



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
INSTITUTO DE POSTGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE AGROEMPRESAS Y AGRONEGOCIOS

**USO DE TITANIO ORGÁNICO EN AGUACATE (*Persea americana* Mill) PARA
MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD, CALIDAD DE FRUTO Y CONDICIONES
COMERCIALES DE EXPORTACIÓN EN MIRA, CARCHI, ECUADOR**

**Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Magister en Gestión de
Agroempresas y Agronegocios**

AUTOR:

Ing. José Luis Egas Toro. Esp.

DIRECTOR:

Ing. José Luis Pantoja Guamán. Ph.D.

IBARRA - ECUADOR

2019

AUTORÍA

Yo, José Luis Egas Toro, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, todas las referencias bibliográficas y datos que se incluyen en este documento son resultado de mi investigación. Además, declaro que los resultados de esta evaluación no se han presentado como trabajo de grado en ninguna otra institución o programa académico.

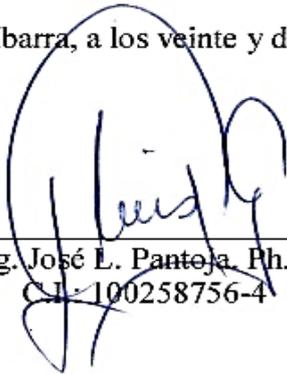


Ing. José Luis Egas Toro
C.I.: 040138514-1

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de grado presentado por el Ing. José Luis Egas Toro para optar por el título de Magister en Gestión de Agroempresas y Agronegocios, doy fe de que este trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para someterse a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los veinte y dos días del mes de enero del 2019



Ing. José L. Pantoja, Ph.D.
C.I. 100258756-4

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios, en quién deposito día a día mis fuerzas, anhelos, proyectos y esperanzas. También a mi esposa, ejemplo de superación y lucha constante; mis hijos, que son los motores de vida e inspiración para seguir adelante; y demás miembros de mi familia que siempre apoyan mis proyectos de vida.

José Luis

AGRADECIMIENTO

Este trabajo finaliza con éxito gracias al apoyo y dirección de mi tutor Pepe Lucho (José L. Pantoja), ejemplo de profesionalismo, dedicación y una excelente guía para hacer bien las cosas. También aquí se refleja el apoyo de los docentes y autoridades del programa de Maestría en Gestión de Agroempresas y Agronegocios, quienes brindaron asesoramiento, sugerencias y observaciones para el desarrollo de esta investigación. A todos ellos un profundo agradecimiento.

José Luis



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
INSTITUTO DE POSTGRADO



BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401385141		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Egas Toro José Luis		
DIRECCIÓN:	Calle Jacinto Egas 14-24 y Río Cenepa		
EMAIL:	josegas7@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0991812211

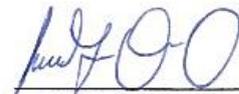
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Uso de titanio orgánico en aguacate (<i>Persea americana</i> Mill) para mejorar la productividad, calidad de fruto y condiciones comerciales de exportación en Mira, Carchi, Ecuador
AUTOR (ES):	Ing. José Luis Egas Toro.
FECHA: DD/MM/AAAA	14-03-2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Magíster en Gestión de Agroempresas y Agronegocios
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. José Luis Pantoja Guamán. Ph.D.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de esta autorización se la desarrolló sin violar derechos de autoría de terceros, por lo tanto, la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los catorce días del mes de marzo de 2019

EL AUTOR:


Ing. José Luis Egas Toro

ÍNDICE GENERAL

AUTORÍA	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	vi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN	3
1.2. OBJETIVOS	4
1.2.1. General	4
1.2.2. Específicos.....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 EL AGUACATE HASS	5
2.1.1. Generalidades y características	5
2.1.2. Beneficios	6
2.1.3. Áreas de cultivo.....	6
2.1.4. Aspectos técnicos	7
2.1.5. Fertilización y nutrición	7
2.1.6. Productividad y calidad del aguacate Hass en Ecuador	8
2.2. EL TITANIO ORGÁNICO EN LA PLANTA.....	12
2.2.1. Función.....	12
2.2.2. Beneficios	13
CAPÍTULO III	15
MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	15
3.1.1. Investigación de campo	15
3.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE EVALUACIÓN	15

3.2.1.	Ubicación política.....	15
3.2.2.	Ubicación geográfica.....	15
3.2.3.	Ubicación ecológica	15
3.3.	MATERIALES	16
3.3.1.	Material experimental.....	16
3.4.	MÉTODOS	16
3.4.1.	Análisis inicial del suelo.....	16
3.4.2.	Análisis foliar inicial	17
3.4.3.	Datos climáticos	18
3.4.4.	Preparación y manejo del sitio experimental	19
3.4.5.	Diseño experimental, tratamientos y unidad experimental	20
3.4.6.	VARIABLES evaluadas	20
3.4.7.	Análisis estadístico	21
3.4.8.	Análisis económico	21
3.5.	CONSIDERACIONES BIOÉTICAS	21
3.5.1	En lo ambiental.....	21
3.5.2.	En lo económico.....	22
CAPÍTULO IV		23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		23
4.1.	SITUACIÓN DEL CULTIVO	23
4.2.	RESULTADOS DE FRUTO TIERNO	23
4.2.1.	Diámetro de fruto	23
4.2.2.	Peso de fruto	24
4.3.	RESULTADOS EN FRUTO COSECHADO	25
4.3.1.	Productividad.....	25
4.3.2.	Número de frutos por kg de peso	26
4.3.3.	Calidad de fruto	27
4.4.	PESO DE PULPA VS. PRODUCCIÓN DE FRUTO EXPORTABLE	29
4.5	EVALUACIÓN ECONÓMICA	29
CAPÍTULO V		31
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		31
5.1.	CONCLUSIONES.....	31
5.2.	RECOMENDACIONES.....	31

BIBLIOGRAFÍA.....	32
ANEXOS.....	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos específicos para la exportación de aguacate desde Ecuador al mercado colombiano 2018.....	11
Tabla 2. Resultado del análisis inicial de suelo previo al establecimiento de la evaluación y rangos considerados como óptimos para el cultivo de aguacate, var. Hass. Pisquer, Mira, Carchi, Ecuador. Abr. de 2018.....	17
Tabla 3. Resultado del análisis inicial del follaje previo al establecimiento de la evaluación y rangos considerados como óptimos para el cultivo de aguacate, var. Hass. Pisquer, Mira, Carchi, Ecuador. Abr. de 2018.....	18
Tabla 4. Fechas importantes de la evaluación de los efectos del titanio orgánico en la producción de aguacate, var. Hass. Pisquer, Mira, Carchi, Ecuador. Abr. a Ago. de 2018.....	19
Tabla 5. Evaluación de la rentabilidad de la aplicación foliar de titanio orgánico en la producción de aguacate, var. Hass. Pisquer, Mira, Carchi, Ecuador. Sept. de 2018.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Detalles de la producción y exportación del aguacate colombiano. Fuente: CORPOHASS (2018).....	10
Fig. 2. Temperatura media mensual (izquierda) y precipitación total mensual (derecha) durante la ejecución de la evaluación. Pisquer, Mira, Carchi, Ecuador. Abr. a Ago. de 2018.....	19
Fig. 3. Cambio del diámetro de fruto de aguacate, var. Hass, a través del tiempo con la aplicación de titanio orgánico durante esta evaluación. Pisquer, Mira, Carchi, Ecuador. Abr. a Ago. de 2018	24
Fig. 4. Cambio del peso de fruto de aguacate, var. Hass, a través del tiempo con la aplicación de titanio orgánico durante esta evaluación. Pisquer, Mira, Carchi. Abr. a Ago. de 2018. † Letras diferentes indican diferencia significativa ($p \leq 0.10$)	25
Fig. 5. Respuesta de la producción (kg ha^{-1}) de fruto exportable de aguacate a la aplicación de titanio orgánico Pisquer, Mira, Carchi, Ecuador. Ago. de 2018. † Barras con letras diferentes indican diferencia estadística ($p \leq 0.10$)	26
Fig. 6. Respuesta del número de frutos exportables por kg (A) y por gaveta (B) de aguacate, var. Hass, a la aplicación de titanio orgánico. Pisquer, Mira, Carchi, Ecuador. Ago. de 2018. † Barras con letras diferentes indican diferencia estadística ($p \leq 0.10$).....	27
Fig. 7. Peso de la semilla (A), de la pulpa (B) y valoración de sabor (C) de frutos maduros de aguacate, var. Hass, con la aplicación de titanio orgánico. Pisquer, Mira, Carchi, Ecuador. Ago. de 2018. † Barras con letras diferentes indican diferencia estadística ($p \leq 0.10$)	28
Fig. 8. Correlación entre el peso interno de la pulpa y la producción de fruto de aguacate exportable, var. Hass. Pisquer, Mira, Carchi, Ecuador. Ago. de 2018.....	29

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Cronograma de actividades.....	36
Anexo 2. Esquema del diseño experimental y la distribución de tratamientos. Cada parcela (unidad experimental) tuvo nueve plantas.....	37
Anexo 3. Presupuesto de la evaluación.	38
Anexo 4. Tipo de gastos y porcentaje de inversión de la evaluación.....	39

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

INSTITUTO DE POSGRADO PROGRAMA DE MAESTRÍA

Uso de titanio orgánico en aguacate (*Persea Americana* Mill), para mejorar la productividad, calidad de fruto y condiciones comerciales de exportación en Mira, Carchi, Ecuador

Tutor: Ing. José L. Pantoja, Ph.D.

Autor: Ing. José Luis Egas, Esp.

Año: 2019

RESUMEN

La productividad de aguacate (*Persea Americana* Mill), var. Hass, tiene dificultades para cubrir las exigencias del mercado internacional en cuanto a peso y calidad. Una de las causas es la deficiente fertilización. Para potencializar el metabolismo vegetal y la absorción de nutrientes el mercado agrícola ofrece productos como el titanio de origen orgánico (Ti-Org); sin embargo, no se han evaluado en el cultivo de aguacate en Ecuador. El objetivo fue evaluar tres dosis de Ti-Org en la producción de aguacate. La evaluación se realizó en Pisquer, Mira, Carchi, entre Abr. y Sept. de 2018. Se hicieron tres aplicaciones (entre Abr. y Jun.) de tres dosis (100, 200 y 400 mL 200 L⁻¹) y un testigo (no aplicación). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres réplicas; cada parcela la conformaron nueve plantas. Antes de las aplicaciones se hizo análisis de suelo y foliar para determinar el estado nutricional del cultivo. Durante la fructificación (antes de cada aplicación y previo a la cosecha) se evaluó el diámetro y peso de fruto tierno, y en la cosecha se evaluó la producción total, cantidad y calidad de fruto exportable. La aplicación de 200 mL 200 L⁻¹ ($p \leq 0.10$) de Ti-Org por tres veces durante la fructificación resultó en mejor desarrollo de frutos, productividad (4 y 14% más que el promedio nacional y de finca, respectivamente) y calidad (ej.: mayor contenido de pulpa) de fruto exportable. Esto puede ocurrir porque el Ti-Org mejora la asimilación de nutrientes y la eficiencia fotosintética en la planta. En términos económicos, la aplicación de Ti-Org generó US\$ 0.43 adicionales de ganancia (ingreso neto) por US\$ 1.00 invertido en comparación con la no aplicación (US\$ 3.03 vs 2.60, respectivamente). El Ti-Org puede ser una alternativa viable para mejorar la productividad y calidad del aguacate exportable; sin embargo, aún se debe evaluar la interacción del Ti con otros factores fisiológicos y nutricionales que afectan la productividad del cultivo.

