrollo de frutos de aguacate cv. Lorena, año 2009.

Parámetro	Unidades	Fases fenológicas					
		Floración		Crecimiento lento		Cosecha	
pH		5,3	Fuerte. ácido	5,5	Mode ácido	5,2	Fuerte. ácido
MO		12,1		9,5		9,4	
P	%	2,7	Bajo	5	Bajo	3,8	Bajo
S		24,8	Alto	20,4	Alto	7,3	Bajo
SAI	%	12	Adecuado	14	Adecuado	8	Adecuado
Al	cmol/Kg	0,32		0,22		0,12	
Ca		1,72	Bajo	0,86	Bajo	1,11	Bajo
Mg		0,29	Bajo	0,22	Bajo	0,26	Bajo
K		0,07	Bajo	0,05	Bajo	0,11	Bajo
Na		0,05	Bajo	0,07	Bajo	0,07	Bajo
CICE		2,7		1,6		1,5	
CE	dS/m	0,18	Adecuado	0,13	Adecuado	0,28	Adecuado
Fe	mg/Kg	132	Alto	59	Alto	95	Alto
Cu		2,8	Adecuado	1,4	Adecuado	1,6	Adecuado
Mn		3,6	Bajo	1,7	Bajo	2,1	Bajo
Zn		1,3	Bajo	1,7	Adecuado	2,2	Adecuado
B		0,12	Bajo	0,11	Bajo	0,26	Adecuado
Ca/Mg		6	Alto	4	Adecuado	4,3	Adecuado
Ca/K	25,6	Alto	16,8	Adecuado	10,5	Bajo	
Mg/K	4,3	Adecuado	4,2	Adecuado	2,4	Bajo	
Ca+Mg)/K	29,9	Alto	21	Alto	13	Adecuado	
Ca	% de saturación	64,5	Adecuado	52,5	Adecuado	71,9	Alto
Mg		10,8	Adecuado	13,2	Adecuado	16,6	Adecuado
K		2,5	Bajo	3,1	Adecuado	6,8	Alto
Na		2	Bajo	4	Bajo	4,6	Bajo

**Tabla 4-13:** Comportamiento de los nutrientes en el suelo (30-45 cm) durante el crecimiento y desarrollo de frutos de aguacate cv. Lorena, año 2009.

Parámetro	Unidades	Fases fenológicas					
		Floración		Crecimiento lento		Cosecha	
pH		5,4	Fuerte. ácido	5,6	Mode ácido	5,2	Fuerte. ácido
MO		8,7		6,1		10,4	
P	%	2	Bajo	5,6	Bajo	3	Bajo
S		31	Alto	23,5	Alto	15,7	Adecuado
SAI	%	8	Adecuado	10	Adecuado	0	Adecuado
Al	cmol/Kg	0,14		0,13		0	
Ca		1	Bajo	0,72	Bajo	1,04	Bajo
Mg		0,25	Bajo	0,16	Bajo	0,25	Bajo
K		0,04	Bajo	0,04	Bajo	0,07	Bajo
Na		0,04	Bajo	0,07	Bajo	0,06	Bajo
CICE		1,7		1,3		1,4	
CE	dS/m	0,16	Adecuado	0,12	Adecuado	0,32	Adecuado
Fe	mg/Kg	120	Alto	50	Adecuado	112	Alto
Cu		2,1	Adecuado	1,4	Adecuado	1,9	Adecuado
Mn		2,3	Bajo	1,2	Bajo	1,9	Bajo
Zn		0,9	Bajo	0,9	Bajo	1,3	Bajo
B		0,18	Bajo	0,11	Bajo	0,06	Bajo
Ca/Mg		4	Adecuado	4,4	Adecuado	4,2	Adecuado
Ca/K		26	Alto	17,4	Adecuado	14,8	Adecuado
Mg/K		6,4	Alto	4	Adecuado	3,5	Bajo
Ca+Mg)/K		32,4	Alto	21,4	Alto	18,3	Adecuado
Ca	% de saturación	58,1	Adecuado	53,7	Adecuado	73,4	Alto
Mg		14,4	Adecuado	12,2	Adecuado	17,4	Adecuado
K		2,2	Bajo	3,1	Adecuado	5	Adecuado
Na		2,2	Bajo	5,2	Bajo	4,2	Bajo

**Tabla 4-14:** Comportamiento de los nutrientes en el suelo a tres profundidades, en etapa de floración y Vegetativa de aguacate cv. Lorena, año 2011.

ETAPA	Prof.	Cm	Floración						Cosecha					
			0-15		15-30		30-60		0-15		15-30		30-60	
pH			5,8	Mode ácido	5,8	Mode ácido	5,8	Mode ácido	6	Adecuado	6	Adecuado	6	Adecuado
MO	%		7,5		5,8		6,1		6,5		10,1		6,2	
P	%		19,3	Bajo	8	Bajo	6,9	Bajo	16,4	Bajo	9,6	Bajo	9,3	Bajo
S			12,1	Adecuado	14,6	Adecuado	16,5	Adecuado	10,2					
Ca	cmol/Kg		2,6	Bajo	2,12	Bajo	2,01	Bajo	4,12	Adecuado	5,35	Adecuado	1,65	Bajo
Mg			0,5	Bajo	0,4	Bajo	0,33	Bajo	0,68	Bajo	0,37	Bajo	0,14	Bajo
K			0,38	Adecuado	0,29	Adecuado	0,25	Adecuado	0,11	Bajo	0,07	Bajo	0,05	Bajo
Na			0,03	Bajo	0,03	Bajo	0,03	Bajo	0,07	Bajo	0,09	Bajo	0,07	Bajo
CICE			3,7		3		2,7		4,98		5,89		1,91	
Fe	mg/Kg		84	Alto	91	Alto	63	Alto	90	Alto	73	Alto	40	Adecuado
Cu			3,4	Alto	3,3	Alto	2,1	Adecuado	3,6	Alto	2	Adecuado	1,1	Adecuado
Mn			1,7	Bajo	1,5	Bajo	1,1	Bajo	1,7	Bajo	1,5	Bajo	0,4	Bajo
Zn			7,5	Alto	3,4	Alto	1,7	Adecuado	12	Alto	3,5	Alto	2,4	Adecuado
B			0,26	Adecuado	0,2	Bajo	0,12	Bajo	0,24	Adecuado	0,08	Bajo	0,04	Bajo
Ca/Mg			5,2	Alto	5,3	Alto	6,1	Alto	6,1	Alto	14,5	Alto	12	Alto
Ca/K			6,9	Bajo	7,4	Bajo	8,1	Bajo	36,8	Alto	76,1	Alto	32,2	Alto
Mg/K			1,3	Bajo	1,4	Bajo	1,3	Bajo	6,1	Alto	5,3	Adecuado	2,7	Bajo
Ca+Mg)/K			8,2	Bajo	8,8	Bajo	9,4	Bajo	42,8	Alto	81,3	Alto	34,9	Alto
Ca	% de saturación		70,1	Alto	69,8	Adecuado	73,1	Alto	82,12	Alto	90,9	Alto	86,4	Alto
Mg			13,6	Adecuado	13,2	Adecuado	12	Adecuado	13,6	Adecuado	6,3	Bajo	7,2	Bajo
K			10,2	Alto	9,5	Alto	9,1	Alto	2,2	Bajo	1,2	Bajo	2,7	Bajo
Na			0,9	Bajo	0,9	Bajo	1	Bajo	1,4	Bajo	1,6	Bajo	3,7	Bajo

**Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE).** Va a depender del pH, el contenido de MO y lógicamente la suma de cationes. LA CICE varió desde 1,3 (cmol/Kg) en 2009 en el estado de crecimiento lento a una profundidad de 30 a 60 cm. Para el 2011 fue de 5,98 (cmol/Kg) en el último estadio analizado el vegetativo a una profundidad de 15 a 30 cm. La CICE varía con la profundidad del suelo, disminuye a medida que se profundiza, esto debido a que la disponibilidad de iones disminuye igualmente con la profundidad. En el 2009 en todos los estados fenológicos se encontró una CICE relativamente baja menor de 4 cmol/Kg.

**Saturación de Bases.** Se observa que el porcentaje de saturación de bases se mantiene relativamente balanceado durante el primer ciclo productivo, el porcentaje de Ca se incrementa en el segundo año de observación por encima del 70 % de ocupación sobre las bases de cambio. Esta característica se ubicó por debajo del 60% en el estado de crecimiento lento y vegetativo del primer año de observación, debido posiblemente a la poca demanda de este elemento en estos periodos. El porcentaje de saturación de Mg, se observa que nunca estuvo por encima de 20 % y fue especialmente bajo en el segundo año analizado, lo que confirma su comportamiento de antagonismo con el Ca y la necesidad de aplicar una pequeña corrección o enmienda con Mg. El porcentaje de saturación de K, se observa una tendencia a estar por encima del 5 %, destacándose el estado de floración del segundo año, llegando a valores del 10 %, debido a la poca demanda de este elemento en este estado fenológico. El porcentaje de saturación de Na en todos los estados analizado, se ubicó por debajo de este valor, lo que indica que no representa el peligro de salinización del terreno.

**Calcio, Magnesio y relación Ca/Mg.** La concentración del calcio y el magnesio siempre se ubicó en valores especialmente bajos a excepción del final del segundo año, corroborando los valores de saturación del Ca y el Mg, es solo hasta el estado vegetativo de 2011 que estos valores se ubican en el rango de suficiencia y la relación Ca/Mg se ubica entre 3-6, lo que evidencia un desbalance en los cinco estados anteriores de estos elementos. Existe una relación entre la concentración del Ca y el Mg y la profundidad del suelo muestreado, a mayor profundidad menor concentración de estos elementos, esto,

es lógico debido a que su concentración es deficiente y se va agotando la reserva de los primeros centímetros hasta generarse un gradiente negativo de concentración.

**Concentración de K y relación Ca/K, Mg/K y (Ca+Mg/K).** Se evidencia una concentración de K baja en todos los estados observados, sube un poco la concentración en los estadios de vegetativo 2009 y floración 2011, pero sin llegar a niveles de suficiencia en el suelo de este elemento, y consecuente con el porcentaje de saturación del K, se esperaría que los niveles de K bajaran en los estados de mayor demanda de este elemento, floración y fructificación, pero este comportamiento no es manifiesto debido a la baja fertilidad de este suelo y al igual que el Ca y el Mg, el K baja su concentración a medida que se hace profundo el suelo. La relación Ca/K idealmente debe ubicarse entre 15 -20, esta se sitúa como una relación iónica balanceada a excepción de los estadios donde sube su concentración el K. La relación iónica entre Ca, Mg y K en los estados fenológicos estudiados a excepción del último (vegetativo 2011) se coloca dentro de una relación adecuada de disponibilidad, pero esto se debe a que los tres elementos se encuentran en niveles bajos. Pero en el último periodo estudiado se sube esta relación, debido posiblemente al aumento en la concentración de Ca y a la marcada disminución del K.

**Concentración de P.** Se encuentra especialmente alto en la capa superficial del primer estado observado, a excepción de este valor la disponibilidad de P es baja en todos los estadios observados y no se relaciona con la profundidad de muestreo, debido a que no se observa ninguna tendencia. Cuando el análisis de suelo indica un pH bajo y un porcentaje de aluminio intercambiable bajo, si el árbol entra en producción, la fertilización nitrogenada debe incrementarse, ya que en el período comprendido entre el inicio de la floración y la maduración del fruto, el árbol demanda la mayor cantidad de N.

**Fe, Mn.** En todos los estados se encontraron niveles extremadamente altos de concentración de Fe que posiblemente está siendo antagonista con el Mn, que se ubica en concentraciones bajas, a pesar de la acidez de este suelo. La concentración (disponibilidad) de Fe, es inversamente proporcional a la profundidad de suelo.

**Cu, B y Zn.** El Cu y el Zn, se localizaron dentro de los rangos normal a alto, durante el avance de cada etapa fenológica, mientras que el B estuvo en un nivel bajo.