Palabras clave: Aguacate, Deficiencia, Fenológico, Fertilización, Productividad, Titanio orgánico.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

INSTITUTO DE POSGRADO PROGRAMA DE MAESTRÍA

Use of organic titanium in avocado (*Persea americana* Mill) to improve productivity, fruit quality and exporting commercial conditions in Mira, Carchi, Ecuador

Director: Eng. José L. Pantoja, Ph.D.
Author: Eng. José L. Egas, Spe.
Year: 2019

ABSTRACT

The productivity of avocado (*Persea Americana* Mill), var. Hass, has difficulties to meet the demands of the international market in terms of weight and quality. One of the causes is the poor fertilization. To potentiate plant metabolism and absorption of nutrients the agricultural market offers products such as titanium of organic origin (Ti-Org); however, they have not been evaluated in the avocado production in Ecuador. The objective was to evaluate three doses of Ti-Org in avocado production. The evaluation was conducted in Pisquer, Mira, Carchi, between Apr. and Sept. of 2018. Three applications (between Apr. and Jun.) of three doses (100, 200 and 400 mL 200 L⁻¹) and one control (no application) were made. A randomized complete block design with three replicates was used; each plot consisted of nine plants. Before treatments application, soil and foliar analysis were conducted to determine the crop's nutritional status. During the fruiting (before each application and before harvest) the diameter and weight of the tender fruit was evaluated; and at harvest the total production, quantity and quality of exportable fruit were evaluated. The application of 200 mL 200 L⁻¹ ($p \leq 0.10$) of Ti-Org for three times during fruiting resulted in better fruit development, productivity (4 and 14% increase compared to national and farm averages, respectively) and quality (for example, greater pulp content) of exportable fruit. This may occur because Ti-Org improves nutrient uptake and photosynthetic efficiency in the plant. In economic terms, the application of Ti-Org generated up to US \$ 0.43 additional gain (net income) for US \$ 1.00 invested compared to no application (US \$ 3.03 vs. 2.60, respectively). The Ti-Org can be a viable alternative to improve the productivity and quality of exportable avocado; however, the interaction of Ti with other physiological and nutritional factors affecting crop production must still be evaluated.

Key words: Avocado, Deficiency, Phenological, Fertilization, Productivity, Organic Titanium.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill) tiene un futuro promisorio en la provincia de Carchi por las condiciones favorables de clima y suelo (GAD-Mira, 2017). La zona cuenta con una localización geográfica privilegiada que permite el desarrollo de microclimas en diferentes sectores dónde se expande el cultivo de aguacate; donde destacan dos variedades bien adaptadas que son la Fuerte y el Hass. De ellas, Hass es la variedad exportable por excelencia.

El aguacate se produce en los cinco continentes, tanto en países tropicales y subtropicales. Los mayores cultivos se encuentran en América, donde se destaca México como el primer productor mundial; le siguen Chile, República Dominicana, EE.UU., Colombia, Perú, Brasil y Guatemala (Bernal y Díaz, 2008).

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2017) el área plantada con aguacate en Ecuador creció el 14% (960 ha) en el 2017, pero su producción ha sido más bien un pasatiempo para los agricultores por los bajos precios del mercado local. Sin embargo, Ecuador ha incursionado en la producción de aguacate Hass porque se han generado oportunidades de exportación (Angulo, 2018). Esto se relaciona con la creciente demanda del mercado internacional (El Telégrafo, 2012). La producción se centra en la Sierra y se distribuye a las provincias de Azuay (Paute y Gualaceo), Carchi (Bolívar y Mira), Imbabura (Chota, Pimampiro y Salinas), Pichincha (Guayllabamba), Tungurahua (Patate y Baños) y Santa Elena (Santa Elena) (León, 1999).

Según el Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (SINAGAP, 2012), entre el 2008 y 2011, la var. Hass tomó fuerza en la zona norte de Ecuador, contabilizándose unas 500 ha, pero el precio del fruto fluctúa entre US\$ 0.52 y 1.30 kg⁻¹. En cambio, el comportamiento de mercado actual de la var. Fuerte en el país es de bajo precio, porque el consumo per cápita es solo 1.4 kg (El Telégrafo, 2012). En cambio, la var. Hass es nueva y poco conocida en el mercado local, por tanto, los precios aún son menores; sin embargo, para los mercados externos es muy apetecible y con buen precio, generando oportunidades de comercialización, lo que se refleja en su creciente actividad agroexportadora. Por eso se debe desarrollar tecnologías que optimicen el manejo en las diversas fases del proceso de producción para mejorar la productividad, calidad de fruto y condiciones comerciales (Herrera-Maldonado

y Prado-Beltrán, 2017). Los procesos y procedimientos deben mantener altos estándares de calidad para cubrir las exigencias del mercado internacional.

Según Giacinti (2002), el consumo per cápita de aguacate a nivel mundial se ha mantenido estable (380 g año^{-1}), mientras que el volumen total evolucionó de 2.0 a 2.3 millones de Mg. Además, la oferta de aguacate en diferentes tamaños y pesos es un elemento clave a la hora de señalar que el principal motivo de compra es el precio. Existe una tendencia en la última década a la disminución en los precios FOB (exportación) y CIF (importación) de aguacate en el comercio internacional (Viera *et al.*, 2016a).

Las exportaciones de aguacate ecuatoriano tienen como destino Barbuda, Canadá, Colombia, Corea del Sur, España, Holanda, Hong Kong, Japón, Reino Unido (BCE, 2015). Según Viera *et al.* (2016b), la var. Fuerte tiene mayor aceptación por el consumidor en el mercado local; en cambio, la Hass se comercializa en el mercado internacional y por su contenido de aceite se utiliza para procesos de industrialización. El mercado europeo constituye una oportunidad de exportación por el precio al alcanza; no obstante, el mercado norteamericano no constituye un gran atractivo por el bajo precio y porque su principal proveedor (México) tiene menores costos de transporte al estar cerca de su frontera geográfica.

En Ecuador se necesita investigar la situación agraria en relación con la producción de aguacate y la factibilidad que tienen el producto para comercializarse a nivel internacional. El sector aguacatero necesita de evaluaciones para hacer una nutrición más eficiente del cultivo, mejorar el manejo del cultivo, optimizar el procesamiento de la fruta y desarrollar una cadena de valor apropiada. En campo, es indispensable investigar alternativas que propicien el mejor desarrollo y crecimiento de la planta.

Cada actividad metabólica de las plantas requiere de energía. La forma de energía en las plantas son los carbohidratos (azúcares), por ello la disponibilidad de estos compuestos es indispensable para lograr la inducción, división, elongación y diferenciación celular dentro de los meristemas que darán lugar a las flores de aguacate, así como para la fecundación de flores, cuajado y crecimiento de los frutos (INTAGRI, 2017).

Una alternativa nueva e interesante es el titanio de origen orgánico (Ti-Org), porque este incrementa la productividad de fruto en los cultivos, mejorando su peso y calidad (Akdi, 2017). La aplicación foliar de Ti-Org facilita la actividad fotosintética, fomentando su fase de carboxilación y permitiendo mayor fijación de CO_2 en la planta, promoviendo la síntesis de

carbohidratos y biomasa (Akdi, 2017). En el aguacate el Ti-Org incrementa la tasa fotosintética y la actividad metabólica, permitiendo una mejor fijación de CO₂ en la planta (Akdi, 2017).

Según Akdi (2017), con el Ti-Org se incrementa la eficiencia de absorción de nutrientes minerales, mejorando los contenidos de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu en órganos demandantes (frutos, raíces y hojas). A partir de la segunda aplicación de Ti-Org se pueden observar mayor número de ramificaciones florales (10-12) y mayor número de flores por ramificación (16-20), a esto se suma la reducción de aborto floral por causas climatológicas y nutricionales del cultivo. El Ti-Org mejora la resistencia de la planta a condiciones de estrés; también induce a la producción de antioxidantes (glutación, catalasa, peroxidasa) y la acumulación de azúcares en el fruto y de almidón en tubérculos. A estos cambios positivos del cultivo se suma la calidad del fruto, porque el Ti-Org incrementa la concentración de Ca en piel y pulpa, mostrando en el cultivo mejora en la firmeza de los frutos.

En resumen, los beneficios que genera el Ti-Org son:

- ✓ Mejora de la eficiencia fotosintética.
- ✓ Mejora la actividad metabólica y enzimática.
- ✓ Mejora la absorción de nutrientes.
- ✓ Mejora la resistencia de la planta a condiciones de estrés.
- ✓ Mejora la productividad.
- ✓ Mejora la calidad de la producción.

Evaluaciones sobre alternativas como el Ti-Org son necesarios en Ecuador para que los empresarios, productores y técnicos agrícolas cuenten con una alternativa que permita mejorar su productividad. El Ti-Org podría generar un efecto positivo en la productividad del aguacate ecuatoriano. Esto también fortalecería la producción sostenible del sector aguacatero del Ecuador, y la competitividad de nuestros productos en el mercado internacional.

1.1. PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

La producción y calidad de comercialización del aguacate no cumple con los estándares y características propias del producto para competir a nivel internacional. Este se debe a:

- ✓ Falta de conocimiento en el manejo técnico del cultivo.
- ✓ Falta de implementación de tecnologías innovadoras.
- ✓ Falta de innovación y transferencia tecnológica en los procesos agronómicos de producción.

- ✓ Carencia de mercados internacionales y precios justos, debido a la baja productividad, calidad del fruto y elevados costos operativos.
- ✓ Disminución de la productividad: Calidad inapropiada del producto, insuficiente área cultivada y peso no adecuado.
- ✓ Requerimiento de mejoras en el peso del fruto y calidad de procesamiento en postcosecha.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. General

Evaluar el efecto de Ti-Org en la productividad, calidad de fruto y condiciones comerciales de aguacate para exportación en Mira, Carchi, Ecuador.

1.2.2. Específicos

- ✓ Determinar el efecto de Ti-Org en la productividad de aguacate Hass.
- ✓ Determinar el efecto de Ti-Org en la calidad de fruto de aguacate Hass.
- ✓ Determinar el efecto de Ti-Org en el mejoramiento de las condiciones comerciales de comercialización de aguacate Hass.
- ✓ Analizar el impacto potencial de las mejoras del aguacate Hass con Ti-Org en la economía del agricultor.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Esta evaluación se realiza para determinar el efecto de la aplicación de Ti-Org como alternativa para mejorar la productividad, calidad y condiciones comerciales de exportación del aguacate var. Hass en Mira, Carchi, Ecuador. Esto es importante porque se establecerán lineamientos para mejorar la productividad en función del peso de fruto; con lo que es factible obtener mejor calidad y precios de mercado, obteniendo una mayor ganancia y por ende generando mejores ingresos para los productores. El peso es un referente de calidad, por tanto, a mayor peso la productividad se incrementa y esto genera sostenibilidad empresarial. Es un aporte para que Ecuador pueda exportar frutos de calidad y lograr competitividad mercantil.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 EL AGUACATE HASS

2.1.1. Generalidades y características

El aguacate es originario de América Central y del sur de México; en la actualidad se establece desde Chile hasta los EE.UU. Pertenece a la familia de las lauráceas, es de tipo perenne (> 30 años), se lo puede cultivar de 0 a 3000 msnm, en un amplio rango de climas y de suelos; puede alcanzar alturas de 10 m, con un follaje verde y el fruto es una drupa con un mesocarpio carnoso y oleaginoso (Amórtegui *et al.*, 2001; Cerdas *et al.*, 2006). Un árbol bien manejado produce hasta 70 kg ha⁻¹ año⁻¹; y la productividad a nivel nacional es 15 Mg ha⁻¹ (León, 1999).

Hasta el 2002 en Ecuador se cultivaban solo 7800 ha; de las cuales 2300 ha eran monocultivo y 5500 ha cultivo asociado. En la actualidad se estima que el 75% (1750 ha) de la superficie cultivada corresponde a la var. Fuerte y que existen alrededor de 500 ha plantadas con var. Hass, misma que sigue incrementándose con perspectivas de exportación (Pillajo-Alvarado y León-Fuentes, 2013).

En los últimos 5 años se incrementaron las plantaciones de la var. Hass por las condiciones edafoclimáticas adecuadas de los valles de las provincias de Carchi, Imbabura y Pichincha. Además, el agricultor tiene interés en cultivar la Hass por la creciente demanda en el mercado internacional para el consumo en fresco y también por su uso como materia prima para la producción de aceites, pulpa y guacamole (Vásquez *et al.*, 2008).

Las diferencias entre las dos variedades son: el Hass tiene alto contenido de grasa (18 a 22%), su corteza es gruesa y rugosa por lo que resiste el almacenamiento y golpes durante el transporte; mientras que el Fuerte tiene menos porcentaje de aceite (16 a 18%) y su piel es frágil, por lo que su vida de anaquel se reduce (Alfonso-Bartoli, 2008). Además, Macas *et al.* (2012), en una evaluación con productores de San José de Minas y Tumbaco en la provincia de Pichincha, clasificaron la producción de Hass en 62% como categoría mediana, 32% frutos pequeños y 6% frutos grandes; mientras que la Fuerte presentó 74% de frutos medianos, 25% pequeños y 1% grandes.

El Hass se obtuvo por semilla de una planta guatemalteca en la Habra Heights, California, USA, por Rudolph Hass y fue patentado en 1935. Es la variedad más comercial del mundo (Kader,

s.f.). Muy apetecida en USA y difundida a estos países: Israel, Islas Canarias, México Sur de España, y Sudamérica (Teliz, 2007). Posee 95% de las características de la raza guatemalteca y 5% de la raza mexicana. En el Hass, el fruto es auto fértil, pero obtiene mejores resultados polinizándolo con las var. Fuerte y Ettinger. El árbol tiene mediano vigor, aunque alcanza altas producciones bajo condiciones ecológicas apropiadas. El fruto es de tamaño mediano y de forma variable, entre ovoide y periforme, con piel gruesa y de color verde que se torna morado al madurar; además, puede permanecer largo tiempo en el árbol sin sufrir alteraciones y la producción se da entre Oct. y Feb. en territorio hondureño (Alfonso-Bartoli, 2008).

El árbol tiene crecimiento inicial lento o moderado según la radiación solar, con copa de tipo achaparrada, muy productiva en los tercios inferior y medio. Las hojas son lanceoladas y largas. El fruto maduro es fácil de pelar, pesa de 150 a 300 g, la pulpa tiene excelente sabor, no posee fibra, la semilla es pequeña y esférica adherida a la pulpa.

El establecimiento de nuevas plantaciones se recomienda para zonas altas (1200 a 2000 msnm), combinando árboles Hass y Fuerte porque al pertenecer a grupos florales similares se polinizan de forma mutua. Además, tienen la ventaja de que su producción es escalonada; la var. Fuerte con maduración de sus frutos entre Ago. y Oct. y la Hass entre Oct. y Feb. (Ciurana, 2008).

2.1.2. Beneficios

El aguacate es una alternativa viable para la diversificación de áreas productivas, porque puede incorporarse a la estructura productiva de la finca como monocultivo o en asociación con otro cultivo, sirviendo de sombra para este y generando ingresos económicos en el mediano plazo. El aceite de aguacate, por ejemplo, tiene tanta demanda como el aceite de oliva, por ser rico en grasas no saturadas y vitamina E, por su baja acidez y su alta composición de fitoesterol, un componente similar a la lanolina que se utiliza en la industria de cosméticos (León, 1999).

2.1.3. Áreas de cultivo

El aguacate Hass se cultiva en regiones subtropicales y templadas cálidas. Las principales zonas de cultivo en Ecuador están en Azuay: Gualaceo; Carchi: Mira; Imbabura: Atuntaqui, Cotacachi, Chaltura, Pimampiro, San Antonio de Ibarra; Pichincha: Guayllabamba, Perucho, Puéllaro, Puenbo, San Antonio de Pichincha y Yaruquí; Tungurahua: Baños y Patate; Loja: La Toma, Malacatos y Vilcabamba (León, 1999).

2.1.4. Aspectos técnicos

Los aspectos técnicos que se requieren para la producción de aguacate se detallan a continuación (Ciurana, 2008).

Ecología:	Para la producción agroecológica se deben considerar los lineamientos que se utilizan en el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i>). Además, es susceptible a vientos fuertes.
Altitud:	400 a 1800 msnm, susceptible a heladas, temperaturas de 17 a 30 °C.
Precipitación:	1200 a 2000 mm anuales bien distribuidos.
Humedad relativa:	60%
pH:	5.5 a 6.5.
Suelos:	Se adapta a suelos con un máximo de un 30% de pendiente y libres de anegamiento (buen drenaje superficial e interno). Suelos francos arcillo arenosos, profundos (0.80 a 1.50 m) y con 3 a 5% de materia orgánica.
Variedades:	Azteca, Booth 7 y 8, Catalina, Choquete, Ettinger, Fujikawa, Guatemala, Halla, Hass, Itzama, Kahalú, Naval, Masutomi, Simmons y Wurstz.

2.1.5. Fertilización y nutrición

La fertilización ayuda a que el cultivo tenga a su disposición los nutrientes que necesita para su crecimiento y desarrollo; por lo tanto, los fertilizantes deben contribuir a incrementar la productividad agrícola. Para producir cultivos exigentes en nutrientes –como lo es el aguacate– a más de las condiciones de suelo, es importante saber si es necesario añadir nutrientes con la fertilización y si es así, conocer la calidad de las fuentes que se van a aplicar, la dosis a aplicar, la forma de aplicación y la época de aplicación (Pantoja, 2014).

Los planes de fertilización de aguacate por lo general incluyen: 250 g de un fertilizante rico en P como 10-30-10 o superfosfato triple aplicado en el fondo del hoyo durante el trasplante. Por cada año del árbol ya establecido, 1 kg de un fertilizante rico en N y K como el de la fórmula 18-5-15-6-2, repartido en tres aplicaciones, una a la entrada de las lluvias y las otras dos cada dos meses (ANACAFÉ, 2017). Además, se pueden utilizar fuentes orgánicas (ej.: estiércoles de animales de granja) como aporte de nutrientes, pero sobre todo como enmiendas físico-químicas del suelo. Si el suelo presenta pH inferior a 5.5 es recomendable aplicar materiales encalantes para reducir el grado de acidez. En ambos casos –aplicación de abonos orgánicos y enmiendas– se debe revisar la calidad química y física de los materiales a utilizar (Pantoja, 2017).

2.1.6. Productividad y calidad del aguacate Hass en Ecuador

Situación actual

Las variedades más comercializadas en el mercado internacional incluyen: Guatemalteco, Criollo, Fuerte y Hass; pero en Ecuador se cultivan más de 20 var. distintas de esta fruta. Por esta razón, desarrollar tecnologías que optimicen el manejo en las diversas fases del proceso de producción es primordial (Vásquez *et al.*, 2008).

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) ha enfocado sus evaluaciones en mejorar la productividad del cultivo del aguacate generando información y tecnología específica para este frutal. Se han hecho esfuerzos para buscar alternativas que permitan hacer un uso eficiente de la fertilización. Su objetivo ha sido mejorar los niveles de productividad y calidad para satisfacer la demanda local y de los mercados internacionales; en especial el mercado europeo que tiene pocas restricciones para el aguacate sudamericano. Sin embargo, estos avances han sido limitados.

A pesar de la poca injerencia del sector público en la producción, la competitividad del sector crece en Ecuador a raíz de la creciente demanda internacional de aguacate (Viera *et al.*, 2016a). Las Universidades han empezado a evaluar nuevas tecnologías, a aplicar la biotecnología en los procesos de producción de aguacate y a recibir cursos de capacitación a nivel nacional e internacional. En cambio, desde el sector privado se percibe una creciente inversión a nivel de campo (ej.: instalación de sistemas de riego) y procesamiento (ej.: tecnologías que alargan la vida útil del producto) (Altuna, 2018). La implementación de los avances tecnológicos que generan los dos sectores –público y privado– respalda la capacidad de respuesta económica del agricultor y motivan la implementación de nuevas inversiones.

Además, en términos de fertilización en Ecuador los agricultores poco a poco aceptan que no deben manejarse bajo el concepto de *recetas*, es decir, aplicando las mismas recomendaciones de fertilización para zonas agroecológicas diferentes y para cultivos con diferentes condiciones de manejo (ej.: densidad, poda, riego) (Pantoja, 2014). Hay una tendencia a utilizar de mejor forma los diagnósticos (análisis) de suelo y foliares antes de hacer aplicaciones de fuentes de fertilización. Para algunas fincas, la calidad del agua de riego también es un factor para considerar, porque ciertas zonas de los valles interandinos presentan aguas de naturaleza dura (con altas concentraciones de bicarbonatos) que disminuyen la biodisponibilidad de nutrientes (Chang-Gómez, s.f.).

El INEC (2017), señala que en Ecuador hay 6000 ha de aguacates comunes tradicionales var. Fuerte y 1536 ha de aguacate mejorado var. Hass. La asociación de CORPOAGUACTE maneja cerca de 800 ha, de las cuales 200 ha están ubicadas en la península de Santa Elena y su producción se exporta vía marítima a Europa y las 600 ha en el valle interandino, las cuales se comercializan en mercado interno y un 30% (180 ha) a mercado colombiano (Altuna, 2018).

Rentabilidad

Producir aguacate resulta costoso para un agricultor promedio; sin embargo, cuando el cultivo entra en producción la rentabilidad es atractiva. Por ejemplo, Pilapaña-Juiña y Rovayo (2013) realizaron un análisis de la rentabilidad de aguacate en las provincias de Carchi, Imbabura y Tungurahua, y determinaron que el costo de producción del primer año es de US\$ 15000 ha⁻¹, con los siguientes indicadores financieros: VAN = US\$ 46500, TIR = 28% y una relación beneficio costo⁻¹ de 1.7.

Demanda del mercado internacional

Diversas fuentes estiman una creciente demanda de aguacate, en especial en Europa y Asia. Giacinti (2002) determinó que el consumo mundial de aguacate se ha mantenido relativamente estable en cuanto al consumo per cápita (de 376 a 381 g año⁻¹), mientras que el volumen total evolucionó de 2.0 a 2.3 millones de Mg. Los principales países importadores de aguacate y potenciales mercados son: EE.UU., Francia, Holanda, Japón, Canadá, Inglaterra, España, Alemania Italia, Suecia y Australia (Viera *et al.*, 2016a). La Unión Europea (UE) es un nicho de mercado importante (con un consumo de 290000 Mg entre 2013 y 2014), con un consumo per cápita de 600 g año⁻¹, donde las mayores importaciones de este fruto provinieron de Perú, país que realiza la cosecha entre Nov. y Abr. (Vásquez *et al.*, 2008). Sin embargo, la demanda europea no es uniforme, con Europa del Este consumiendo 160 g año⁻¹ y Europa del Oeste con 700 g año⁻¹. El país que registra el mayor consumo de todo el continente es Suiza, con 1000 g año⁻¹, valor cercano al registrado por Canadá (1300 g año⁻¹). Cabe recalcar, que EE.UU. es el país con el más alto de consumo per cápita (2500 g año⁻¹) (Jaramillo-Robles, 2011).

La demanda mundial de aguacate crece de forma paulatina desde 1995, alcanzando un incremento de 122% en los últimos años 10 años (Astudillo-Galdames, 1995). Por ejemplo, EE.UU. consumió 897000 Mg en 2014, lo que representa un incremento del 500% en 20 años (Angulo, 2018), y en el 2015 consumió 900000 Mg de aguacate en fresco (Viera *et al.*, 2016a).

Las exportaciones de aguacate ecuatoriano en los últimos dos años han sido de 210 (2016) y 150 Mg (2017) (Altuna, 2018). Este aguacate tiene como destino a Colombia, Holanda, España,

y en menor escala a Reino Unido, Canadá, Corea del Sur, Hong Kong, Japón y Antigua y Barbuda (BCE, 2015).

Con respecto al mercado colombiano, existe una valoración importante a la cadena de comercialización, la cual relaciona a productores, intermediarios, acopiadores, transportadores y comerciantes mayoristas (Bernal y Díaz, 2008). En la evaluación del comportamiento de los precios de alimentos, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), por medio del Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA), registra el comportamiento de las cotizaciones mayoristas de tres variedades de aguacate: Hass, común y papelillo. En el Hass el precio de importación oscila entre US\$ 1.80 y 2.00 kg⁻¹, este precio dependerá de la demanda que registren los mercados de Corabasto en Bogotá, La Ceja en Antioquia, Central de Medellín y los mayoristas de Rionegro, Popayán y Tunja (SIPSA, 2017).

El volumen de producción colombiano ha sido uno de los de mayor crecimiento de la región (334%) entre el 2014 y 2018; donde el área de producción se ha duplicado en ese periodo y los ingresos por exportaciones han crecido en un 730% (CORPOHASS, 2018) (Fig. 1). Esto también resulta en mayores oportunidades de empleo para los colombianos, tanto a nivel de campo, como a nivel de empaque y procesamiento preembarque.