#### 4.2.4 Curva de extracción de nutrientes del fruto

##### Ciclo 1, 2009

##### Macronutrientes en pulpa

**Nitrógeno.** Durante el desarrollo del fruto, la concentración de N disminuyó de forma cuadrática, al inicio del crecimiento lento la concentración fue de 3,13% y al final de la maduración fue de 1,11% (Figura 4-21A).

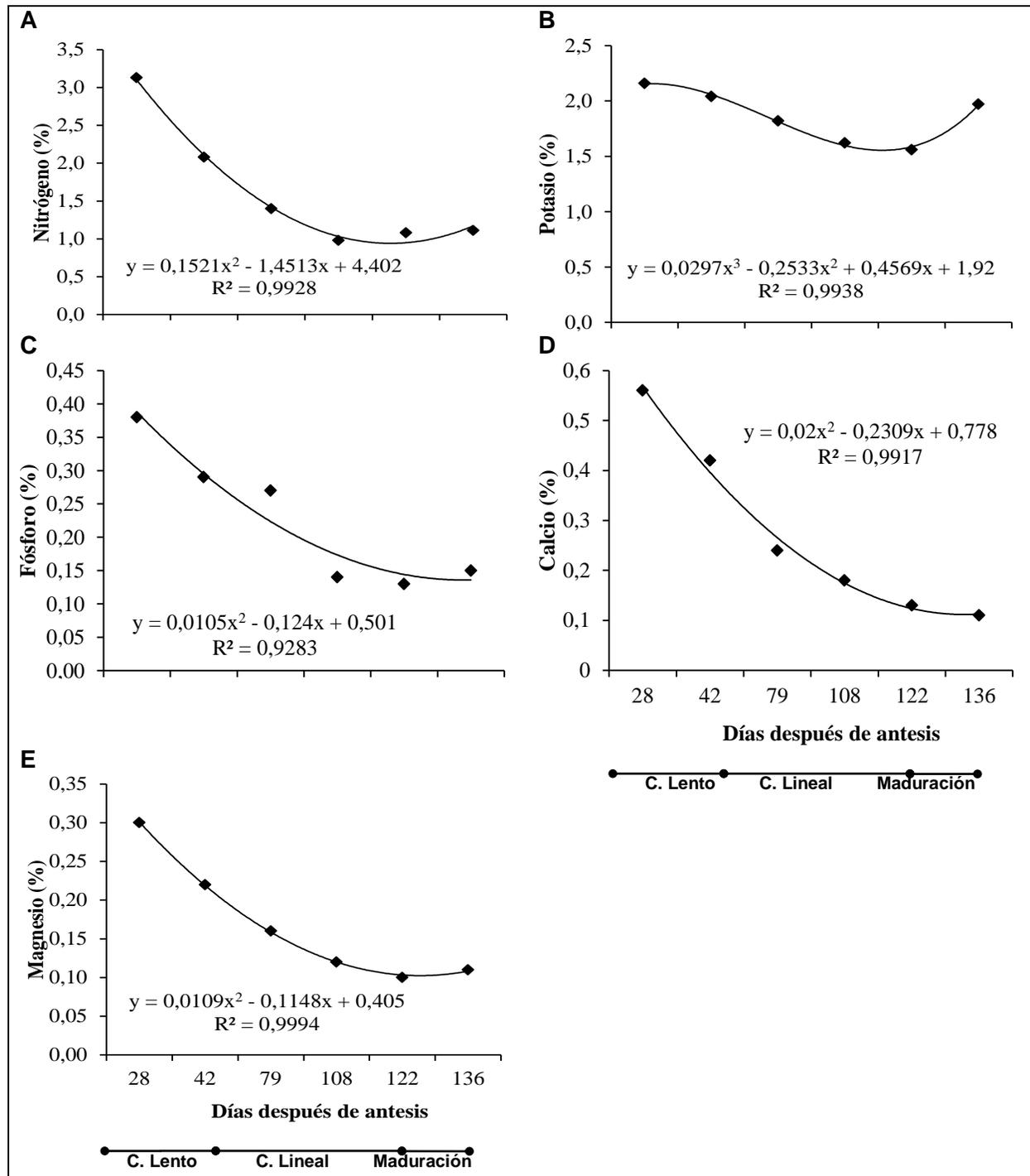
**Fósforo.** Disminuyó de forma cuadrática en función del estado de desarrollo del fruto, inició con un 0,38% y llegó a 0,15% al final de la maduración (Figura 4-21C).

**Potasio.** Se ajustó a un polinomio de tercer grado, el mayor contenido se observó a los 28 dda (crecimiento lento), este fue disminuyendo hasta el inicio de la maduración para luego incrementar hasta los 136 dda, momento en el cual tuvo una concentración de 1,97% (Figura 4-21B).

**Calcio.** En el crecimiento lento, la concentración encontrada fue de 0,56%, pero a medida que el fruto se desarrolla, el Ca disminuyó, comportamiento que se ajustó a una función cuadrática (Figura 4-21D).

**Magnesio.** Con una disminución cuadrática a medida que el fruto incrementó su desarrollo, el Mg osciló de 0,3% a los 28 dda a 0,1% como la concentración más baja, encontrada al inicio de la maduración (Figura 4-21E).

Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia



**Figura 4-21:** Contenido en pulpa de nutrientes mayores en árboles de aguacate cv. Lorena, año 2009, durante el crecimiento y desarrollo del fruto. A. Nitrógeno, B. Potasio, C. Fósforo, D. Calcio, E. Magnesio.

### Análisis de correlaciones

El Ca y el Mg correlacionaron negativamente con la masa seca, mientras que el S lo hizo de manera significativa. El N tuvo correlación directa con el P, el K, el Ca y el Mg. El P además con el K, el Ca y el Mg. El K con el Ca y el Mg y entre estos dos últimos también se observó una correlación directa (Tabla 4-19).

**Tabla 4-15:** Correlaciones de Pearson entre la masa seca total (MST), de semilla (MSS) de pulpa (MSP) del fruto de aguacate y los elementos mayores en pulpa. \*\* nivel de significancia al 1%, \* nivel de significancia al 5%, ns: sin diferencias significativas.

	MST	MSS	MSP	N	P	K	Ca	Mg
MST	1	0,99 **	0,99 **	-0,55 ns	-0,59 ns	-0,23 ns	-0,70 *	-0,65 *
MSS		1	0,99 **	-0,54 ns	-0,58 ns	-0,23 ns	-0,69ns	-0,64 ns
MSP			1	-0,56 ns	-0,59 ns	-0,24 ns	-0,70 *	-0,65 ns
N				1	0,99 **	0,79 *	0,98 **	0,99 **
P					1	0,81 *	0,98 **	0,99 **
K						1	0,71 *	0,77 *
Ca							1	0,99 **
Mg								1

### Nutrientes menores en pulpa

**Hierro.** La mayor concentración de este elemento se produjo a los 28 dda etapa de crecimiento lento (58,6 mg kg<sup>-1</sup>), este valor decreció rápidamente hasta la fase de crecimiento lineal y posteriormente permaneció casi constante, este comportamiento se describió por una función cuadrática (Figura 4-22A).

**Manganeso.** La disminución cuadrática del manganeso, indicó que este elemento pasó de una concentración a los 28 dda (crecimiento lento) de 31,2 mg kg<sup>-1</sup> a 7,79 mg kg<sup>-1</sup> al

Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia

---

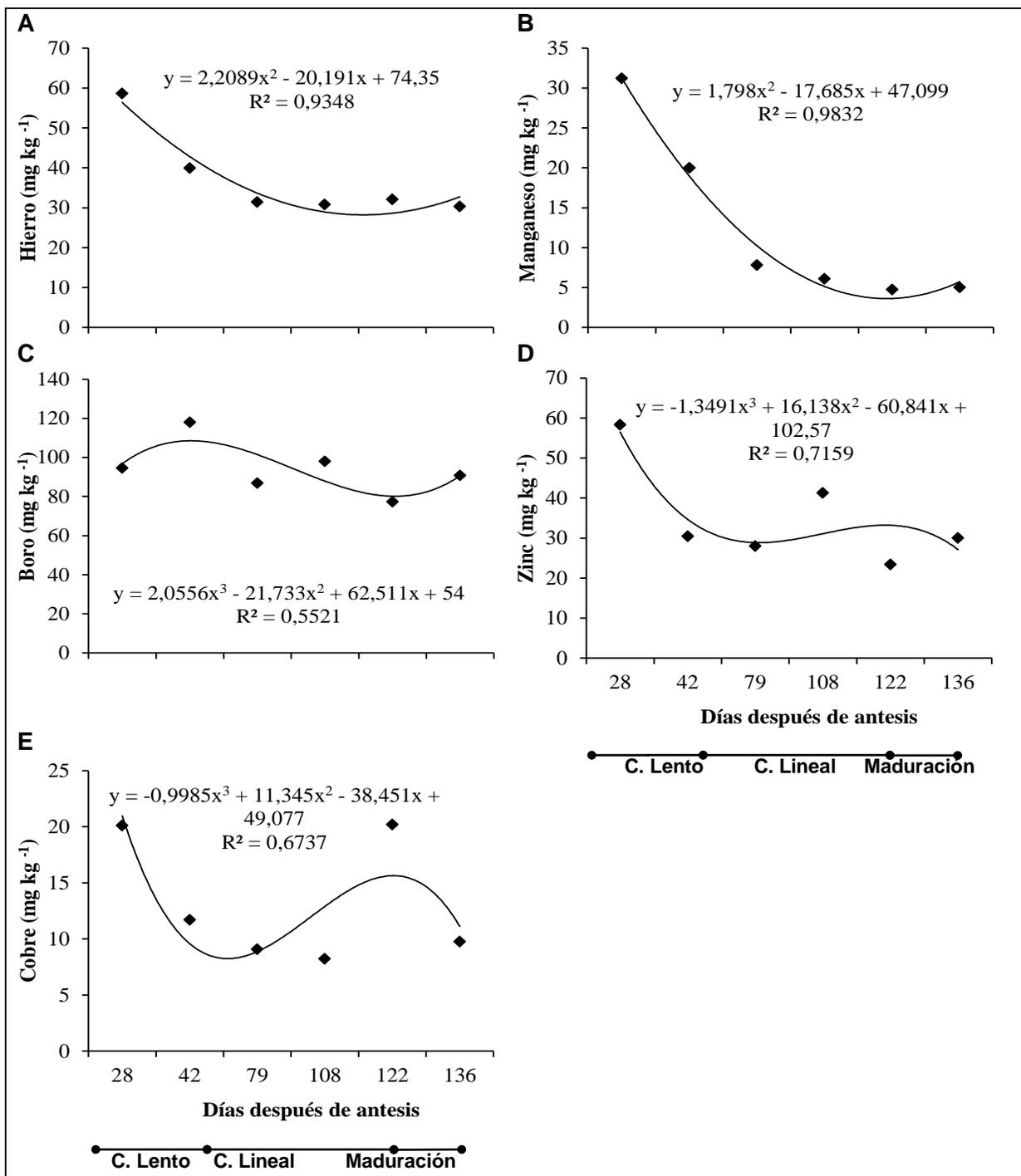
inicio de la fase lineal, esta concentración varió muy poco durante el resto del desarrollo (Figura 4-22B).

**Boro.** Presentó un comportamiento irregular, el cual se ajustó a un polinomio de tercer grado, donde se observó un incremento hasta alcanzar su máximo valor ( $118 \text{ mg kg}^{-1}$ ) a los 42 dda (final del crecimiento lento), pero luego hubo una disminución hasta su nivel más bajo ( $77,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en el inicio de la maduración y nuevamente se observó un aumento (Figura 4-22C).

**Zinc.** Con puntos máximos a los 28 (crecimiento lento), 108 (crecimiento lineal) y 136 dda (cosecha) y una mayor concentración iniciando el crecimiento lento ( $58,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ), el comportamiento del Zn se describió por una función polinómica de tercer grado (Figura 4-22D).