Fig. 1. Detalles de la producción y exportación del aguacate colombiano. Fuente: CORPOHASS (2018).

Principales parámetros de comercialización

Según el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (INCOTEC, 2018), para comercializar frutos de aguacate, var. Hass, estos deben cumplir varios parámetros físicos y de composición (Tabla 1).

Tabla 1. Requisitos específicos para la exportación de aguacate desde Ecuador al mercado colombiano, 2018.

Requisito	Característica	Valor permitido
Forma	Piriforme ovoide	-
Piel	Rugosa	-
Peso (g)	Liviano	150 – 300
Color fruto	Verde púrpura	-
Longitud de fruto (mm)	Pequeño	90 – 110
Contenido mínimo de pulpa (%)	Cremosa	58
Firmeza (kgf cm ⁻²)	Cáscara	0.90 – 1.51
Contenido mínimo de grasa (aceite) (%)	-	12
Contenido mínimo de materia seca (%)	-	23

Fuente: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (INCOTEC, 2018).

Estos parámetros se citan con base en las referencias y normativas NTC (normas técnicas y de certificación) (1248-2; 1248-3; 2479, 5422):

- ✓ Estar en estado de madurez de cosecha o de consumo.
- ✓ Frutos intactos/enteros: no tener ninguna lesión que dañe la integridad de la fruta, tal como cortes, pinchazos, fisuras u otro daño mecánico significativo ocasionado durante la cosecha o postcosecha (recolección, limpieza, selección, clasificación, adecuación, empaque, almacenamiento y transporte).
- ✓ Estar visiblemente sanos: se excluyen los productos afectados por podredumbre, enfermedades (antracnosis, body roots, pudrición del pedúnculo) o deterioro grave que limite su consumo y afecte de forma apreciable su aspecto o valor de mercado. En particular, se excluyen los aguacates afectados por pudriciones, incluso si los signos son muy leves, pero pueden hacer que los aguacates no sean aptos para el consumo en su destino.
- ✓ Estar libres de insectos y daños causados por plagas.
- ✓ Aspecto fresco y consistencia firme.
- ✓ Libres de humedad externa anormal (salvo la condensación consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica).
- ✓ Exento de olores y sabores extraños (provenientes de otros productos, empaques, recipientes, agroquímicos, con los cuales entró en contacto).

- ✓ Exento de materiales extraños (suelo, polvo, agroquímicos y cuerpos extraños) visibles en el producto o en su empaque.
- ✓ Libre de daños causados por bajas o altas temperaturas.
- ✓ Fruto con pedúnculo, cuya longitud debe ser máxima de 5 mm y cortado limpiamente.

Además, los residuos de plaguicidas no deben exceder los límites máximos establecidos en el Codex Alimentarius, la normativa nacional o en su defecto los valores establecidos por la normativa del mercado de destino (INCOTEC, 2018).

2.2. EL TITANIO ORGÁNICO EN LA PLANTA

2.2.1. Función

La aplicación de Ti-Org facilita la actividad fotosintética al estimular el accionar de la RuBisCO, fomentando su fase de carboxilación y permitiendo una mayor fijación de CO₂ en las plantas. Más C en los tejidos desencadena una mayor producción de carbohidratos [ej.: sacarosa (azúcares solubles) o como almidón (azúcares de reserva)], cuyo transporte a los lugares de consumo activo (frutos, raíces, tubérculo) lo regula el ion Zn. Una mayor concentración de sacarosa en las raíces proporciona la energía necesaria para absorber nutrientes. El Ti-Org es una novedosa formulación que actúa como catalizador enzimático y potencializador de la tasa fotosintética y la actividad metabólica de la planta, mejorando la productividad y la calidad de las cosechas. Además, el Ti-Org cataliza la actividad de enzimas clave en las plantas (Akdi, 2017), en especial:

- ✓ RuBisCO: Estimula la actividad fotosintética al mejorar la fijación de CO₂ necesario para promover la síntesis de carbohidratos y biomasa.
- ✓ Sacarosa sintetasa: Enzima cloroplastidial responsable de la síntesis de sacarosa que se transfiere desde el cloroplasto a lugares de demanda activa de carbohidratos. A mayor actividad enzimática, mayor capacidad de transporte de carbohidratos a las raíces y mejor absorción de nutrientes.
- ✓ Nitrato-reductasa: Enzima citoplasmática que promueve la reducción de NO₃⁻ a NO₂⁻ y a partir de este a formas que NH₄⁺, integrante de aminoácidos y proteínas. Cuando la actividad de la enzima decrece, el NO₃⁻ se acumula y disminuye la síntesis proteica.
- ✓ Glutación sintetasa: Enzima que regula la síntesis de Glutación, tripéptido formado por Cisteína, Glutamato y Glicina; con alta capacidad antioxidante, ayudando al vegetal a protegerse de la acción de las especies reactivas de O₂.

2.2.2. Beneficios

Akdi (2017) menciona que los efectos positivos del Ti-Org en las plantas son:

- ✓ *Mejora de la eficiencia fotosintética.* Mejora la fijación de C fomentando la producción de biomasa vegetal. Promueve la fotosíntesis y disminuye la fotorrespiración. Activación del Fe y Mg en los cloroplastos foliares (orgánulos que generan clorofila) y cromoplastos de frutos (orgánulos que acumulan pigmentos). Contiene citoquininas que promueven la síntesis de pigmentos y formación de cloroplastos.
- ✓ *Mejora la actividad metabólica y enzimática.* Mejora la actividad de enzimas vitales (ej.: RuBisCO, sacarosa sintetasa, nitrato reductasa, glutatión sintetasa, catalasa, peroxidasa).
- ✓ *Mejora la eficiencia de absorción de nutrientes.* Mejor aprovechamiento nutricional de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu en órganos demandantes (frutos, raíces y tubérculos).
- ✓ *Mayor productividad.* Mejor cantidad y calidad de cosecha.
- ✓ *Mejor calidad de producción.* Incrementa la concentración de Ca en piel (lo que resulta en mayor firmeza de tejidos) y pulpa de frutos. Promueve la acumulación de azúcares en el fruto y de almidón en los tubérculos. Disminuye la concentración de NO₃⁻ en el fruto.
- ✓ *Mejora la resistencia de la planta a condiciones de estrés.* Induce a la producción de antioxidantes (glutatión, catalasa, peroxidasa) y disminuye la fotorrespiración en condiciones de estrés hídrico. Promueve un mayor contenido en ascorbato, citrato y malato en los tejidos.

Traetta-Mosca (1913) evidencio que el Ti-Org incrementa el crecimiento de las hojas de tabaco (*Nicotiana tabacum*). Geilmann (1920) notó que este se presenta en las cenizas de todas las plantas, que participa en el metabolismo como un catalizador *redox* y que se acumula en los órganos de asimilación. Su presencia favorece la producción de biomasa y la fructificación (incrementa las reservas y el peso de frutos). Se ha considerado la hipótesis de que el efecto benéfico positivo del Ti-Org responde a un fenómeno denominado *hormesis*, que es una respuesta caracterizada por una estimulación a dosis baja y una inhibición a dosis alta, que resulta en una curva en forma de U invertida (Akdi, 2017).

De acuerdo con Akdi (2017), dada la alta biocompatibilidad del Ti-Org en el metabolismo vegetal, no se reportan casos de toxicidad, pero como cualquier oligoelemento o sustancia activa usada en agricultura, una sobredosificación puede generar un proceso de *hormesis*. Así, un insumo agrícola que produzca efecto *hormesis* debe, a baja dosis, producir un efecto contrario o diferente al de dosis altas (ej.: las fitohormonas). Algunas auxinas, a una determinada dosis pueden evitar el aclareo de frutos y a dosis mayores favorecen la caída de frutos. También,

determinadas vitaminas y microelementos, a dosis pequeñas, no solo son positivas, sino que son esenciales para el desarrollo vegetal, mientras que dosis altas provocan fitotoxicidad e incluso la muerte de la planta. Por ejemplo, el Fe, Cu, Zn, B y S son importantes para lograr una correcta fecundación y cuaje de frutos, pero una alta aplicación provoca fitotoxicidad.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Investigación de campo

De acuerdo con el procedimiento que será descrito a continuación, este trabajo es una evaluación de campo, con un diseño experimental de parcelas demostrativas.

3.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE EVALUACIÓN

3.2.1. Ubicación política

Provincia:	Carchi
Cantón:	Mira
Parroquia:	Mira
Sector:	Pisquer

3.2.2. Ubicación geográfica

Longitud:	77°59'10"O
Longitud:	00°28'30"N

3.2.3. Ubicación ecológica

Altitud:	2100 msnm.
Temperatura media:	16 °C.
Precipitación anual:	650 mm.
Relieve:	Piedemonte Andino
Zona ecológica:	Bosque espinoso subtropical (Ipiales-Acosta <i>et al.</i> , 2011).

3.3. MATERIALES

3.3.1. Material experimental

Variedad:	Hass
Origen:	Colombia
Edad del cultivo:	4 años
Densidad de siembra:	3 x 3 m

Para los tratamientos se utilizó un producto elaborado a base de Ti-Org con concentración media de 1330 mg kg⁻¹. Además, el producto tiene 3.48% de Zn y 1.16% de Mo, en concentraciones compatibles con el desarrollo homeostático de la planta. El producto también incluye compuestos orgánicos como citoquininas (1530 mg kg⁻¹), antioxidantes (1740 mg kg⁻¹) y compuestos estabilizadores de la formulación.

3.4. MÉTODOS

3.4.1. Análisis inicial del suelo

El muestreo de suelo se realizó el 4 de Abr. de 2018. Para ello se limpió la superficie alrededor de las plantas en el área experimental y se tomó 20 submuestras efectuando un recorrido en zigzag para cubrir toda el área. En cada punto de muestreo se excavó un hoyo de 20 cm de profundidad con las paredes inclinadas, de una de estas paredes se sacó una tajada de suelo de 5 cm de grosor; con un cuchillo se eliminó los extremos laterales del bloque de suelo, dejando solo la tajada de 5 cm de ancho. Esta submuestra se depositó en un balde plástico, al terminar el muestreo el suelo recolectado se mezcló para homogenizarlo. De la mezcla final 1 kg se empacó en una funda plástica, con un membrete que incluía todos los datos de identificación de la muestra para su entrega al laboratorio.

Previo al análisis, la muestra se secó a 65 °C con circulación continua de aire seco por ≥ 48 h, molida y tamizada (2 mm) para eliminar rocas y raíces. Para el análisis, el pH se determinó mediante el método H₂O y KCl volumen 1:2; la conductividad eléctrica con volumen 1:2 en agua; el NO₃, NH₄, K, Ca, Mg con el método CaCl₂ y NaCl 0.5 M; Fe, Mn, Zn, Cu con extracción con DTPA + CaCl₂; P con extracción con NaHCO₃ 0.5 M método de Olsen; SO₄, Na, Cl, B con extracto volumen 1:2 en agua (SSSA, 1990).

El análisis inicial del suelo indica la presencia de una textura limo arenoso, ideal para el cultivo de aguacate. Según Rodríguez y Rodríguez (1993), dicha textura es susceptible a infiltraciones

si existe el suficiente drenado. Se presentó un pH (KCl) ligeramente ácido, pero que está dentro del rango requerido por el cultivo. En cuanto al contenido de nutrientes minerales, la mayoría de ellos se encuentran en niveles adecuados para la producción de aguacate; la excepción es el S, que por el bajo contenido de M.O. (resultados no reportados) y las características arenosas del suelo el suelo, se encuentra en niveles bajos (Tabla 2). Para corregir la posible deficiencia a nivel foliar que podía originar esta condición edáfica, los propietarios de la finca aplicaron K_2SO_4 al 3% a través del sistema de riego (goteo localizado).

Tabla 2. Resultado del análisis inicial de suelo previo al establecimiento de la evaluación y rangos considerados como óptimos para el cultivo de aguacate, var. Hass. Pisquer, Mira, Carchi, Ecuador. Abr. de 2018.

Elemento	Unidad	Resultados	Rango óptimo [†]
Materia orgánica	%	3.9	3 – 12
Textura	--	limo arenoso	limo arenoso – limo arcilloso
C.E.	mS cm ⁻¹	0.29	0.3 – 0.6
pH (H ₂ O)	--	7.9	--
pH (KCl)	--	6.9	5.5 – 7.0
Nitrato (NO ₃ – N)	mg kg ⁻¹	15.5	--
Amonio (NH ₄ – N)	mg kg ⁻¹	2.0	--
(NO ₃ + NH ₄)-N	mg kg ⁻¹	17.5	22 – 35
Fósforo (P)	mg kg ⁻¹	10.3	25 – 40
Potasio (K)	mg kg ⁻¹	182	120 – 260
Magnesio (Mg)	mg kg ⁻¹	119	45 – 120
Calcio (Ca)	mg kg ⁻¹	427	400 – 1500
Azufre (S)	mg kg ⁻¹	4.2	10 – 15
Hierro (Fe)	mg kg ⁻¹	21.1	20 – 50
Manganeso (Mn)	mg kg ⁻¹	24.6	6 – 30
Cobre (Cu)	mg kg ⁻¹	2.4	1 – 4
Zinc (Zn)	mg kg ⁻¹	1.7	2 – 8
Boro (B)	mg kg ⁻¹	0.30	0.2 – 0.6
Sodio (Na)	mg kg ⁻¹	37.2	< 140
Cloruro (Cl)	mg kg ⁻¹	17.9	< 213
Sales totales	mg kg ⁻¹	242.0	< 2000

[†] Fuente: Volke-Haller *et al.* (1998).

3.4.2. Análisis foliar inicial

Al igual que el muestreo de suelo, el muestreo foliar se realizó el 4 de Abr. de 2018. Este muestreo se realizó en las mismas plantas en las que se tomó las submuestras de suelo. En cada árbol seleccionado se recolectaron seis hojas correspondientes a ramas de la parte media del árbol (brotes vegetativos y terminales) y que no estaban en fase productiva. Las hojas

recolectadas se colocaron en una funda de papel con una etiqueta que incluir todos los datos de la muestra y se envió al laboratorio.

En el laboratorio las hojas se lavaron con agua destilada, se secaron por ≥ 48 h con circulación continua de aire seco a 65 °C, y luego se molieron (2 mm). El análisis se realizó mediante incineración seca y dilución en agua regia. Los métodos específicos para determinar el contenido nutricional incluyeron: N total con el método micro Kjeldahl; P con el método del ácido vanadomolibdophosphorico; K y Na a través de fotómetro de llama; Ca, Mg, Fe, Cu y Zn con el espectrómetro de absorción atómica; el B con azomethin y el S con el método turbidimétrico y BaCl₂ (SSSA, 1990).

En el análisis foliar se presentó una elevada asimilación de Mn, la cual según INTAGRI (2017), no significaba problemas de toxicidad (Tabla 3); además, este elemento contribuye al funcionamiento de varios procesos biológicos incluyendo la fotosíntesis, la respiración y la asimilación de N, por lo que cantidades por sobre el rango óptimo no son muy perjudiciales.

Tabla 3. Resultado del análisis inicial del follaje previo al establecimiento de la evaluación y rangos considerados como óptimos para el cultivo de aguacate, var. Hass. Pisquer, Mira, Carchi, Ecuador. Abr. de 2018.

Elemento	Unidad	Resultado	Rango óptimo
Nitrógeno total (N)	%	1.82	1.60 – 2.00
Fósforo (P)	%	0.10	0.08 – 0.25
Potasio (K)	%	0.78	0.75 – 2.00
Magnesio (Mg)	%	0.53	0.25 – 0.80
Calcio (Ca)	%	1.80	1.00 – 3.00
Azufre (S)	%	0.44	0.20 – 0.60
Sodio (Na)	%	0.03	0.01 – 0.20
Hierro (Fe)	%	53.80	50 – 200
Manganeso (Mn)	mg kg ⁻¹	252	30 – 50
Cobre (Cu)	mg kg ⁻¹	9.1	5 – 15
Zinc (Zn)	mg kg ⁻¹	33.6	30 – 120
Boro (B)	mg kg ⁻¹	28.4	30 – 60

Fuente: Volke-Haller *et al.* (1998).

3.4.3. Datos climáticos

Los datos climáticos se determinaron en entre Abr. y Ago. de 2018 (150 d) en la estación meteorológica más cercana del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Los datos se obtuvieron mediante la lectura de un termómetro y pluviómetro meteorológico en relación con temperatura y precipitación, respectivamente.

Durante el periodo de evaluación la temperatura media fue de 16 °C y la precipitación media mensual de 11 mm; sin embargo, la temperatura tuvo una tendencia creciente y la precipitación una tendencia decreciente (Fig. 2). Estas condiciones son precursoras de estrés hídrico en el cultivo de aguacate (Rodríguez y Rodríguez, 1993); por lo que se realizaron aplicaciones de riego mediante goteo localizado cada dos días, en especial en May., que es un periodo crítico para la productividad del aguacate porque coincide con la floración.

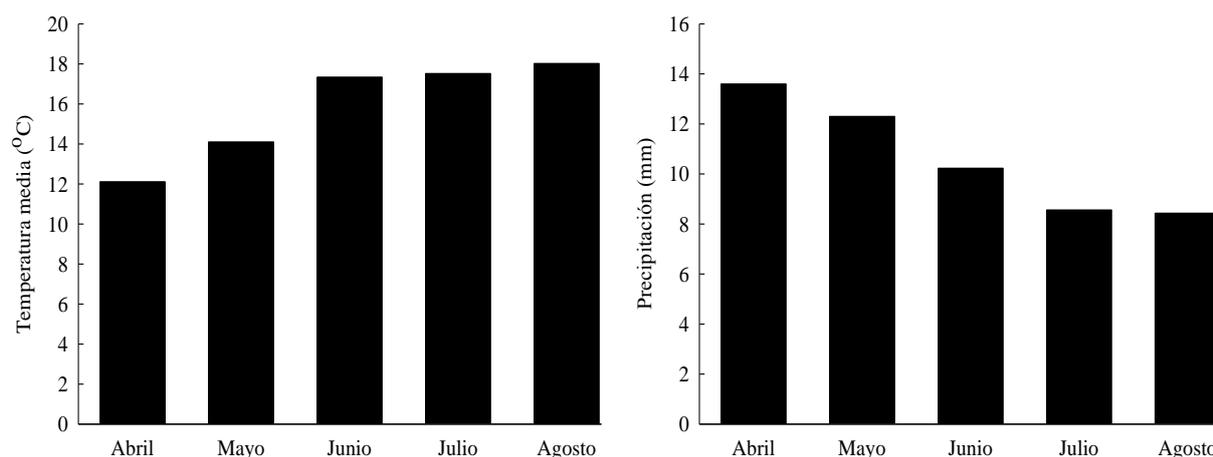


Fig. 2. Temperatura media mensual (izquierda) y precipitación total mensual (derecha) durante la ejecución de la evaluación. Pisquer, Mira, Carchi, Ecuador. Abr. a Ago. de 2018.

3.4.4. Preparación y manejo del sitio experimental

La evaluación se desarrolló bajo condiciones de cultivo a campo abierto en la finca representativa en cuanto a las condiciones técnicas de manejo del cultivo y bajo un cronograma de trabajo planificado (Anexo 1). Se llevó un registro de las condiciones del cultivo inherentes a la prueba como: estado del desarrollo del cultivo, dosis de fertilizantes y aplicaciones de agroquímicos. Las actividades de campo se desarrollaron bajo la siguiente secuencia (Tabla 4):

Tabla 4. Fechas importantes de la evaluación de los efectos del titanio orgánico en la producción de aguacate, var. Hass. Pisquer, Mira, Carchi, Ecuador. Abr. a Ago. de 2018.

Análisis inicial de suelo y foliar	Aplicaciones de tratamientos	Evaluación de diámetro y peso de frutos tiernos	Cosecha de frutos maduros
4/4/2018	25-04-2018	23-04-2018	11/8/2018
	13-05-2018	11/5/2018	
	27-06-2018	25-06-2018	
		11/8/2018	

3.4.5. Diseño experimental, tratamientos y unidad experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (BCA) con tres repeticiones (Anexo 2). Los tratamientos incluyeron tres dosis de Ti-Org: 100, 200 y 400 mL 200 L⁻¹ H₂O y un testigo absoluto (control). Cada parcela (unidad experimental) la conformaron nueve plantas (36 por bloque y 108 en total). Cada tratamiento se aplicó tres veces:

- ✓ T1: 100 mL 200 L⁻¹ H₂O = 300 mL en tres aplicaciones
- ✓ T2: 200 mL 200 L⁻¹ H₂O = 600 mL en tres aplicaciones
- ✓ T3: 400 mL 200 L⁻¹ H₂O = 1200 mL en tres aplicaciones

3.4.6. Variables evaluadas

En fruto tierno

Para las variables evaluadas durante la etapa de fructificación (diámetro y peso de fruto) se realizaron cuatro mediciones, una justo antes de la primera aplicación de tratamientos, dos antes de segunda y tercera aplicación de tratamientos y la última justo antes de la cosecha. Las mediciones se realizaron siempre en los mismos frutos, los cuales se marcaron durante la primera medición.

La metodología para evaluar cada variable fue:

1. *Diámetro de fruto*: Se tomó tres muestras de frutos por planta de forma aleatoria en la primera medición, en tres plantas de cada unidad experimental. Para ello se utilizó un calibrador pie de rey para no cortar el fruto y los resultados se reportaron en mm.
2. *Peso de fruto*: Se evaluó en los frutos marcados para la variable anterior. Para ello se utilizó una balanza electrónica específica para este tipo de trabajos sin necesidad de cortar el fruto y los resultados se reportaron en g.

En fruto maduro

Los resultados de las variables evaluadas durante esta fase se recolectaron luego de la cosecha de los frutos en campo y previo al procesamiento de los frutos en el área de empaque.

1. *Productividad*: La productividad se determinó cosechando todos los frutos seleccionados en tamaño y medida exportable, e interpolando los resultados de cada unidad experimental a kg ha⁻¹.
2. *Calidad de fruto* (Evaluación sensorial): En esta evaluación se determinó la apariencia externa, el grosor de la pulpa, tamaño de la semilla, cantidad de pulpa, sabor y color. Cada

parámetro tuvo una puntuación de 10 puntos, 5 = apenas detectable, 7 = intensidad moderada y 10 = intensidad más alta (Camarena, 2007). Luego se promedió los valores de todos los parámetros evaluados.

3. *Número de frutos con calidad exportable*: Esto se determinó seleccionando y pesando todos los frutos con calidad exportable por cada unidad experimental; luego se contó los frutos que cumplían con los parámetros deseados y se calculó la cantidad de frutos que completaban 1 kg de peso y por gaveta de exportación (de 25 kg).

3.4.7. Análisis estadístico

Los resultados se evaluaron con un análisis de varianza (ANDEVA). Para ello se utilizó la opción DIFF del procedimiento PROC MIXED del programa estadístico SAS^{9.3} (SAS Institute, 2009). En los ANDEVA, los tratamientos se consideraron como factores fijos, mientras que los bloques (réplicas) fueron aleatorios. Cuando existieron, las diferencias entre los tratamientos se determinaron mediante “*Diferencia Mínima Significativa (DMS)*” con un $p \leq 0.10$.

Como complemento a los ANDEVA, se determinó una posible relación entre el peso de la pulpa y la producción de fruto exportable. Para ello se utilizó el procedimiento PROC CORR de SAS^{9.3}, donde los coeficientes de correlación de Pearson $\geq |0.70|$ y con $p \leq 0.10$ se consideran significativos (Hinsinger y Jailard, 1993).

3.4.8. Análisis económico

Este análisis se realizó con base en la relación beneficio costo⁻¹ por unidad de área y calculando la utilidad neta de la operación. Para ello se consideró los costos anuales de la finca y los costos incurridos en esta evaluación (Anexo 3).

3.5. CONSIDERACIONES BIOÉTICAS

3.5.1 En lo ambiental

En esta evaluación se utilizó productos sin composiciones químicas residuales de largo plazo, es decir, de bajo impacto ambiental. Además, la finca donde se ejecutó la evaluación busca aplicar productos amigables con la flora y fauna del sector.