**Cobre.** Se observó un decrecimiento de los 28 a los 108 dda, momento en que su concentración fue la más baja ( $8,23 \text{ mg kg}^{-1}$ ), posteriormente, esta concentración aumentó de forma drástica durante la maduración hasta su valor más alto ( $20,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ), para luego disminuir en similar proporción (Figura 4-22E).

Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del  
aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en  
el departamento del Tolima, Colombia



**Figura 4-22:** Contenido en pulpa de nutrientes menores en árboles de aguacate cv. Lorena, año 2009, durante el crecimiento y desarrollo del fruto. A. Hierro, B. Manganeso, C. Boro, D. Zinc y E. Cobre.



## **5. Discusión**

### **5.1 Comportamiento productivo del aguacate**

#### **5.1.1 Abscisión global (acumulada y relativa)**

El comportamiento de la abscisión acumulada y relativa para los dos ciclos evaluados, fue similar, observándose el mismo rango de valores para las diferentes etapas de crecimiento del fruto, presentándose para el caso de la abscisión acumulada, un aumento rápido y progresivo durante la fase de crecimiento lento con valores por encima del 90%, durante la fase de crecimiento lineal la abscisión aumenta lentamente, hasta alcanzar valores sobre 99% y finalmente en la maduración se llega al 100% de la abscisión.

Para el caso de la abscisión relativa, en la fase de crecimiento lento aumenta rápidamente alcanzando valores cercanos al 15%/d, luego disminuye durante esta fase y nuevamente se incrementa sobre los inicios de la fase lineal con valores que no superan el 10%/d, luego continúa disminuyendo, finalmente en la fase de maduración presenta algunos picos de abscisión inferiores a los presentados durante las fases anteriores.

El pico de abscisión relativa, coincide con el de la máxima abscisión acumulada. Estos resultados concuerdan con varios estudios realizados en aguacate, en donde se reporta que probablemente los altos valores de abscisión se deben a la competencia entre flujos de crecimiento vegetativo y reproductivo (Gandolfo, 2008). El primer máximo de

abscisión durante la fase de crecimiento lento, se atribuye principalmente a la abscisión de flores que no fueron fertilizadas y entraron en abscisión durante las primeras semanas después de antesis (Dixon y Sher, 2002; Kohne, 2004; Alcaraz *et al.*, 2011). Esta baja tasa de fertilización es debida a la compleja biología floral de la especie la cual tiene un efecto negativo sobre el proceso de polinización, por lo que no se genera el crecimiento del tubo polínico ni se realiza la fertilización.

Un cultivo de aguacate bajo condiciones favorables forma más frutos de los que es capaz de llevar hasta cosecha, por lo cual la planta ajusta la capacidad de movilizar carbohidratos a los frutos modificando su número, provocando la caída masiva de frutos durante las tres a cuatro primeras semanas del cuajado del fruto y cuando el fruto a alcanzado entre un 10 y 40% de su tamaño (Whiley *et al.*, 1988; Wolstenholme *et al.*, 1990). Las observaciones que obtuvo Sedgley (1987), en la primera semana después de la antesis, donde el 80% de los frutos caídos pertenecían a flores polinizadas pero no fertilizadas, los frutos de aguacate que se caen se dividen en dos grupos, provenientes de flores que fueron polinizadas, pero no se llevó a cabo la fertilización, y aquellos frutos provenientes de flores en las cuales la polinización y fertilización ocurrieron, resultando en un embrión normal y semillado (Lovatt, 1990).

Además, la caída de los frutos puede ser aumentada considerablemente por efecto de un estrés ambiental, especialmente durante olas de frío o calor. Mientras más joven sea el fruto, mayor es su susceptibilidad a condiciones adversas (Gazit y Degani, 2002). También se puede originar por un aporte limitado de carbohidratos o por alguna competencia entre frutos y brotes que se desarrollan a la vez (Razeto, 2000). Una vez los frutos inician el cuajado, la abscisión se puede atribuir a frutos con fallas en el desarrollo de la semilla, aborto del embrión o muerte de la cubierta seminal (Dixon y Sher, 2002; Kohne, 2004; Alcaraz *et al.*, 2011).

El segundo tope de abscisión durante la fase de crecimiento lineal, puede deberse a que en esta etapa el fruto inicia rápidamente su crecimiento, aumenta el diámetro y peso. En este estudio el segundo tope se presentó cerca e iniciando la etapa de crecimiento lineal para 2009 y 2011, respectivamente. Estos resultados se asemejan a los mencionados

por Romero (2011), quien reporto el segundo pico de abscisión relativa cerca de 60 dda, periodo que coincidió con el inicio de la etapa de crecimiento exponencial del fruto la cual va de los 61 a los 116 dda.

En concordancia con lo encontrado en este estudio, en la variedad Fuerte se presenta un segundo pico de abscisión atribuido a caída de frutos entre 50 y 100 g. Al respecto, Gazit y Degani (2002) concluyen que la caída de frutos se debe a la rápida utilización de reservas de carbohidratos del árbol, la cantidad de fotoasimilados necesarios se incrementa y excede la capacidad fotosintética de las hojas, por tanto el crecimiento del sumidero se limita por la disponibilidad de metabolitos, así la población de frutos en desarrollo, es ajustada continuamente por la abscisión de frutos.

Varios autores mencionan que la competencia también se puede presentar entre el crecimiento de frutos jóvenes y el crecimiento vegetativo (Bower y Cutting, 1988; Gazit y Degani, 2002). El desarrollo del fruto compite fuertemente con raíces y brotes nuevos, reduciendo las reservas al mínimo al momento de la caída de frutos (Wolstenholme y Whiley, 1995; Rosales *et al.*, 2003). Cossio-Vargas *et al.* (2007a) informan sobre una caída importante de frutos que marcan los periodos de competencia entre el crecimiento vegetativo y el desarrollo del fruto, afectando directamente la productividad.

Un comportamiento similar al encontrado en este estudio se aprecia en cítricos, donde se presenta un pico máximo de abscisión relativa cercano a los valores máximos de abscisión acumulada durante el primer mes después de antesis, para luego presentar una caída abrupta en la tasa de abscisión relativa que coincide con un aumento en la cantidad de frutos en cuajado, a continuación se presenta un nuevo pico cerca al momento de la etapa de crecimiento exponencial del fruto (Laskowski, 2006). El planteamiento que explica la abscisión de frutos jóvenes es un insuficiente suministro de fotoasimilados a los frutos como consecuencia de una baja producción en las hojas o baja asignación a los frutos, en el cual las plantas aseguran la supervivencia de frutos selectos (Paz-Vega, 1997; Lovat, 2006). De este modo, solo los frutos de mayor vigor puedan persistir en el árbol (Laskowski, 2006).

De otra parte, la abscisión en frutales no solo esta explicada por la competencia entre frutos y la limitada disponibilidad de carbohidratos, también está determinada por un mecanismo de autorregulación hormonal (principalmente por auxinas), el cual es muy fuerte en árboles como el aguacate, lo que resulta en una baja carga y rendimiento (Bangerth, 2000). También se considera que la caída prematura de fruto ha sido asociada con una degeneración y muerte de la testa de la semilla en etapas iniciales o intermedias de desarrollo del fruto (Salazar-García, 2002).

### **5.1.2 Crecimiento y desarrollo del fruto**

La curva de crecimiento encontrada para el fruto de aguacate fue una típica sigmoide simple. Esta curva sigmoide simple propia de frutos carnosos (Salisbury y Ross, 1994), se ha encontrado también en arazá (Hernández et al., 2007), feijoa (Rodríguez et al., 2006a), tomate (Casierra-Posada et al., 2007) y manzana (Yuri et al., 2011). Para ambos ciclos se determinaron 3 etapas o estados de crecimiento y desarrollo las cuales fueron crecimiento lento, crecimiento lineal y maduración, la duración de cada etapa fue similar en ambos ciclos, de 0 a 57 días, 58 a 119 días y de 120 a 136 días, momento en el que se inicia la cosecha de los frutos.

Este comportamiento coincide con lo descrito por Salisbury y Ross (1994) y Opara (2000), en donde la fase de lento crecimiento se caracteriza porque la acumulación de masa seca fue de forma exponencial con el tiempo, con una rapidez de crecimiento baja, que se debe a que en esta fase predomina el proceso de división celular (Opara, 2000), luego hay un aumentó en forma continua y representativa de la masa seca, proceso dominado en esta fase por el llenado de fruto y, posiblemente, por la disminución en la respiración (Kays, 2004), sin embargo, la división celular continúa durante el desarrollo del fruto especialmente en el mesocarpio aun cuando este llegue a su punto de madurez (Bower y Cutting, 1988; Barrientos *et al.*, 1996; Cowan *et al.*, 2001; Scora *et al.*, 2002). Por último, está la fase de maduración, donde el crecimiento es lento y finalmente se estabiliza y se da paso a los diferentes cambios físicos, químicos y fisiológicos responsables de que el fruto de aguacate alcance la madurez de consumo, en estas graficas no se alcanza a observar la duración total de la fase de maduración, debido a

que la cosecha en aguacate es un prerrequisito para que el fruto continúe la maduración fuera de la planta.

Estos resultados concuerdan con lo señalado por Rosales *et al.* (2003) quienes encontraron que inicialmente se presenta un crecimiento lento del fruto en términos de peso seco y fresco, ajustándose a una curva de desarrollo típica sigmoideal, también Cowan (1997), indicó que el crecimiento del fruto se ajusta a una curva de crecimiento simple sigmoidea, donde en las primeras etapas de crecimiento se presenta la división celular rápida y en las etapas siguientes se da la elongación celular por tanto el crecimiento es mayor, aun así la división celular continua hasta la madurez. La primera fase puede tomar alrededor de 10 semanas después del pico de floración, la fase de crecimiento lineal puede llegar hasta 30 semanas después de floración, dependiendo de la variedad y condiciones ambientales, esto seguido de la fase de maduración en la cual el crecimiento se detiene (Cowan *et al.*, 1997). Garner y Lovatt (2008) encontraron que para las condiciones de California, el fruto de aguacate Hass tomo 365 días desde el momento de floración hasta la madurez fisiológica. Cossio-Vargas *et al.* (2008), establecieron en aguacate Hass en México estado de Nayarit, que el tiempo completo de desarrollo del fruto tomo 8 meses y Rocha-Arroyo *et al.* (2011), encontraron en aguacate Hass en México estado de Michoacán, que el tiempo completo de desarrollo del fruto tomo cerca de 9 meses.

Para todos los pesos, la TAC presentó mayores valores en la etapa de crecimiento lineal, lo cual refleja el rápido crecimiento del fruto en esta etapa, lo cual concuerda con lo observado en arazá (Hernández *et al.*, 2002) y feijoa (Rodríguez *et al.*, 2006). Además, el comportamiento de la TAC presentó solo un pico máximo, lo cual es típico para frutos con crecimiento sigmoide simple como el observado en manzana (Yuri *et al.*, 2011). La TCR presentó un comportamiento típico de ese tipo de bayas, donde una mayor disminución indica mayor velocidad de crecimiento, tal como ocurrió en la fase de crecimiento lineal, mientras que en la fase de crecimiento lento y maduración la disminución del a TRC es muy lenta, este comportamiento también se ha encontrado en manzana por Yuri *et al.* (2011) y en tomate por Casierra-Posada *et al.* (2007).

El crecimiento de los diámetros ecuatorial y longitudinal, fue más acelerado que los pesos, pues se presentaron los más altos valores iniciando la etapa de crecimiento lineal, esto a causa de la elongación acelerada de las células en esta etapa, pero al final de esta etapa y durante la maduración el aumento de los diámetros del fruto es más lento. Ríos y Tafur (2003), expresan que el aguacate Lorena en el Valle del Cauca (Colombia) alcanza a cosecha un largo de 146,9 mm, un ancho de 91 mm, un peso fresco de 568 g, un peso de cascara de 28,1 g, un peso de pulpa de 455,55 g y un peso de semilla de 107,86 g. En concordancia, Rosales *et al.* (2003), en aguacate Hass, reportan que la curva de crecimiento transversal como longitudinal del fruto mostró un incremento constante desde los 0 hasta los 62 días, para posteriormente aumentar al iniciar la fase de crecimiento lineal llegando a su máximo tamaño a los 244 días.