3.5.2. En lo económico

La inversión para esta evaluación la cubrió el estudiante (Anexos 3 y 4). Con los resultados de producción se estimó el impacto económico (ingresos) de los precios obtenidos por venta de frutos al mercado de exportación colombiano.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. SITUACIÓN DEL CULTIVO

El lote en el que se ejecutó esta evaluación tiene 5% de pendiente, con un sistema de riego por goteo y un suelo de textura limo-arenosa. El cultivo utilizado tuvo una edad fenológica de cuatro años, en estado óptimo de producción y con dos cosechas previas de tipo semestral. Los árboles presentaron un tamaño de piso a copa de 1.90 m y un radio de follaje de 0.5 m. La densidad de siembra fue de 1100 plantas (3 x 3 m en distribución tipo hilera).

En la finca el plan de fertilización incluye aplicaciones de N-P-K, sulfatos de Mg y Zn, complejos fúlvicos, suero con su aporte de Ca y micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn). Estas aplicaciones se realizan mediante fertirriego o al boleto. Además, se realizan aplicaciones fitosanitarias vía foliar para el control de plagas y enfermedades. Por último, se realizan aplicaciones de herbicidas de baja residualidad para el control de malezas de hoja ancha en los espacios planta a planta.

La finca aceptó la propuesta de evaluar el Ti-Org debido a que se necesitaba mejorar el peso, tamaño y la calidad del fruto exportable. Al haber demanda internacional, cualquier incremento en volumen y calidad del fruto de exportación representa una oportunidad de negocio y la posibilidad de incrementar los ingresos de los productores de aguacate de la var. Hass.

4.2. RESULTADOS DE FRUTO TIERNO

4.2.1. Diámetro de fruto

Con respecto al diámetro del fruto tierno se observa un incremento considerable entre las mediciones realizadas con el paso del tiempo; sin embargo, no hay diferencias entre los tratamientos en ninguna de las mediciones ($p > 0.10$); aunque el testigo comercial (control) tiende a tener un menor incremento de diámetro a medida que progresó la evaluación en relación con los tratamientos con Ti-Org (Fig. 3). El fruto de aguacate tiene más del 70% de agua en su composición; por lo que el incremento del diámetro es dependiente de la acumulación de agua en el fruto. Sin embargo, Haghghi y Daneshmand (2018) encontraron que el Ti-Org no incrementó la eficiencia fisiológica en acumulación de agua en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), aunque si encontraron incrementos en la eficiencia en la acumulación de

nutrientes como K, Ca y Mn. En cambio, Whiteed-Haag *et al.* (2014) indican que el tipo de respuesta de acumulaciones de biomasa vegetal a las aplicaciones foliares de Ti-Org es dependiente de la especie de cultivo, y que en ciertas ocasiones –para lograr una respuesta positiva– se necesita la suplementación nutricional con otros elementos adicionales como el Si. Esto podría explicar el poco efecto que tuvo el Ti-Org en el diámetro del aguacate en esta evaluación.

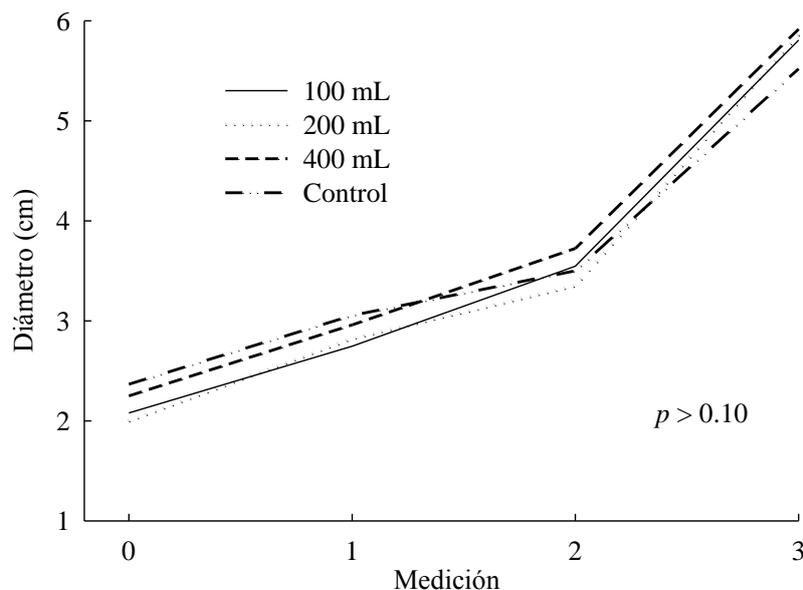


Fig. 3. Cambio del diámetro de fruto de aguacate, var. Hass, a través del tiempo con la aplicación de titanio orgánico durante esta evaluación. Pisquer, Mira, Carchi, Ecuador. Abr. a Ago. de 2018.

4.2.2. Peso de fruto

Con respecto al peso de fruto tierno, hay incrementos progresivos con el paso del tiempo para todos los tratamientos; sin embargo, solo hay diferencias durante la segunda medición ($p \leq 0.10$), donde la aplicación de Ti-Org resulta en mayor peso que el testigo comercial (control) (Fig. 4). Lyu *et al.* (2017) manifiestan que el Ti-Org aplicado a través de las raíces u hojas en bajas concentraciones mejora la productividad del cultivo al estimular la actividad de ciertas enzimas, mejorando el contenido de clorofila y la actividad fotosintética, promoviendo la absorción de nutrientes, fortaleciendo la tolerancia al estrés y mejorando la calidad de los frutos. Akdi (2017) indica que el Ti-Org participa en el metabolismo de las plantas como un catalizador de tipo *redox* que se acumula en los órganos de asimilación; de esta forma su presencia favorece tanto la capacidad vegetativa (formación de biomasa vegetal) como la productiva (incrementa

las reservas y el peso de frutos) de la planta. Estas aseveraciones confirman el efecto que tuvo Ti-Org en el incremento de peso de fruto tierno de aguacate en esta evaluación.

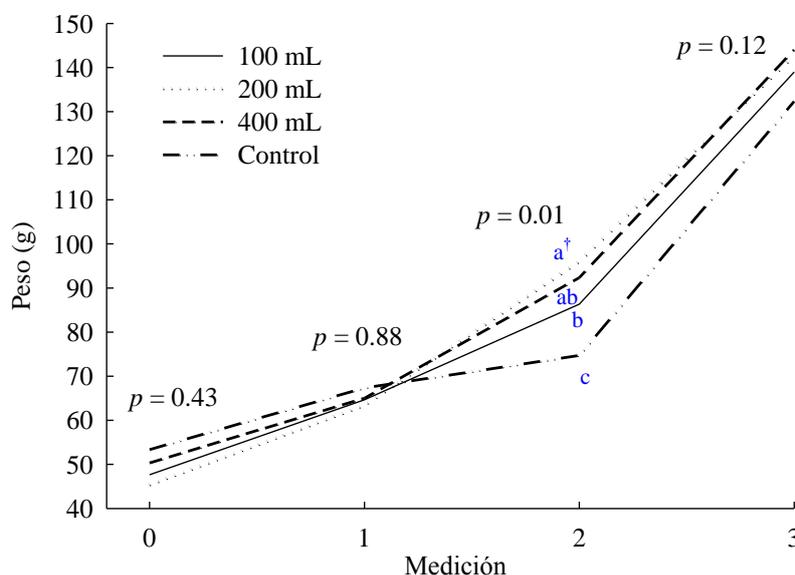


Fig. 4. Cambio del peso de fruto de aguacate, var. Hass, a través del tiempo con la aplicación de titanio orgánico durante esta evaluación. Pisquer, Mira, Carchi. Abr. a Ago. de 2018. † Letras diferentes indican diferencia significativa ($p \leq 0.10$).

4.3. RESULTADOS EN FRUTO COSECHADO

4.3.1. Productividad

En esta evaluación se obtuvo un promedio de 15.6 Mg ha^{-1} de aguacate, que es 4% (0.6 Mg ha^{-1}) mayor al reportado por León (1999) a nivel nacional; pero 14% más que el promedio cosechado en la finca en la que se hizo el estudio (15.6 vs 13.7 Mg ha^{-1} , respectivamente). La respuesta productiva a la aplicación foliar de Ti-Org fue positiva y significativa ($p = 0.02$); donde la dosis más baja de Ti-Org ($100 \text{ mL } 200 \text{ L}^{-1}$) no mostró diferencia con el testigo comercial (control), pero las dosis más altas (200 y $400 \text{ mL } 200 \text{ L}^{-1}$) resultaron en un incremento promedio de 23% (3.7 Mg ha^{-1}) con respecto al testigo (Fig. 5). Al parecer, el incremento de biomasa que resulta de la aplicación foliar de Ti-Org se debe a una mejor eficiencia fotosintética y a la mayor acumulación de nutrientes como el P, Fe, Mn y Zn en los frutos (Wojcik y Wojcik, 2001) y de N en los granos de las gramíneas (Ercoli *et al.*, 2008); algo similar pudo ocurrir en los frutos de aguacate de esta evaluación. De acuerdo a Lyu *et al.* (2017), las aplicaciones edáficas o foliares de Ti-Org estimulan la absorción de nutrientes por parte de la planta, en especial de sales solubles, lo que resulta en mayor acumulación de materia seca en la biomasa vegetal –lo que podría explicar los resultados de esta evaluación–; sin embargo, recalcan que

es necesario revisar los balances nutricionales de elementos como el Fe, porque sus excesos resultan en menor traslocación de Ti-Org a través del floema y por lo tanto en menor respuesta productiva a su aplicación. Para Tlustos et al. (2005), el balance nutricional es importante para lograr efectos positivos del Ti-Org, debido a que cuando el cultivo presenta deficiencias o excesos significativos de algún nutriente, los efectos del Ti-Org son casi imperceptibles. Lo último podría explicar, al menos en parte, el por qué la dosis de 400 mL 200 L⁻¹ de Ti-Org no generó mayor productividad que la dosis inferior de 200 mL 200 L⁻¹.

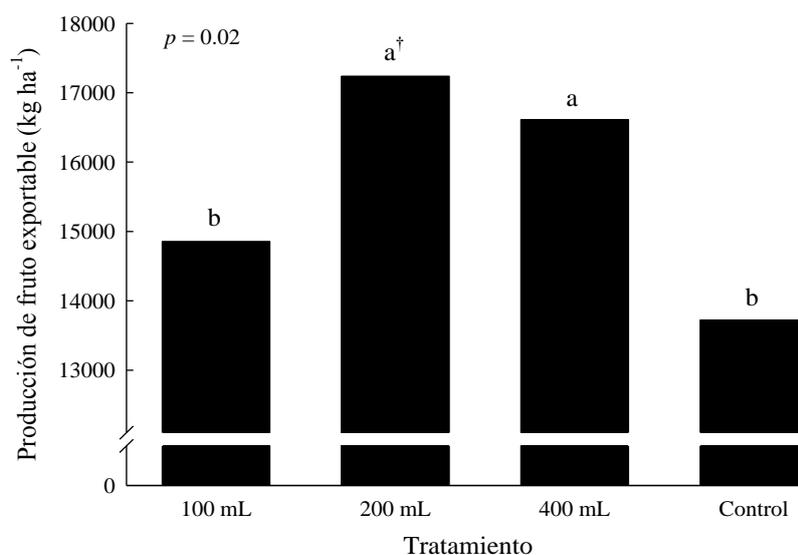


Fig. 5. Respuesta de la producción (kg ha⁻¹) de fruto exportable de aguacate a la aplicación de titanio orgánico. Pisquer, Mira, Carchi, Ecuador. Ago. de 2018. [†] Barras con letras diferentes indican diferencia estadística ($p \leq 0.10$).