## **5.2 Relaciones nutrimentales**

### **5.2.1 Evolución de nutrientes a nivel foliar: Índice de Balance**

La concentración de los elementos mayores y menores, en hojas provenientes tanto de yemas reproductivas como de yemas vegetativas, tuvo comportamiento similar para ambos ciclos evaluados. Se puede precisar que uno de los aspectos más importantes a considerar en la interpretación de resultados del análisis vegetal, se refiere a las relaciones nutrimentales, debido a que es común que se presenten síntomas de deficiencia de algún nutriente por un desbalance, en cuanto a su concentración relativa con los demás. Esta relación es importante, tanto en el sustrato donde crecen las plantas (suelo o soluciones nutritivas), como dentro de la planta misma, ya que muchas veces altas concentraciones de algún elemento, pueden reducir la porción absorbida de otro, causando así una deficiencia de forma indirecta o inducida. Los balances adecuados entre nutrimentos varían con la etapa fenológica de la planta; así lo que fue óptimo para el desarrollo de la plántula, puede no serlo ya para el desarrollo y cuajado de fruto, de ahí la importancia de conocer los equilibrios críticos para cada etapa fenológica (Arellano y Gutiérrez, 2009).

Fueron evidentes la sinergias y antagonismos generados entre nutrientes; así por ejemplo, hubo antagonismos entre: P – Ca y Zn, Fe-Ca y Mn, Zn –Cu, también fueron manifiestas sinergias entre N-P y Mg – B, lo cual coincide con lo reportado por Alarcón (2008). Dentro de estas condiciones cuando los nutrientes se encuentran en altos contenidos pueden representar un problema para la planta ya sea por un efecto directo del elemento sobre esta, caso de toxicidades o por antagonismo con otros elementos que poseen características similares y compiten por los canales y transportadores de entrada a la planta o pueden a su vez complejar al elemento (Fidalski *et al.*, 2000; Hernández *et al.*, 2009; Castro y Gómez, 2011).

La mayoría de los elementos presentaron valores bajos a deficientes; sin embargo, bajo estas condiciones se obtuvo un buen promedio de tamaño de fruto, entre 400 y 450 g con un diámetro longitudinal de 120 y 90 mm respectivamente, para la calidad comercial primera y entre, 300 350 g con diámetros de 120 y 80 mm longitudinal y ecuatorial para la calidad segunda; posiblemente debido a que las hojas de aguacate pueden almacenar grandes cantidades de carbohidratos y minerales que se reciclan durante los periodos de demanda (Whiley, 1990a). El aguacate es considerado como una especie de baja demanda de nutrientes esto se demuestra por el bajo contenido total de nutrientes en la cosecha al comparar con otros árboles frutales y cultivos de campo. La capacidad del aguacate de extraer y utilizar los nutrientes minerales se refleja en la concentración de cada nutriente en los tejidos, por lo que el análisis químico de las hojas, proporciona una valiosa información acerca del estado nutricional del árbol (Gamalier *et al.*, 2005). Además, el aguacate se caracteriza por tener una baja demanda de nutrientes, es así como Lahav (1990) señala que la extracción de N, P y K por cada tonelada de fruto es de 11,2 y 20 kg respectivamente.

Respecto al N, P y K, en la fase de crecimiento lento, solo el P estuvo en el rango normal, mientras que el N y K estuvieron bajos, es importante suplir estos nutrientes, pues según los estudios de Cossio *et al.* (2006), en la fase de crecimiento lento es necesaria la presencia de N, P y S, debido a que estos elementos intervienen en procesos enzimáticos y en la generación de asimilados; es así como en Michoacán, se

Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia

---

evaluó durante cinco años la respuesta del cv. Hass a la aplicación por hectárea (con 100 árboles) de 200 kg N, 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 100 kg K<sub>2</sub>O, obteniéndose un rendimiento de fruto de 16,7 ton/ha (promedio de cinco años), comparado con 11,6 ton/ha para árboles sin fertilización (Aguilera-Montañez y Salazar-García, 1996).

El Ca estuvo ubicado entre normal a bajo en las diferentes etapas de desarrollo y crecimiento del fruto, estos resultados pueden ser explicados debido al hecho de que el Ca es uno de los nutrientes de poca movilidad en los tejidos vegetales. Las plantas con deficiencia de Ca o con desbalances de este elemento, suelen ser débiles pequeñas y susceptibles a cualquier tipo de daño especialmente de pudriciones (Marschner, 2002). El movimiento de Ca dentro de la planta depende de un buen nivel interno de agua y temperaturas adecuadas con una transpiración normal, por tal motivo cualquier factor que altere dichos procesos puede causar desbalances de este elemento en el tejido, principalmente puntos nuevos de crecimiento y frutos (Marschner, 2002). La deficiencia de este elemento es común cuando se excede en N o bien cuando hay falta o exceso de humedad y días nublados o con fuertes vientos (Fernandez y Eichert, 2009). Las aplicaciones foliares de Ca son una alternativa a la baja movilidad de este elemento en la planta, es importante desarrollar métodos para incrementar su penetración en las hojas de aguacate y su posterior translocación hacia el fruto, sin que se presenten daños al follaje por las aspersiones (Solis *et al.*, 1998).

El Mg en todas las etapas de desarrollo del fruto estuvo bajo; es de tener en cuenta, que la deficiencia de Mg es muy notoria, sobre todo cuando el Ca también está deficiente. Al respecto, Chirinos (1999) afirma que el alto contenido foliar de Mg del aguacate, indica su gran necesidad de incluirlo en los programas de fertilización.

El comportamiento del Zn, alto en floración y decreciente en las demás etapas de desarrollo, concuerdan con lo informado por Gardiazabal (2004), donde las concentraciones de Zn en la hoja también descienden durante el desarrollo de las panículas de flores. En tejidos florales, los niveles pueden estar entre un 80-100% superiores durante la antesis (apertura de la flor) que en las hojas adyacentes.

El B fue particularmente bajo en floración etapa en la que se produce el cuajado de los frutos, esto puede estar relacionado con la abscisión de estructuras reproductivas que presentó su mayor pico, durante la floración, estos resultados pueden verse reflejados en las conclusiones de Gardiazabal (2004), quien afirma que el déficit de B produce diferentes trastornos en el árbol pero los más importantes afectan a la producción y calidad del fruto. Estos efectos están relacionados al rol fisiológico del B en el proceso de crecimiento del tubo polínico y cuajado del fruto. En el caso específico del aguacate, una de las funciones más importantes del B está en la activación del crecimiento del tubo polínico, con lo cual un déficit del mismo, conduce a menor cuajamiento y menor producción.

Para corroborar lo anterior Castillo *et al.* (1998), en experimentos semi *in vivo* (con las flores de aguacate separadas del árbol y colocadas en agar), encontraron que el mejor crecimiento del tubo polínico (alcanzando el ovario), se obtuvo en aquellas flores suplementadas con concentraciones de B de entre 50 y 100 mg L<sup>-1</sup>. Esto indica que se requiere de una cierta concentración de B en la planta, antes de la floración para una adecuada fecundación y amarre de fruto. También Jaganath y Lovatt (1998) aseveran que las aspersiones con B en prefloración mejoran la viabilidad del polen y la longevidad del óvulo, sobre todo cuando el clima es frío y lluvioso. La importancia del B se puede verificar en los estudios realizados en Sudáfrica, donde las aspersiones con B durante el otoño o la primavera a árboles de aguacate sin deficiencia de B (según análisis foliares), incrementaron el amarre de fruto (Robbertse *et al.*, 1990, 1992).

Los resultados obtenidos en este estudio, difieren de los de Castillo *et al.* (1998), quienes no encontraron diferencias en la concentración de B de las hojas y de las inflorescencias entre las zonas norte y sur de la copa del árbol, ni entre las inflorescencias de otoño y de invierno; lo que sugiere una distribución homogénea del elemento en la planta a través del tiempo. Los valores registrados con el análisis foliar fueron bajos o insuficientes a lo largo del año. Bajo estas condiciones de insuficiencia de B en el árbol, el crecimiento vegetativo y el desarrollo de las inflorescencias no compiten entre sí por este elemento,

puesto que las mejores concentraciones en hojas se presentaron cuando ocurrió la floración.

El Mn y Zn se ubicaron en rangos bajos, la deficiencia de Mn comúnmente se presenta acompañada de la de Zn y con frecuencia se enmascaran o confunden los síntomas de la misma, los amarillamientos blanquecinos de la deficiencia de manganeso ocurren en hojas jóvenes y en ocasiones están acompañados de manchas necróticas (Gómez, 2003).

El P estuvo entre rangos de alto a excesivo, este se relaciona fuertemente con los procesos de floración y formación de raíces por lo que su aplicación oportuna puede apoyar e intensificar dichos eventos (Gómez, 2003). Es importante tener en cuenta los antagonismos, pues tal como se observó en el estudio, el Zn presentó valores bajos probablemente por la alta presencia del P.

El K estuvo bajo en todas las etapas fenológicas del fruto, es importante tener en cuenta que el K es un elemento que se encuentra libre dentro de la planta y no forma parte de ningún compuesto orgánico dentro de la misma. Es un importante activador enzimático y regulador del balance iónico e hídrico de las plantas (Marschner, 2002). El K está ligado con la producción de materia seca en las plantas, determinando fuertemente el rendimiento y la calidad potencial de los productos. El K define en gran medida el tamaño final de los productos, su coloración, serosidad, y sabor de los frutos, así como el tamaño y color de las hojas y el tamaño y peso específico de los tubérculos y rizomas de los cultivos (Gómez, 2003; Fernández y Eichert, 2009). Es posible pensar que aunque los niveles de K en el fruto estuvieron bajos, al parecer fueron suficientes para cumplir las diferentes funciones fisiológicas.

En relación a los contenidos nutricionales entre hojas provenientes de yemas reproductivas y hojas provenientes de yemas vegetativas, se observó que para estas últimas, los nutrientes fueron más estables, mientras que en hojas de yemas reproductivas, los contenidos variaron más ampliamente en cada etapa fenológica; estas observaciones concuerdan con las de Rosales *et al.* (2003) y Dixon (2007), quienes

indican que en hojas maduras provenientes del ciclo anterior, donde todo el sistema asimilatorio está completamente desarrollado al momento de antesis y cuajado del fruto, mientras que en inflorescencias de tipo indeterminado el fruto en desarrollo se encuentra acompañado por hojas del nuevo flujo de crecimiento vegetativo generando una competencia por agua, nutrientes y fotoasimilados entre frutos jóvenes y el crecimiento vegetativo apical el cual ocurre generalmente durante antesis y cuajado de fruto (Wolstenholme y Whiley, 1995; Bower y Cutting, 1988; Gazit y Degani, 2002; Rosales *et al.*, 2003).

Es importante reconocer los momentos fisiológicos del árbol de aguacate, para poder suplir los nutrientes requeridos a etapas de crecimiento y desarrollo específicas, es así como Wolstenholme y Whiley (1995), indican que el paso de vertedero a fuente de las hojas nuevas del flujo de crecimiento vegetativo en competencia ocurre a los 42 días después del pico de antesis, tiempo en el cual puede ocurrir la abscisión del 86% de los frutos por efecto de competencia por recursos. La disminución en la caída de frutos tiende a coincidir con la disminución del crecimiento del flujo vegetativo cerca de los 50 dda, donde las hojas se encuentran completamente expandidas y se incrementa la exportación de fotoasimilados a los frutos presentes en la misma rama (Dixon, 2007).

Los rendimientos de los huertos de aguacate son bajos, cuando se comparan con los de manzanos, durazneros y cítricos. Por una parte, esto es debido a los altos costos de energía que necesita el aguacate para sintetizar los aceites en su fruta, por otro lado, a un reflejo del origen de esta especie, en bosques tropicales donde llueve todo el año, como también a la conducta compleja de floración y polinización que posee (Gardiazabal, 2004).

La disponibilidad de los nutrientes tanto en la planta como en el suelo, depende de la movilidad que estos tengan, la planta presenta una capacidad de autorregular la absorción de nutrientes de acuerdo a su estado nutricional y etapa fenológica; además, este mecanismo está regulado por la movilidad del elemento que depende de sus

propiedades iónicas y de los mecanismos de transporte y descarga al floema (Gómez, 2003).

### 5.2.2 Características fisicoquímicas del suelo

El suelo evaluado corresponde a un Andisol de textura franco arenosa, densidad aparente de  $0,97 \text{ g cm}^{-3}$  y porosidad del 60%. Presenta un pH moderadamente ácido (entre 5,95 y 5,51), una CE de  $0,44 \text{ dS m}^{-1}$ , baja CICE ( $9,15 \text{ cmol kg}^{-1}$ ), alto contenido de MO (5,3%) y alto N total (0,46%). Algunas características de este tipo de suelos, las presenta Gómez, (2003), quien indica que al igual que el suelo analizado, los Andisoles se caracterizan por la proporción y la naturaleza de materiales amorfos producto de la intemperización de ceniza volcánica, junto con otros minerales arcillosos, los cuales influyen directa o indirectamente en múltiples aspectos del comportamiento físico-químico y de la fertilidad de los suelos cultivados, como se describe a continuación:

- La baja densidad aparente ( $0,8-1 \text{ g cm}^{-3}$ ), generalmente corresponde a más porosidad, mayor retención de humedad y mayor superficie específica de contacto por unidad de área respecto a suelos con minerales cristalinos.
- Suelos de carga variable dependiente del pH que implica mayores aplicaciones de nutrientes y enmiendas.
- Inactivación del  $\text{K}^+$ .
- Alta MO con bajas tasas de mineralización y sumado a complejos de Al, se presenta una relación directa con la fijación de fosfatos. Aunque los Andisoles paperos en Colombia generalmente presentan contenidos entre medios y altos de MO, expresados como carbono orgánico, su índice de mineralización es bajo debido a la inactivación de las bacterias nitrificantes por efecto de las bajas temperaturas y la concentración de Al. En estas condiciones la MO no es un índice de la disponibilidad de N para la planta, por ello el manejo debe ir encaminado a la activación de la flora del suelo con materiales orgánicos de relaciones C/N < a 15 (estiércoles, gallinazas descompuestas).

- Presencia de óxidos de Al y Fe en las reacciones de intercambio y fijación de fosfatos en la solución del suelo.

Respecto a los contenidos nutricionales, se pudo observar que tienen un comportamiento muy similar a los presentados en los análisis foliares, así, las bases K, Ca, Mg y Na, se encuentran en niveles bajos, esto probablemente debido al proceso de lixiviación y al efecto del pH que siendo ácido, limita la disponibilidad de estas bases, tal como lo reportan Torres y Chinchilla (2002).

El P se encontró en niveles bajos, esto es explicado por el fenómeno de fijación que se refiere a la fuerte retención de los nutrientes que realiza la fracción coloidal u orgánica del suelo. El caso más típico es el del P, especialmente en suelos muy ácidos y con arcillas amorfas de tipo alófono, que se encuentran típicamente en los Andisoles y otros suelos asociados con cenizas volcánicas (Gómez, 2011).

La concentración de Ca y Mg siempre se ubicó en valores especialmente bajos a excepción del final del segundo año, corroborando los valores de saturación de Ca y Mg. El Mg en el árbol de aguacate, se ha demostrado que promueve un mayor número de brotes nuevos, la floración temprana y un mayor cuajado de frutos al disminuir el número de abortos florales. El antagonismo que se corrige con la aplicación de cal dolomita, en cultivares de aguacate, además de corregir la acidez del suelo, aporta Mg y para tener efectos más rápidos se sugiere usar fuentes de Mg solubles en agua, tal como el sulfato doble de potasio y magnesio que aporta además K y S (Torres y Chinchilla, 2012). En el cultivo del aguacate, los elementos más limitantes en el crecimiento y desarrollo son en su orden: K, N, P, Ca y Mg.

Debido a que las concentraciones de N fueron bajas, tanto a nivel de suelo como foliar, es recomendable hacer aplicación de lo indicado por Alarcón (2000), que hace referencia a un pH bajo y un Al intercambiable bajo y si el árbol entra en producción, la fertilización nitrogenada debe incrementarse, ya que en el período comprendido entre el inicio de la floración y la maduración del fruto, el árbol demanda la mayor cantidad de N.

Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia

---

En los resultados se puede apreciar que la relación Ca+Mg/K se encuentra alta para la etapa de floración y crecimiento lento y baja para cosecha y estado vegetativo; sin embargo, difiere de lo sugerido por Salazar-García (2002), quien asegura que para mermar la incidencia de desórdenes fisiológicos en poscosecha, la relación Ca+Mg/K en el porcentaje de saturación de bases del suelo, debe de mantenerse entre 4 y 5.

Los elementos menores como Mn, Zn y B se encuentran en proporciones bajas durante todas las etapas fenológicas, a excepción del Zn que en la etapa vegetativa y de floración del segundo ciclo, se reportó como alto; respecto al Fe se observó alto en todas las etapas y el Cu normal también en las etapas de crecimiento y desarrollo del fruto. Estos resultados siguen la misma tendencia del comportamiento foliar.

Respecto a los bajos contenidos de B es importante tener en cuenta que las aplicaciones de B al suelo suelen ser más efectivas que las aspersiones al follaje (Salazar-García, 2002). La dosis apropiada de B puede variar con el nivel de producción, edad del huerto, magnitud de la deficiencia (determinada mediante el análisis de suelo y foliar), síntomas, así como la fertilidad del suelo y la disponibilidad de agua (Cossio *et al.*, 2009). Las aspersiones al follaje parecen tener un efecto específico en las hojas, pero no alcanzan a llegar en suficiente concentración a las raíces, ni a los frutos en desarrollo, en donde los requerimientos de B son cruciales (Castillo *et al.*, 2007).

Respecto a la textura encontrada en estos suelos se evidenciaron desde Limosos en los primeros centímetros de profundidad y Franco Arenosos para profundidades mayores, esta particularidad, le confiere ciertas características como son buena aireación y drenaje por el porcentaje alto de porosidad que representa (Gómez, 2010). Los resultados obtenidos difieren de lo revelado por Salazar-García (2002), quien afirma que los mejores suelos para el cultivo de aguacate son los de textura media, suelos francos arcillo arenosos, profundos (0,80 a 1,50 m), con buen drenaje interno y superficial, de 3 a 5% de MO. No es aconsejable plantar árboles de este cultivo en suelos salinos, arcillosos o con capas duras que impidan el buen desarrollo radical.

**pH.** Los resultados muestran que el pH se encuentra entre 4,8 y 5,8 que corresponde a fuertemente y moderadamente ácido, respectivamente (Gómez, 2011). Esta condición hace que el pH del suelo ejerza un efecto indirecto sobre el cultivo, ya que a esta acidez los elementos nutritivos están más o menos disponibles. Por ejemplo, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn se encuentran más disponibles ya que los metales generalmente están muy fuertemente unidos a las partículas del suelo o existen naturalmente en minerales sólidos a un pH alto. Por el contrario, los cationes como el Na, K, Ca Mg están débilmente unidos a las partículas del suelo, de manera que pueden ser lavados, especialmente a pH bajo; por lo tanto, éstos son menos disponibles a niveles de pH bajo (Salazar-García, 2002). El pH de suelo adecuado para el aguacate es de 5,5 a 6,5, lo que indica que existe cierta restricción en cuanto a algunos elementos

**Materia Orgánica (MO).** En el estado vegetativo del 2009, donde se registran los valores de pH más bajos, se encuentran los valores de MO más altos. Este incremento de la MO después de la cosecha se puede deber a la muerte de raíces y baja tasa de mineralización desde el final de la cosecha al inicio del estado vegetativo. Acorde con los resultados obtenidos en este estudio, Gómez (2010) indica que en condiciones de alta MO con bajas tasas de mineralización y sumado a complejos de Al, se presenta una relación directa con la fijación de fosfatos. Aunque los Andisoles en Colombia generalmente tienen contenidos entre medios y altos de MO, expresada como carbono orgánico, su índice de mineralización es bajo debido a la inactivación de las bacterias nitrificantes por efecto de las bajas temperaturas y la concentración de Al. En estas circunstancias la MO no es un índice de la disponibilidad de N para la planta, por ello el manejo debe ir encaminado a la activación de la flora del suelo con materiales orgánicos de relaciones C/N < a 15.

**Conductividad eléctrica (CE).** La conductividad eléctrica tiene una clara tendencia a disminuir con la profundidad del suelo, puesto que en los primeros centímetros se ubican los elementos minerales disponibles para la nutrición de las plantas y a medida que se va avanzando en profundidad, estas van sufriendo un movimiento de concentraciones de solutos y al mismo tiempo se presenta un lavado de los elementos y por tanto una

disminución de la CE por el movimiento de agua en el suelo, y es de recordar que la textura Franco Arenosa de los suelos, no favorece la retención de iones y por ende la baja fertilidad de estos suelos.

**Capacidad de Intercambio Catiónica Efectiva (CICE).** Varía con la profundidad del suelo, disminuye a medida que se profundiza, esto debido a que la disponibilidad de iones disminuye igualmente con la profundidad (Torres y Chinchilla, 2012). Es en las fases de floración y vegetativa que se incrementa posiblemente debido al aumento del contenido de MO y la transformación de la textura que hace que se incremente el área de partículas para la acción de intercambio iónico. También el uso de fertilizantes hace que se incremente esta CICE. Es recomendable una saturación de calcio de entre 60 y 70 %. De lo contrario puede estar siendo antagonista con el Mg (Torres y Chinchilla, 2012).

Un aspecto importante a tener en cuenta para la óptima absorción de nutrientes, es el sistema radical, que en aguacate es superficial, está extensamente suberizado y es relativamente ineficiente en la absorción de agua, que puede tener como consecuencia pérdida de frutos durante las etapas críticas del desarrollo, como la floración y posterior crecimiento de este. En la segunda caída de fruto, un buen riego anterior a este evento, disminuye el impacto del ajuste de la carga en el rendimiento final. Los aguacates absorben hasta el 95% del agua en los primeros 60 cm del suelo, cuando las texturas son finas. Debido a la mayor distribución superficial de las raíces absorbentes por debajo de la cubierta de hojas, se sugiere que el sistema de riego usado debiera cubrir entre un 50 y 70% de la superficie de la proyección del árbol (Gardiazabal, 2004).

Según Wolstenholme (1987), el fruto de aguacate es muy demandante de energía y tiene una gran dependencia de las reservas del árbol. Esto hace que la estrategia del árbol sea de alta eficiencia para captar, almacenar, conservar y reciclar carbohidratos y reservas minerales, haciéndolo parecer como un árbol cuya producción es barata en cuanto al gasto de nutrimentos.

### 5.2.3 Curva de extracción de nutrientes del fruto

Hubo una tendencia de todos los elementos a disminuir con el paso de cada etapa fenológica, es así como en la fase de crecimiento lento del fruto, se presentaron niveles de concentración altos, pero que disminuyeron progresivamente hasta la cosecha.

Se presentaron dos excepciones con el B y el K, que se mantuvieron algo constantes durante el crecimiento y desarrollo del fruto, esto se puede explicar apoyado en Salazar-García (2002), quien afirma que en condiciones normales de cultivo los nutrimentos tienden a moverse de los sitios de mayor concentración o abundancia en la planta, a los sitios de mayor demanda. Este movimiento se realiza principalmente a través del floema.