4.3.2. Número de frutos por kg de peso

La aplicación de 200 y 400 mL 200 L⁻¹ de Ti-Org resultó en menor número de frutos exportables por kg de peso y de gaveta de exportación ($p = 0.02$) con respecto al testigo comercial (control); pero la aplicación de 100 mL 200 L⁻¹ no generó diferencias (Fig. 6). El tener menor número de frutos por unidad significa que se logró cosechar frutos con mayor peso, lo cual es positivo para el mercado agroexportador. Según Ercoli *et al.* (2008), en una evaluación en cártamo (*Carthamus tinctorius*), la aplicación de Si y Ti-Org mejoraron los componentes de crecimiento y productividad de la planta; y la acumulación de ácido palmítico, ácido araquídico y ácido mirístico en la semilla. Pais (1983) resumió evaluaciones de Ti-Org entre 1974 y 1983 en Hungría y encontró que más del 90% reportaron incrementos del peso del fruto (entre 10 y 20%) en cultivos como: primocane frambuesa (*Rubus idaeus* L.), melocotones (*Prunus persica* L.) y

nectarinas (*Prunus persica* L., Batsch, var. Nucipersica). Dumon y Ernst (1988) y Cigler *et al.* (2017) atribuyen el incremento en biomasa y producción de los cultivos a la biosíntesis de clorofila, incremento de la fotosíntesis, la actividad enzimática y la absorción de nutrientes con la aplicación de Ti-Org. Esto explica la disminución del número de frutos por kg y por gaveta de exportación en esta evaluación.

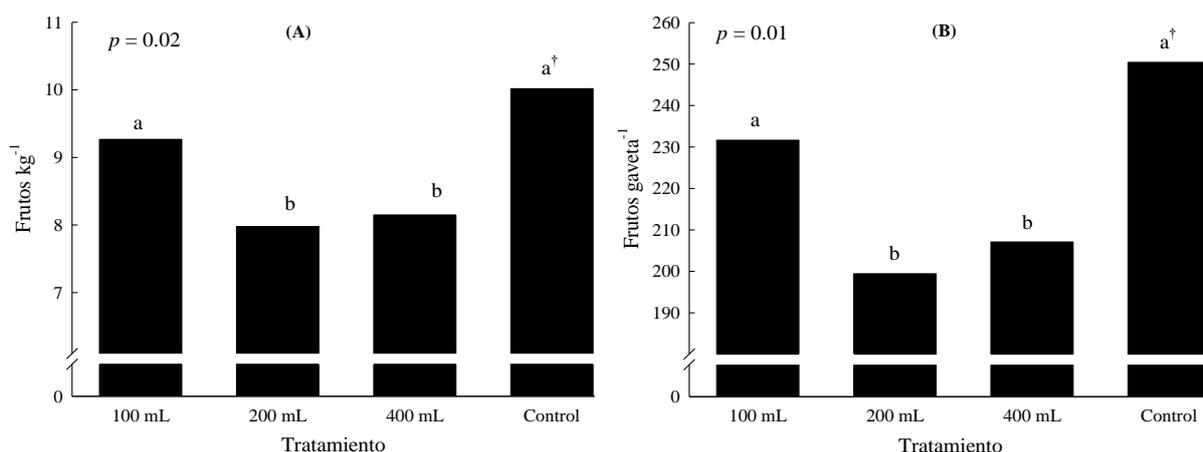


Fig. 6. Respuesta del número de frutos exportables por kg (A) y por gaveta (B) de aguacate, var. Hass, a la aplicación de titanio orgánico. Pisquer, Mira, Carchi, Ecuador. Ago. de 2018. † Barras con letras diferentes indican diferencia estadística ($p \leq 0.10$).

4.3.3. Calidad de fruto

Con relación a la calidad de fruto cosechado, la aplicación de 200 mL 200 L⁻¹ resultó en menor peso de semilla, pero mayor peso de pulpa y mejor sabor que los demás tratamientos ($p < 0.01$), sobre todo con respecto al testigo comercial (control) (Fig. 7). Carvajal *et al.* (1998) deducen que el aporte foliar de Ti-Org favorece la asimilabilidad de nutrientes y su utilización en el pericarpio, presentando una composición bioquímica favorecida en algunos metabolitos que se relacionan con la calidad de fruto. Según Serrano *et al.* (2004), las aspersiones de Ca, Mg y Ti-Org incrementan la firmeza, retardan el climaterio etilénico y permiten una mayor duración en postcosecha de frutos; con lo que hay menor pérdida de peso en pulpa, evolución del color y sabor, relación entre los sólidos solubles y la acidez titulable, y mayor firmeza de la pulpa en los melocotones y nectarinas. Esto confirma el efecto positivo de Ti-Org en la calidad de fruto maduro en postcosecha. Camarena (2007) menciona que la intensidad del sabor salado, cohesividad de textura en boca y liberación de humedad se incrementa de acuerdo con el tiempo de almacenamiento del fruto en fresco, siguiendo el método Spectrum utilizado con los 10

catadores empleados en esta evaluación y siguiendo una escala de 10 puntos (5 = apenas detectable, 7 = intensidad moderada y 10 = intensidad más alta).

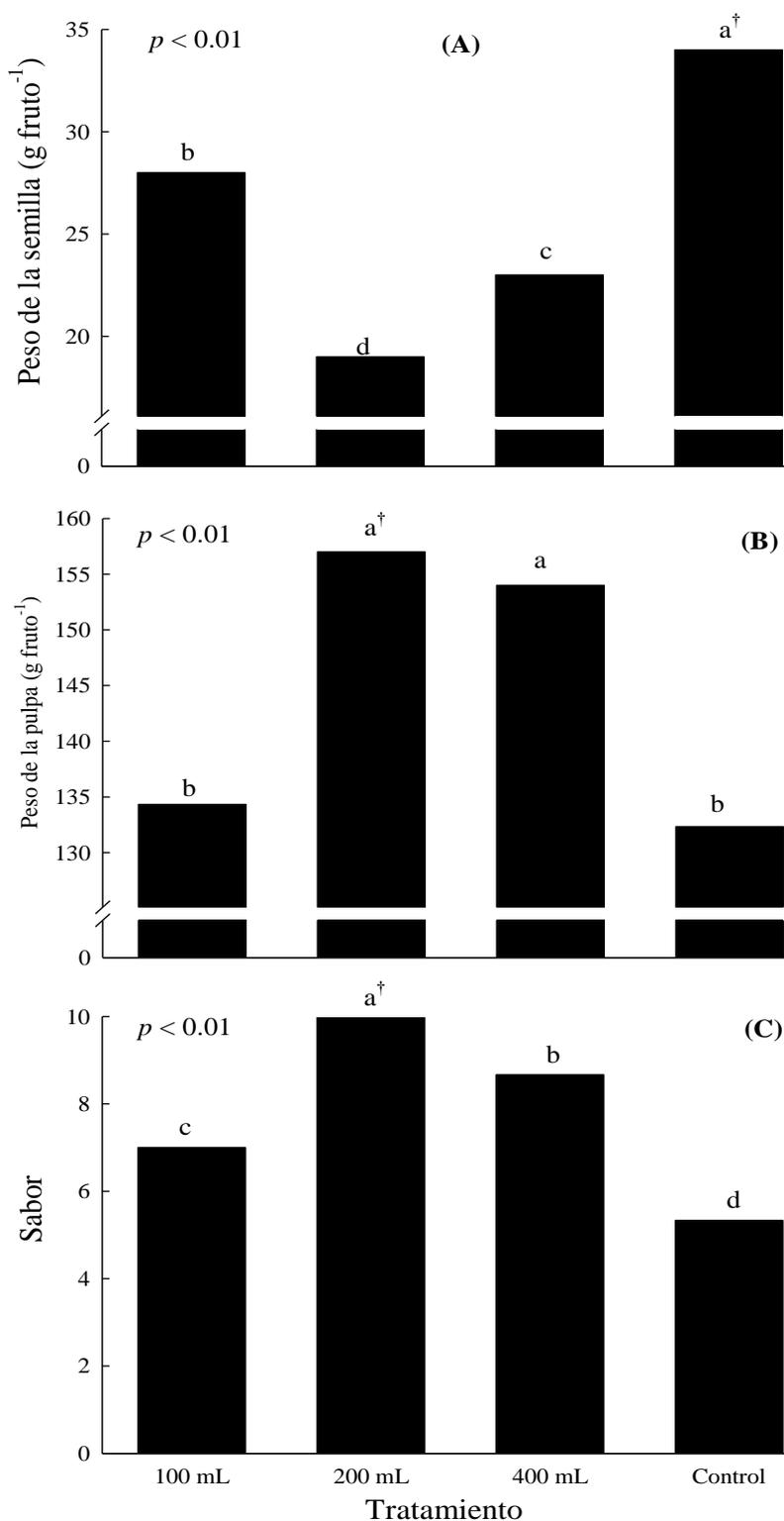


Fig. 7. Respuesta del peso de la semilla (A), de la pulpa (B) y valoración de sabor (C) de frutos maduros de aguacate, var. Hass, a la aplicación de titanio orgánico. Pisquer, Mira, Carchi, Ecuador. Ago. de 2018. † Barras con letras diferentes indican diferencia estadística ($p \leq 0.10$).

4.4. PESO DE PULPA VS. PRODUCCIÓN DE FRUTO EXPORTABLE

Aunque el factor de determinación es relativamente bajo ($r^2 = 0.58$), se encontró que, a mayor peso de la pulpa, la producción de fruto exportable se incrementa ($p < 0.01$) (Fig. 8). Kleiber y Markiewicz (2013) afirman que la aplicación de Ti-Org también hace que mejore la capacidad de las plantas para absorber N, P, Ca y Mg, y resulta en mayor de producción de tomate bajo invernadero. De igual manera, Moaveti *et al.* (2011) manifiestan que los tratamientos con Ti-Org incrementaron la productividad de la cebada (*Hordeum vulgare* L.). Akdi (2017) indica que la aplicación de Ti-Org resulta en mayor producción, transporte y acumulación de carbohidratos solubles (ej.: sacarosa) y de reserva (ej.: almidón) en las estructuras de consumo activo (frutos, raíces, tubérculos). Esto puede justificar la relación positiva que se presentó en esta evaluación entre el peso de pulpa y la productividad de frutos.

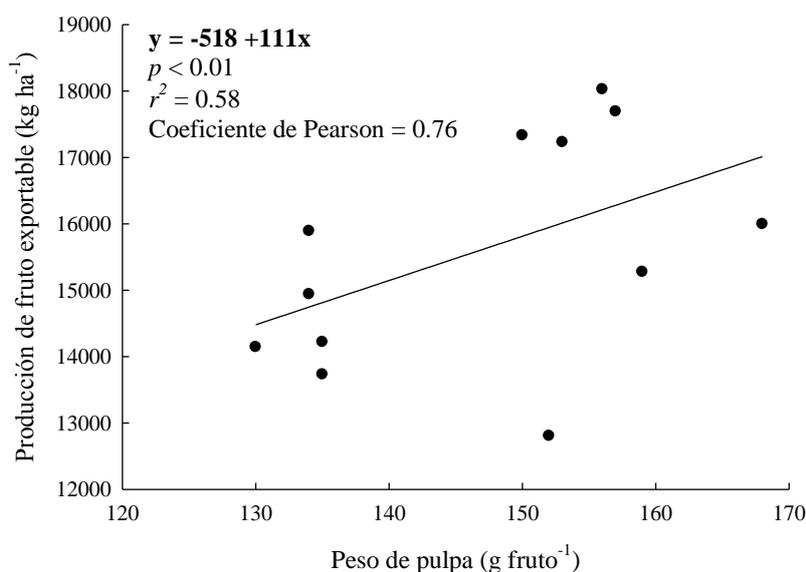


Fig. 8. Correlación entre el peso interno de la pulpa y la producción de fruto de aguacate exportable, var. Hass. Pisquer, Mira, Carchi, Ecuador. Ago. de 2018.

4.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Aunque el precio de exportación es variable en función de la demanda de cada mercado, para este análisis se utilizó el precio de exportación referencial de Colombia para aguacate, var. Hass, de US\$ 1.90 kg⁻¹ y el costo de mantenimiento promedio base de la finca de USD\$ 3250 ha⁻¹ año⁻¹, tomando en cuenta que se trata de un cultivo adulto ya establecido. La mejor relación beneficio costo⁻¹ con respecto a la aplicación de Ti-Org se presentó con la dosis de 200 mL 200 L⁻¹, dónde por cada US\$ 1.00 invertido el agricultor obtiene US\$ 3.03 de retorno, es decir US\$

2.03 de ganancia, lo que equivale a una utilidad neta de US\$ 7120 ha⁻¹. (Tabla 5). Esto equivale a US\$ 0.43 adicionales en comparación con la no aplicación de Ti-Org, donde el agricultor obtiene US\$ 2.60 por US\$ 1.00 invertido. Los resultados indican que la aplicación de Ti-Org incrementa la producción y calidad de fruto, y que dicho incremento paga con creces el costo de aplicación. Esto es positivo para la economía del agricultor y para la cadena de comercialización del aguacate, var. Hass.