Respecto a los elementos menores fueron evidentes los altibajos que presentaron el Cu y Zn, durante el crecimiento y desarrollo del fruto, en donde durante el crecimiento lento hubo un descenso y en la maduración nuevamente presentaron altos valores, esto es posiblemente ocasionado por la aplicación de fertilizantes que contienen estos micronutrientes y al manejo fitosanitario que incluye también la aplicación de productos con presencia de estos nutrientes (Gómez, 2008).

El fruto del aguacate es rico en aceite y presenta una alta concentración de proteínas; por lo tanto, es un depósito importante de carbono y N. Sin embargo, en esta especie existen períodos de competencia entre el desarrollo del fruto y crecimiento vegetativo, por lo que la distribución y transporte del N dentro del árbol es de gran importancia (Gamalier *et al.*, 2005), lo que puede explicar que los contenidos de N hayan sido bajos a nivel de suelo y foliar.

Es importante tener en cuenta que el contenido de N, disminuye en las fases de crecimiento lento y lineal; al respecto Lovatt (1999), indica que el momento de demanda crítica de N en aguacate se estima que corresponde al período de caída de frutos, caracterizado por la competencia entre el desarrollo de los frutos nuevos y el crecimiento vegetativo. Sobre este particular la aplicación de N (urea con bajo biuret) o P (fosfato de

potasio), al momento que se presenta el máximo grosor de la cáscara del fruto, contribuyó al incremento del tamaño comercial de los frutos (6,9 a 8,8 cm por árbol). Así se corroboró que en este estudio la mayor abscisión se dio entre estas fases de crecimiento lento y lineal. Es necesario que no haya exceso ni deficiencia de N, P y K, porque un desequilibrio en estos elementos, reduce considerablemente el tamaño y calidad del fruto. Se sabe que un alto contenido de N causa una disminución del contenido de Ca y se incrementa la sensibilidad a enfermedades y las paredes son más delgadas con lo que se aumenta la susceptibilidad a daños mecánicos (Cerdas *et al.*, 2006).

El Ca presentó una disminución marcada durante el crecimiento y desarrollo de fruto, esto puede ser debido a la baja movilidad del este elemento de la planta, aunque el Ca es probablemente el catión más abundante tomado por las plantas, los contenidos de este elemento dentro del fruto son relativamente bajos (Tagliavini *et al.*, 2000), esto es debido a la mala distribución del nutrimento en la planta una vez asimilado (Penter y Stassen, 2000). Además de todo el Ca absorbido por el árbol, una gran proporción es utilizado en el crecimiento de brotes vegetativos y raíces (Salazar-García, 2002). El Ca es importante en la fisiología de la planta y por el papel que juega durante el ablandamiento del fruto, ya que está involucrado en la organización celular y la integridad de la pared y membrana celular (Cerdas *et al.*, 2006). Por otra parte, demasiado Ca en el suelo, podría reducir la absorción de otros nutrimentos, incluyendo al K, el Mg y el B, los cuales también están involucrados en la calidad del fruto (Salazar-García, 2002).

Los resultados presentados, difieren un poco de los estudios por Maldonado *et al.* (2007), que indicaron una acumulación diferencial de nutrimentos en el fruto, siendo el K el más concentrado, seguido de N, P, Mg, Ca, Fe, B, Zn, Cu y Mn, mientras que en este estudio el orden fue: N, K, Ca, P, Mg, B, Fe, Zn, Mn, Cu. Algunas razones que explican este comportamiento son: a) edad del árbol, b) estado de desarrollo del fruto, c) manejo del huerto, d) disponibilidad de nutrientes en el suelo (incluye la fertilización), e) diferente habilidad de los portainjertos para absorber los nutrimentos del suelo y translocarlos a la parte aérea, y f) metodología y procedimientos analíticos usados (Salazar, 2002), y

Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia

---

también se puede incluir la asincronía fenológica, pues los nuevos brotes como órganos vertederos, pueden competir con los frutos en desarrollo por asimilados y nutrientes.

Por la anterior razón, es importante tener en cuenta que no es posible comparar las cantidades de nutrientes extraídos por el aguacate cv. Lorena respecto a otros cultivares, más bien es ver el comportamiento de cada nutriente. Por ejemplo Chirinos (1999), referencia que el fruto de aguacate sorprendentemente es bajo en N y muy alto en P y K, la cantidad de N, P ( $P_2O_5$ ) y K ( $K_2O$ ), extraídos por una tonelada de fruto de aguacate es de 0,83, 2,40 y 3,62 kg respectivamente. Mientras que Salazar-García (2002), indica que una cosecha de 20 t de aguacate Hass remueve 52, 21 y 94 kg de N,  $P_2O_5$  y  $K_2O$ , respectivamente. Es también notoria la alta remoción de Mg, S, Zn, B y Mo por todo el fruto (incluyendo testa, semilla, pulpa y epidermis) de aguacate Hass. Los resultados expuestos sobre los bajos niveles de nutrientes en las hojas, se asemejan al efecto de redistribución de nutrimentos de la hoja hacia el fruto que es particularmente importante durante el crecimiento reproductivo, principalmente del fruto (Marschner, 1986), de los cuales el N se removiliza del 50 al 70 % y el Mg del 15 al 23 %, con dirección al fruto especialmente en frutales subtropicales (Tagliavini *et al.*, 2000; Salazar-García, 2002), tal como se pudo apreciar en los contenidos nutricionales del fruto.

Las concentraciones de macro y micro nutrientes encontradas en el fruto se pueden atribuir al hecho de que la semilla de aguacate, juega un papel importante en el desarrollo del fruto. Al presentar mayor dominancia sobre el mesocarpio como vertedero de agua y solutos, actúa como un reservorio potencial durante el crecimiento del fruto. La cubierta seminal es el punto de unión en el transporte de solutos entre la semilla y mesocarpio a través de los plasmodesmos. Estas funciones le atribuyen el papel de órgano regulador de procesos fisiológicos y bioquímicos en el fruto durante el desarrollo y maduración. El no desarrollo de la cubierta seminal es sugerido como un inhibidor de la actividad meristemática, y por tanto, puede disminuir la fuerza del vertedero, existiendo una marcada relación entre el tamaño de la semilla y el tamaño final del fruto (Cowan *et al.*, 2001; Kalala *et al.*, 2005).

## 6. Conclusiones y recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

Se establecieron tres etapas de crecimiento y desarrollo del fruto de aguacate cv. Lorena, con una duración de 0 a 50 dda para la fase de crecimiento lento, 51 a 119 dda en crecimiento lineal y 120 a 137 dda durante la fase de maduración, para un total de 137 días desde la floración hasta la cosecha. El incremento de la masa seca de los frutos y semillas de aguacate, tuvieron un comportamiento sigmoide simple, además dicha expresión se ajustó a un modelo de crecimiento tipo logístico.

Se presentó mayor abscisión relativa de estructuras reproductivas durante la fase de crecimiento lento y la abscisión acumulada tuvo un aumento progresivo hasta los 20 dda, para mantenerse casi estable durante las demás fases de crecimiento y desarrollo con valores entre 98% y 99,9%. Durante la fase de crecimiento lineal, se evidencio un pico pequeño de abscisión relativa sobre los 60 dda y finalmente iniciando la fase de maduración, hubo otro pequeño pico de abscisión entre el 4 y 6 % d.

Los elementos mayores (N, P, K), estuvieron en mayor concentración en hojas provenientes de brotes vegetativos, mientras que el Ca, Mg y S tuvieron un comportamiento contrario, presentándose en mayor concentración en hojas provenientes de brotes reproductivos. Las etapas fenológicas con mayor concentración de nutrientes en las hojas fueron crecimiento lineal y maduración.

Los elementos menores estuvieron presentes en mayor concentración en las hojas provenientes de brotes reproductivos, a excepción del Fe que presentó mayor concentración en hojas provenientes de brotes vegetativos. La etapa fenológica más demandante de elementos menores fue la de crecimiento lento; el B y Fe presentaron mayores concentraciones durante el crecimiento lineal.

Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia

---

En general la tendencia de los elementos nutritivos durante las etapas de crecimiento y desarrollo del fruto de aguacate, fue de mayor estabilidad en las hojas provenientes de brotes vegetativos, mientras que en hojas provenientes de brotes reproductivos, se evidenciaron diferentes concentraciones entre las etapas de crecimiento y desarrollo del fruto. Se presentaron antagonismos entre el Ca con el Mg y el Zn, el P y el Zn, el Mn con el Fe y el Zn.

Para la mayoría de los elementos el Índice de Balance foliar fue entre bajo y normal. En la categoría de alto y excesivo solo estuvo el Fe durante todas las etapas de crecimiento y particularmente el Zn y Cu durante la floración, en el rango de deficiente se ubicaron el Na y el S.

Los contenidos nutricionales presentes en el suelo ratifican la baja fertilidad del mismo, es así como los elementos mayores se observaron en concentraciones bajas para la mayoría de las etapas fenológicas excepto el K, en floración y cosecha en los primeros 15 cm de suelo. También se notó un comportamiento similar a lo visto, en los tejidos foliares con los elementos menores en donde el único que estuvo alto fue el Fe. El efecto antagonista entre los nutrientes se evidenció tanto en los tejidos foliares como en la dinámica del suelo.

La fase de crecimiento y desarrollo de mayor extracción de nutrientes en el fruto fue la de crecimiento lento, puesto que el comportamiento de los elementos fue decreciente a través de dichas etapas, a excepción del B y K que tuvieron concentraciones más estables en cada estado.

## 6.2 Recomendaciones

Es importante determinar los contenidos nutricionales en las inflorescencias y hojas acompañantes durante la etapa de mayor abscisión y así poder encaminar planes de fertilización que minimicen el impacto causado por este fenómeno en aguacate.

Es fundamental hacer ensayos en donde se monitoreen los contenidos nutricionales de hojas provenientes de inflorescencias determinadas e indeterminadas, para conocer el comportamiento de los nutrientes en estos tejidos y poder realizar manejos culturales en el árbol.

Se estima conveniente realizar evaluaciones con diferentes dosis de fertilización, para determinar las extracciones nutricionales, según el rendimiento del cultivo.

## 7. Bibliografía

- Alarcón, A. 2000. Historia e introducción a la nutrición mineral. Elementos esenciales, III. Master en Nutrición Vegetal en Cultivos Hortícolas Intensivos. Universidad Politécnica de Cartagena. España. 80 p.
- Alcaraz, M., J. Rodrigo and J. Hormaza. 2011. Implications of starch content in the flower at anthesis on final fruit set in avocado. p 7. In: Proceedings VII World Avocado Congress. Cairns, Australia.
- Anguiano, C., J. Alcántar, J. Toledo, R. Tapia y J. Vidales. 2007. Caracterización edafoclimática del área productora de aguacate en Michoacán México. p. 12–16. En: Proceedings VI World Avocado Congress. Viña Del Mar, Chile. ISBN No 978-956-17-0413-8.
- Arellano, G. y M. Gutiérrez. 2009. Efecto de la nutrición vegetal en rendimiento y vida poscosecha en hortalizas. Fisiología de Cultivos. Instituto Tecnológico de Sonora. Editor: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C ISBN: 978-607-95106-2-6. p. 40 – 67.
- Asociación Nacional de Café. 2004. Cultivo de aguacate. Programa de diversificación de ingresos de la empresa cafetera. Asociación Nacional de Café. Ciudad de Guatemala, Guatemala. 23 p.
- Avilán, L., M. Rodríguez y J. Ruiz. 1995. Comportamiento floral de variedades de aguacate en Venezuela. *Agronomía Tropical* 46(3):275-287.
- Bangerth, F. 2000. Abscission and thinning of young fruit and their regulation by plant hormones and bioregulators. *Plant Growth Regulation* 31: 43–59.

Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia

---

- Bard, Z.U. and B.N. Wolstenholme. 1998. Soil boron application for control of boron deficiency in the avocado in the Kwa-Zulu-Natal midlands. South African Avocado Growers' Assn. Yrbk. 21: 22-25.
- Barker, A., D. Pilbeam. 2007. Handbook of plant nutrition. CRC press Taylor & Francis group. New York. 613p.
- Barrientos, A., E. García y E. Avita. 1996. Anatomía del fruto de aguacate. Drupa o Baya. Revista Chapingo, Serie Horticultura 2(2): 189-198.
- Bernal, A. y C. Díaz. 2008. Tecnología para el Cultivo del Aguacate. Manual Técnico 5. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA, Centro de Investigación La Selva. Rionegro, Colombia. 241 p.
- Bernal, J., y C. Díaz. 2005. Generalidades del cultivo. En: Tecnología para el cultivo del aguacate, Bernal, J., y Diaz, C. (Eds.). Manual Técnico 5, CORPOICA, Centro de Investigación. La Selva, Rionegro, Colombia. p. 11-84.
- Bertsch, F.1995. La Fertilidad de los Suelos y su Manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.
- Bower, J. and J. Cutting. 1988. Avocado fruit development and ripening physiology. Horticultural Reviews. 10: 229-271.
- Bower, J.P., Wolstenholme, B.N. and De Jager, J.M. 1978. Incoming solar radiation and internal water stress factors in avocado, *Persea americana* Mill cv. Edranol. Gewasproduksie Crop Production 7: 129-133.
- Buccheri, M. and C. Di Vaico. 2004. Relationship among seed number, quality, and calcium content in apple fruits. Journal of Plant Nutrition 27(10): 1735-1746.
- Cabezas, C., J. Hueso y J. Cuevas. 2003a. Anomalías morfológicas y fisiológicas del ciclo floral del aguacate en la costa de Almería. p. 231-236. En: Proceedings V World Avocado Congress. Granada - Málaga, España.
- Cabezas, C., J. Hueso y J. Cuevas. 2003b. Identificación y descripción de los estados fenológicos y tipos de aguacate (*Persea americana* Mill) p. 237-242. En: Proceedings V World Avocado Congress. Granada - Málaga, España.
- Calvert, E. 1993. Aproximación al ciclo fenológico del palto (*Persea americana* Mill.) cv. Fuerte. Tesis Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaiso, Facultad de Agronomía. Valparaiso, Chile. 127 p.

Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia

---

- Casierra-Posada, F., M.C. Cardozo y J.F. Cárdenas-Hernández. 2007. Análisis del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero. *Agronomía Colombiana* 25(2), 299-305.
- Alley, M. y B. Vanlauwe. 2009. *The Role of Fertilizers in Integrated Plant Nutrient Management*. First edition, IFA, Paris, France, TSBF-CIAT, Nairobi, Kenya. 59 p.
- Castillo, A., E. Avitia, J. Tirado y M. Arriaga. 1998. Variación estacional del boro en aguacatero (*Persea americana* Mill.) cv. Colin V-33. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 4(2): 109-111.
- Castillo, A., M. Arriaga y A. Martínez. 2007. Variación anual de boro en aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Colin V-33. pp. 15-19. En: *Proceedings VI World Avocado Congress*. Viña Del Mar, Chile.
- Castro, M., P. Iturrieta y C. Fassio. 2009. Tolerancia a la salinidad en cinco portainjertos de palto: crecimiento vegetativo y contenido de nutrientes. p. 28-37. En: *III Congreso Latinoamericano de Aguacate*. Medellín, Colombia.
- Castro, H. y M. Gómez. 2008. Actualidad y tendencias del uso de enmiendas calcáreas en Colombia. En: *Actualización en fertilización de cultivos y uso de fertilizantes*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia. p. 141-153.
- Cerdas, M., M. Calderón y E. Díaz. 2006. *Manual de Manejo Pre y Poscosecha de Aguacate (Persea americana)*. MAG. San José, Costa Rica. 95 p.
- Chirinos, H. 1999. Fertilización del Aguacate. *Informaciones Agronómicas*. Instituto de la Potasa y el Fósforo 3(6): 11-12.
- Coetzer, L.A., P.J. Robbertse, and B.P.H. Janse Van Vuuren. 1993. The role of boron in avocados. Theory, practice, and reality. *South African Avocado Growers' Assn. Yrbk.* 16: 2-4.
- Cossio, L., S. Salazar García y J. González. 2009. Respuesta del aguacate 'Hass' a la fertilización mineral vs biofertilizantes. p. 20-28. En: *III Congreso Latinoamericano de Aguacate*. Medellín, Colombia.
- Cossio-Vargas, L., S. Salazar-García, I. González-Duran y R. Medina-Torres. 2007. Algunos aspectos reproductivos del aguacate 'Hass' en clima semicálido. p. 11. En: *Proceedings VI World Avocado Congress*. Viña Del Mar, Chile.

Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia

---

- Cossio-Vargas, L., S. Salazar-García, I. González-Durán y R. Medina-Torres. 2008. Fenología del aguacate 'Hass' en el clima semicálido de Nayarit, México. Revista Chapingo, Serie Horticultura 14(3): 319-324.
- Coutanceau, M. 1964. Fruticultura. España, Ediciones de Occidente. 108p.
- Cowan, A. 1997a. Why are small Hass fruit Small? South African Avocado Growers' Assn. Yrbk 20: 52-54.
- Cowan, A., C. Moore-Gordon, I. Bertling and B. Wolstenholme. 1997b. Metabolic control of avocado fruit growth (Isoprenoid Growth Regulators and the Reaction Catalyzed by 3-Hydroxy-3-Methylglutaryl Coenzyme A Reductase). Plant Physiology, 114(2): 511-518.
- Cowan, A., N. Taylor and J. Van Staden. 2005. Hormone homeostasis and induction of the small-fruit phenotype in 'Hass' avocado. Plant Growth Regulation 45: 11-19.
- Cowan, A., R. Cripps, E. Richings and N. Taylor. 2001. Fruit size: Towards an understanding of the metabolic control of fruit growth using avocado as a model system. Physiology. Plant. 111: 127-136.
- Cristoffanini, L. 1996. Caracterización de la floración en paltos (*Persea americana* Mill.) cvs. Fuerte, Gwen, Whitsell and Esther. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Área Fruticultura. Quillota, Chile. 67 p.
- Crowley, D. and W. Smith. 1996. Soil factors associated with zinc deficiency in avocado. California Avocado Society Yearbook 79: 171-183.
- Crowley, D., W. Smit., B. Faber and J. Manthey. 1996. Zinc fertilization of avocado trees. Horticultural Science 31(2): 224-229.
- Cuevas, J. y C. Cabezas. 2007. Control de la apertura y cierre de la flor dicogámica del aguacate. p. 12-16. En: Proceedings VI World Avocado Congress. Viña Del Mar, Chile.
- Davenport, T. 1982. Avocado growth and development. Proc. Fla. State Hort. Soc. 95: 92-96.
- Dilmaghani, M., M. Malakouti, G. Neilsen and E. Fallahi. 2004. Interactive effects of potassium and calcium on K/Ca ratio and its consequences on apple fruit quality in calcareous soils. Journal of Plant Nutrition 27(7): 1149-1162.

Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia

---

- Dixon J. and D. Sher. 2002. Pollination of avocados. Annual Research Report of New Zealand Avocado Growers Association 2: 31-40.
- Dixon, J. 2007. Shoot growth of 'Hass' avocado trees in 'on' and 'off' flowering years in the western bay of Plenty. Annual Research Report of New Zealand Avocado Growers Association 7: 41-48.
- Embleton, T. and W. Jones, 1966. Avocado and mango nutrition. p. 51-76 In: Childers, N.F. (ed.) Fruit Nutrition. Horticultural Publications. Rutgers Univ. New Brunswick, USA.
- Faust, M. 1989. Physiology of Temperate Zone Fruit Trees. John Wiley & Sons. New York, USA. 338 p.
- Fernández, V. and T. Eichert. 2009. Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: Current State of Knowledge and Perspectives of Foliar Fertilization. Critical Reviews in Plant Science 28: 36–68.
- Figueroa, M., A. Castillo, E. Avitia y M. Arriaga. 2001. Contenido nutrimental en hojas e inflorescencias de tres cultivares de aguacate (*Persea americana* Mill.). Terra 19(2): 127-132.
- Gamaliel, S., R. Ferreyra, P. Gil, P. Maldonado, C. Toledo, C. Barrera y J. Celedón. 2005. El Cultivo del Palto. La Cruz, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 129. 76 p.
- Gandolfo, S.P., 2008. Factores Ecofisiológicos Relacionados con el Crecimiento Vegetativo, Floración y Desarrollo del Fruto del Aguacate. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Producción Vegetal. 211 p.
- Gardiazabal, F. 2004. Riego y nutrición en paltos. 21 p. En: Segundo Seminario Internacional de Paltos. Sociedad Gardiazabal y Magdahl Ltda. Quillota, Chile. 21 p.
- Gardiazabal, F. 2011. Principales Factores que Determinan una Alta Producción y Calibre en Paltos. Sociedad Gardiazabal y Magdahl Ltda. Quillota, Chile. 30 p.
- Garner, L. and C. Lovatt. 2008. The Relationship between flower and fruit abscission and alternate bearing of 'Hass' avocado. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 133(1): 3-10.
- Gazit, S. and C. Degani. 2002. Chapter 5: Reproductive Biology. p. 103-131. In: Whiley, A., B. Schaffer y B. Wolstenholme (ed.). The avocado, botany, production and uses. First Edition. CABI Publishing, London, UK.

Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia

---

- Gil Montenegro, M. 1999. Desfase en la época de floración del palto (*Persea americana* Mill) cv. Hass, mediante aspersión de sales minerales al follaje. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Área Fruticultura. Quillota, Chile. 94 p.
- Gil-Albert, F. 1992. La Ecología del Árbol Frutal. Vol. 2. 237 p. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Gómez M. y H. Castro. 2009. Gestión de la fertilidad de suelos: Diagnóstico, interpretación y recomendación de nutrientes en la fertilización de cultivos. Diplomado en Fertilidad de Suelos y Fertilizantes. Ingeplant. Bogotá, Colombia. 61 p.
- Gómez, M. y H. Castro. 2008. Actualidad y tendencias en el manejo de la fertilización foliar y bioestimulantes. En: Actualización en fertilización de cultivos y uso de fertilizantes. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia. p. 173-188.
- Gutiérrez, C y J. Contreras. 2009. Análisis del mercado para aguacate “La competitividad de las exportaciones mexicanas de aguacate: un análisis cuantitativo”, Revista Chapingo, Serie Horticultura 5: 393- 400.
- Hernández M.S., O. Martínez and J.P. Fernández-Trujillo. 2007. Behavior of arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) fruit quality traits during growth, development and ripening. Scientia Horticulturae 111: 220–227.
- Hunt, R. 1978. Plant Growth Analysis. Studies in Biology No 96. Edward Arnold. The Camelot Press Ltd. Southampton, U. K. 167 p.
- Jaganath, I. and C. Lovatt. 1995. Efficacy studies on prebloom canopy applications of boro and/or urea to ‘Hass’ avocados in California. pp.181-184. In: Proceedings III World Avocado Congress. Tel Aviv, Israel.
- Kohne, J. 2004. Flowering, fruit development and manipulation of yield in avocado. p. 9. En: Memorias Segundo Seminario Internacional de Paltos. Quillota, Chile.
- Lahav, E and A. Whiley. 2002. Irrigation and mineral nutrition, pp.259- 297. In: The Avocado: Botany, Production and Uses. Whiley, A. W.; Schafferand, D, B. N. (eds.). Walstenholme. CAB International, CABI-Publishing. London, UK.

Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia

---

- Laskowski, L. 2006. Características de la abscisión del fruto de naranja *Citrus sinensis* (L.) Osbeck var. Salustiana. *Bioagro* 18(1): 25-30.
- Lovatt, C. 1990. Factors affecting fruit set/early fruit drop in avocado. *California Avocado Society Yearbook* 74: 193-199.
- Lovatt, C. 1999. Management of foliar fertilization. *Terra* 17(3): 257-264.
- Lovatt, C. 2006. Eliminating Alternate Bearing of the 'Hass' Avocado. pp. 127-142. In: *Proceedings of the California Avocado Research Symposium*. University of California, Riverside, USA.
- Lovatt, C.J. 1998. Management of foliar fertilization. *First National Symposium on Crop Nutrition*. Querétaro, México. p. 21 - 23
- Maldonado, R., M. Álvarez, G. Almaguer, A. Barrientos y R. García. 2007. Estándares nutrimentales para aguacatero Hass. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 13(1): 103-108.
- Marschner, H. 1986. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Second Edition. Academic Press. San Diego, USA. 889 p.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd ed. Academic Press, London, UK. 889 p.
- Matta, M. y C. Pizarro. 2007. Determinación de la curva de absorción de nutrientes, mediante sondas extractómetras y análisis foliares en paltos (*Persea americana* Mill) cv. Hass. p. 12-16. En: *Proceedings VI World Avocado Congress*. Viña Del Mar, Chile.
- Mejía, A. 2010. Contexto productivo y comercial del aguacate en Colombia. p. 100. En: *VII Seminario Internacional de Frutas Tropicales*. Agroindustria. CORPOICA, UPB y CDTF. Francisco Vélez Producción Gráfica. Medellín, Antioquia.
- Mengel, K y E. Kirkby. 2000. *Principios de nutrición vegetal*. International Potash Institute. Basel, Switzerland. 692 p.
- Meyer, B. 1960. *Introducción a la fisiología vegetal*. Buenos Aires, Eudeba. 570 p.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2006. *Plan Frutícola Nacional - PFN: Valle del Cauca Tierra de Frutas*. Cali, Colombia. 116 p.

Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia

---

- Miyasaka, S.C., T.G. McDonald, T. Matsuyama, E.A. Graser and I.S. Campbell. 1992. Boron Fertilization of 'Sharwil' Avocados in Kona, Hawaii. p. 343-348. In: Proceedings II World Avocado Congress. Orange, USA.
- Mortvedt, J., P. Giordano and W. Llinsay. 1972. Micronutrients in Agriculture. Soil Science Society of America. Madison, USA. 742 p.
- Opara, L.U. 2000. Fruit growth measurement and analysis. Hort. Rev. 24: 373-431.
- Paz-Vega, S. 1997. Alternate bearing in the avocado (*Persea americana* Mill.). California Avocado Society Yearbook 81: 117-148.
- Penter, M and P. Stassen. 2000. The effect of pre and postharvest calcium applications on the postharvest quality of Pinkerton avocados. South African Avocado Growers' Assn. Yrbk 23: 1-7.
- Pérez, A., M. González y M. Massip. 2003. Aspectos energéticos de la floración y productividad del aguacate Hass. pp. 305-310. En: Proceedings V World Avocado Congress. Granada - Málaga, España.
- Razeto, B. 2000. El palto: un árbol magnifico pero de discreta producción. Aconex 68: 5-8.
- Rios, D. y R. Tafur. 2003. Variedades de aguacate para el trópico: caso Colombia. p. 143-147. En: Proceedings V World Avocado Congress. Granada - Málaga, España.
- Robbertse, P.J. and L.A. Coetzer. 1988. The influence of boron on pollen germination, pollen tube growth and fruit set in some avocado cultivars. South African Avocado Growers' Assn. Yrbk 11: 65-67.
- Robbertse, P.J., L.A. Coetzer, and F. Bessinger. 1992. Boron: uptake by avocado leaves and influence on fruit production. p. 173-178. In: Proceedings II World Avocado Congress. Orange, USA.
- Robbertse, P.J., L.A. Coetzer, M. Slabbert, and J.J. Bezuidenhout. 1990. The influence of boron on fruit set in avocado. Acta Hort. 275: 587-594.
- Rocha, J., S. Salazar, A. Bárcenas, I. González y L. Cossio. 2011. Fenología del aguacate 'Hass' en Michoacán. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 2 (3): 303-316.
- Rocha-Arroyo, J., S. Salazar-García, A. Bárcenas-Ortega, J. González-Durán y R. Medina-Torres. 2011. Crecimientos vegetativo y reproductivo del aguacate 'Hass'

Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia

---

- en diversos climas de Michoacán, México. p 10. En: Memorias VII World Avocado Congress. Cairns, Australia.
- Rodríguez, M., H.E. Arjona y H.A. Campos. 2006a. Caracterización físicoquímica del crecimiento y desarrollo de los frutos de feijoa (*Acca sellowiana* Berg) en los clones 41 (Quimba) y 8-4. *Agronomía Colombiana*, 24(1): 54-61
- Rodríguez, M., J. Jaramillo y J. Orozco. 2009. Colecta de aguacates criollos colombianos como base para iniciar programas de fitomejoramiento que contribuyan a su competitividad. p. 14-27. En: III Congreso Latinoamericano del Aguacate. Medellín, Colombia.
- Rosales, J., G. Parodi y B. Carlini. 2003. Evaluación del ciclo fenológico del palto (*Persea americana* Mill) cv. Hass para la zona de la irrigación Santa Rosa, Perú. p. 311-316. En: Proceedings V World Avocado Congress. Granada - Málaga, España.
- Salazar, S and I. Lazcano. 2001. Identifying fruit mineral removal differences in four avocado cultivars. *Better Crops International* 15(1): 28-31.
- Salazar, S. y I. Lazcano. 1999. Diagnostico nutrimental del Aguacate "Hass" bajo condiciones de temporal. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 173-184
- Salazar-García, S. 2002. Nutrición del Aguacate, Principios y Aplicaciones. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) e Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Querétaro, México. 165 p.
- Salazar-García, S., E.M. Lord and C.J. Lovatt. 1998. Inflorescence and flower development of the 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) during "on" and "off" crop years. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123: 537-544.
- Salazar-García, S., L. Cossio-Vargas, C. Lovatt, I. González-Duran y M. Pérez-Barraza. 2006. Crop load affects vegetative growth flushes and shoot age influences irreversible commitment to flowering of Hass avocado. *Hort Science*. 41(7): 1541-1546.
- Salazar-García, S., L. Cossio-Vargas, C. Lovatt, I. González-Duran and M. Pérez-Barraza. 2006. Crop load affects vegetative growth flushes and shoot age influences irreversible commitment to flowering of Hass avocado. *HortScience* 41(7): 1541-1546.

Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia

---

- Salazar-García, S., L. Cossio-Vargas, I. González-Durán y C. Lovatt. 2007. Desarrollo floral del aguacate 'Hass' en clima semicálido. Parte I. Influencia de la carga de fruto y edad de los brotes. Revista Chapingo Serie Horticultura. 13(1): 87-92.
- Salisbury, F.B. y C. W. Ross. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo, Editorial Iberoamérica, México. 759 p.
- Scora, R., B. Wolstenholme and U. Lavi. 2002. Chapter 2. Taxonomy and Botany. p. 25-45. En: Whiley, A., B. Schaffer y B. Wolstenholme (ed.). The avocado, botany, production and uses. First Edition. CABI Publishing. Londres, U.K.
- Sedgley, M. 1987. Flowering, pollination and fruit-set of avocado. South African Avocado Growers' Assn. Yrbk 10: 42-43.
- Smith, T., P. Hofman, R. Stephenson, C. Asher and S. Hetherington. 1997. Improving boron nutrition improves 'Hass' avocado fruit size and quality. p. 131-137 In: Cutting, J.G (Ed.). Proc. Conference '97: Searching for Quality. Joint Meeting of the Australian Avocado Grower's Federation, Inc. and NZ Avocado Growers Assn. Inc.
- Solis, J., A. Barrientos, C. Pérez, R. Arriaga, T. Martínez y J. Reyes. 1998. Efecto de aplicaciones foliares de nitrato de calcio en hoja y mesocarpio de aguacate cv. Hass. Revista Chapingo Serie Horticultura 4(2): 113-117.
- Tagliavivi, M.; C. Zavalloni, D. Rombola, M. Quarteri, D. Malaguti, F. Mazzanti, P. Millard and B. Marangoni. 2000. Mineral nutrient partitioning to fruits of deciduous trees. Acta Horticulturae 512: 131-140.
- Taiz L., E. Zeiger. 2002. Plant physiology, 3rd edition. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland. 792 p.
- Tapia, P. 1993. Aproximación al ciclo fenológico del palto (*Persea americana* Mill.) cv. Hass, para la zona de Quillota, V Región". Taller de Titulación. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. Quillota, Chile. 141 p.
- Torres, G y F. Chinchilla. 2002. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Foliares para la Nutrición de Limón, Aguacate, Cocotero y Marañón. Programa Nacional de Frutas de El Salvador e IICA. Ediciones Santa Tecla. Santa Tecla, El Salvador. 7 p.
- Velásquez, J. 2006. Identificación del aguacate como un rubro importante de grandes oportunidades comerciales, según los acuerdos de integración, los nuevos tratados

Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia

---

- comerciales y el comercio mundial globalizado. Secretaría de Productividad y Competitividad. Gobernación de Antioquia. Medellín, Colombia. 103 p.
- Whiley A.W., Searle, C., Schaffer, B. and Wolstenholme, B.N. 1999. Cool orchard temperatures or growing trees in containers can inhibit leaf gas exchange of avocado and mango. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 124: 46-51.
- Whiley, A and B. Schaffer 1994. Avocado. p 165-197. In: Schaffer B and PC. Andersen (eds) Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops, Volume 2, Subtropical and Tropical Crops. CRC Press Inc., Boca Raton, USA.
- Whiley, A. 1990a. CO<sub>2</sub> assimilation of developing fruiting shoots of cv. Hass avocado (*Persea americana* Mill). South African Avocado Growers' Assn. Yrbk. 13: 28-33.
- Whiley, A. 1990b. Nutrición. Una herramienta estratégica para lograr una alta productividad y calidad en el cultivo del palto. Maroochy Horticultural Research Station. 14 p.
- Whiley, A., B. Wolstenholme and B. Schaffer. 2002. The avocado: botany, production, and uses. Wallingford, New York: CABI Pub. 416 p.
- Whiley, A., K. Chapman and J. Saranah. 1988. Water loss by floral structures of avocado (*Persea americana* cv. Fuerte) during flowering. Aust. J. Agric. Res. 39(3): 457-467.
- Witney, G. W., B. Wolstenholme and P. J. Hofman. 1986. Calcium accumulation in avocado fruits: effect of cultivar and tree vigour. South African Avocado Growers' Assn. Yrbk. 9: 35-8.
- Wolstenholme, B and A. Whiley. 1992. Requirements for improved fruiting efficiency in the avocado tree. In: Proceedings of II World Avocado Congress. Orange, USA. 1: 161-167.
- Wolstenholme, B. 1987. Some aspects of avocado research world-wide. South African Avocado Growers' Assn. Yrbk. 10: 8-12.
- Wolstenholme, B. and A. Whiley. 1995. Strategies for maximising avocado productivity: An overview. p 61-70. In: Proceedings III World Avocado Congress. Tel Aviv, Israel.
- Wolstenholme, B., A. Whiley and J. Saranah. 1990. Manipulating vegetative: reproductive growth in avocado (*Persea americana* Mill.) with Paclobutrazol foliar sprays. Scientia Horticulturae 41: 315-327.

Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del  
aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en  
el departamento del Tolima, Colombia

---

Wolstenholme, B., C. Kaiser and P. Palmer. 1991. Yield potential of intensively managed avocados in the Natal Midlands - the early bearing years. South African Avocado Growers' Assn. Yrbk.14: 15-18.

Yuri, J.A., J. González, J. Verdugo and A. del Pozo. 2011. Responses of fruit growth, quality, and productivity to crop load in apple cv. Ultra Red Gala/MM111. Scientia Horticulturae 127: 305–312.