Según Pilapaña-Juiña y Rovayo (2003), indica que los costos de establecimiento (donde se incluye la preparación del terreno, sistemas de riego y plántulas) y mantenimiento (donde se incluyen fertilización, control fitosanitario y manejo agronómico del cultivo) por ha de un sistema productivo de aguacate por 20 años ascienden a US\$189000, de los cuales US\$ 63000 son costos fijos y US\$ 126000 son variables. Cabe indicar que el costo de establecimiento de la plantación y su mantenimiento por los primeros tres años son los más altos del sistema. Una vez establecido el cultivo y a partir del inicio de cosechas (por lo general al cuarto año), los costos disminuyen y el agricultor empieza a recuperar su inversión. Cuando el cultivo llega a su etapa adulta de producción, el mayor costo del sistema lo representa la mano de obra, en especial durante la cosecha.

Tabla 5. Evaluación de la rentabilidad de la aplicación foliar de titanio orgánico en la producción de aguacate, var. Hass. Pisquer, Mira, Carchi, Ecuador. Sept. de 2018.

Tratamiento (dosis)	Productividad	Costo de producción	Ingreso bruto	Utilidad neta	Beneficio costo ⁻¹
mL 200 L ⁻¹	kg ha ⁻¹	----- US\$ ha ⁻¹ -----			
0	13720	3250	8450	5200	2.60
100	14850	3440	9170	5730	2.67
200	17240	3510	10630	7120	3.03
400	16610	3660	10250	6590	2.80

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ✓ La aplicación de Ti-Org resultó en mejoras productivas de aguacate, var. Hass.
- ✓ El incremento de producción del tratamiento de 200 mL 200 L⁻¹ fue de 0.6 Mg ha⁻¹ (4%) con respecto al promedio nacional y de 1.9 Mg ha⁻¹ (14%) con respecto al promedio de finca (control). Aunque se desconoce el mecanismo metabólico exacto del Ti-Org dentro de la planta, se estima que hay mayor eficiencia fotosintética y asimilación de nutrientes que se reflejan en una mayor productividad.
- ✓ En el fruto hay mayor acumulación de pulpa y un mejor sabor como respuesta a la aplicación de Ti-Org. Esto resulta en menor cantidad de frutos por kg o por gaveta de exportación, lo que es positivo para el agricultor y la cadena de comercialización.
- ✓ En términos económicos, la aplicación de 200 mL 200 L⁻¹ de Ti-Org resulta en una relación beneficio costo⁻¹ de 3.03 por US\$ 1.00 invertido, que es US\$ 0.43 más alto que el control, y que representa una utilidad neta de US\$ 7120 ha⁻¹ en un cultivo ya establecido. Esto es positivo porque mejora la economía del productor y lo hace más competitivo en el mercado internacional.

5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar un análisis de suelo y foliar antes de aplicar Ti-Org para determinar las condiciones nutricionales del cultivo y en lo posible corregir de manera balanceada las carencias. Esto resulta en mejores respuestas a la aplicación de Ti-Org.
- ✓ Fraccionar la aplicación de Ti-Org, de preferencia desde el inicio de floración hasta la formación del fruto. Esto resulta en una mayor efectividad del producto.
- ✓ Debido a que el Ti-Org genera mayor productividad, es importante que la fertilización (en especial de K, Ca y Mg) se ajuste a ese incremento para asegurar un buen peso y calidad de pulpa. Además, al ser el aguacate 70% agua, es recomendable revisar que la aplicación de la lámina de riego sea la correcta.
- ✓ No generalizar los resultados de esta evaluación. Es necesario repetir este tipo de trabajos bajo otras condiciones de suelo y clima (ej.: en Patate), donde el cultivo tiene diferentes respuestas productivas.

BIBLIOGRAFÍA

- Akdi, K. 2017. Citomastic® y Drymat® piensan en Ti: Poco y bueno te hacen grande (en línea). Disponible en: <https://www.trichodex.com/citomastic-drymat-piensan-ti-poco-bueno-te-hacen-grande/>. (Consultado el 11 de Abr. de 2018). Sevilla, España. 6 p.
- Alfonso-Bartoli, J.A. 2008. Manual técnico del cultivo de aguacate Hass (*Persea americana* Mill). Programa de Entrenamiento y Desarrollo de Agricultores – EDA. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola – FHIA. La Lima, Cortés, Honduras, C.A. 49 p.
- Altuna, J. 2018. Situación actual del aguacate en el Ecuador. Primer Simposio Internacional del Aguacate. Feb. 23. GLOBALFORUM y CORPOAGUACATE. Ibarra, Ecuador. 40 p.
- Amórtegui, I., E. Capera-Duacuara, y J.V. Godoy-Acosta. 2001. El cultivo del aguacate: Módulo educativo para el desarrollo tecnológico de la comunidad rural. Corporación para la Promoción del Desarrollo Rural y Agroindustrial del Tolima – PROHACIENDO. El POIRA Editores e Impresores S.A. Ibagué, Colombia. 49 p.
- Angulo, S. 2018. El aguacate: La fiebre mundial que contagia a Ecuador. Diario El Expreso (en línea). Disponible en: <https://www.expreso.ec/actualidad/agricultura-aguacate-ecuador-siembra-exportaciones-AJ2218882> (Consultado el 17 de Ene. de 2019). Quito, Ecuador.
- Asociación Nacional del Café Guatemala – ANACAFÉ. 2017. Cultivo de aguacate (en línea). Disponible en: https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Cultivo_de_aguacate (Consultado el 14 de Mar. de 2018). Guatemala, Guatemala, C.A.
- Astudillo-Galdames, J.O. 1995. Variación estacional en el porcentaje de aceite, humedad, aceptabilidad y calidad en frutos de palto (*Persea americana* Mill) cvs. Fuerte y Zutano. Ensayo Divulgativo. Santiago, Chile. 68 p.
- Banco Central del Ecuador – BCE. 2015. Importaciones y exportaciones de aguacate (en línea). Disponible en: <https://www.bce.fin.ec/index.php/c-externo> (Consultado el 21 de Mar. de 2018). Quito, Ecuador.
- Bernal, J.A., y C.A. Díaz. 2008. Generalidades del cultivo. pp. 11–83. *En: Tecnología para el cultivo del aguacate; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA, Centro de Investigación la Selva (eds.). Manual Técnico Nro. 5. Editorial PRODUMEDIOS. Bogotá, Colombia.*
- Camarena, E.A. 2007. Caracterización sensorial y fisicoquímica de la pulpa de aguacate variedad Hass. Inst. Tecnológico de Celaya. Celaya, México. 27 p.
- Carvajal, M., y C.F. Alcaraz. 1992. Por qué el titanio es un elemento beneficioso para las plantas. *J. of Plant Nutrition*. 21(4):655–664.
- Cerdas, M.M., M. Montero-Calderón, y E. Díaz-Cordero. 2006. Manual de manejo de pre y postcosecha de aguacate (*Persea americana*). Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria de Costa Rica. Sistema Unificado de Información Institucional. Ministerio de Agricultura, Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica – UCR y Consejo Nacional de Producción. San José, C.R. 100 p.
- Chang-Gómez, J.V. s.f. Calidad de agua. Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar. Escuela Superior Politécnica del Litoral – ESPOL. Versión 1. Guayaquil, Ecuador. 72 p.

- Cigler, P., J. Olejnickova, M. Hruby, L. Csefalvay, J. Peterka, and S. Kuzel. 2017. Interacciones entre el hierro y el metabolismo del titanio en espinacas: Un estudio de fluorescencia con clorofila en hidroponía. *J. Plant Physiol.* 8(15):1592–1597.
- Ciurana, J. 2008. Ecología para el cultivo de aguacate variedad Hass en países tropicales. pp. 5–10. *En: J. Tola (ed.). Primer Seminario Taller Internacional de Aguacate Hass.* 5-7 Jun. Inst. Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP. Ibarra, Ecuador. 10 p.
- Corporación de Productores y Exportadores Hass de Colombia – CORPOHASS. 2018. Detalles de la producción y exportación del aguacate colombiano (en línea). Disponible en: <https://www.corpohass.com/estudioseinformes> (Consultado el 18 de Ene. de 2019). Bogotá, Colombia.
- Dumon, J.C., and W.H.O. Ernst. 1998. Titanium in plants. *J. of Plant Physiol.* 133(2):203–209.
- El Telégrafo. 2012. Ecuador: El aguacate Hass con un gran potencial de exportación. *Rev. El Productor* (en línea). Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/informacion/1/el-aguacate-hass-con-un-gran-potencial-de-exportacion> (Consultado el 16 de Ene. de 2019). Quito, Ecuador.
- Ercoli, L., M. Mariotti, L. Niccolat, A. Masoni, and B. Arduini. 2008. The use of titanium as a fertilizer alternative for maize production. XXV Convegno Nazionale della Società Italiana di Chimica Agraria – SICA. *Agrochimica.* LII-2. Pisa, IT.
- Geilmann, A. 1920. The occurrence of titanium in soil and plants. *Zeitschrift für Landwirtschaft.* Czech University of Agriculture. Praga, Czech Republic. 3:19–25.
- Giacinti, M. 2002. Visión mundial del consumo de aguacate o palta agroalimentaria. Río Negro, Argentina. *Rev. Agroalimentaria.* 14:44–50.
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Mira, Carchi – GAD. 2017. Parroquias del Cantón (en línea). Disponible en: http://www.mira.gob.ec/index.php?option=com_k2&view=itemlist&layout=category&task=category&id=29&Itemid=260 (Consultado el 14 de Mar. de 2018). Mira, Ecuador.
- Haghighi, M., and B. Daneshmand. 2018. Beneficial effect of titanium on plant growth, photosynthesis and nutrient trait of tomato cv. Foria. Dept. of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology and Shiraz University. Iran. *Iran Agricultural Research – IAR.* 37(1):83–88.
- Herrera-Maldonado, C.A., y J.K. Prado-Beltrán (asesor). 2017. Estudio de la producción y comercialización del aguacate, variedades Fuerte y Hass, en la provincia de Imbabura. Tesis de Ingeniería en Agronegocios, Avalúos y Catastros. Publicación Nro. 03-AGN-022. Universidad Técnica del Norte – UTN. Ibarra, Ecuador. 150 p.
- Hinsinger, P., and B. Jailard. 1993. Root-induced release of interlayer potassium and vermiculitization of phlogopite as related to potassium depletion in the rhizosphere of ryegrass. *J. Soil Sci.* 44:525–534.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – INCOTEC. 2018. Frutas Frescas: Aguacate var. Hass. Especificación END. Normativa Disponible 094. Bogotá, Colombia. 31 p.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos – INEC. 2017. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua – ESPAC. Dirección de Estadísticas Agropecuarias y Ambientales. Quito, Ecuador. 29 p.

- INTAGRI. 2017. Manejo de la floración en aguacate. Curso Internacional del Aguacate. Series Frutales Nro. 42. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 6 p.
- Ipiiales-Acosta, F.J., C.R. Guamán-Calderón, y C.A. Jaramillo-Suárez (asesor). 2011. Inventario de áreas potenciales para forestación de la microcuenca del Río Blanco de los cantones Mira y Espejo. Tesis de Ingeniería Forestal. Publicación Nro. 20-Jan-2011. Universidad Técnica del Norte – UTN. Ibarra, Ecuador. 123 p.
- Jaramillo-Robles, V. 2011. Aguacate Hass con gran potencial exportador. pp. 30–33. *En: Rev. Informativa. Publicación 08-2011. 4^{ta} Ed. Inst. Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP. Quito, Ecuador. 40 p.*
- Kader, A.A. s.f. Postharvest biology and technology: An overview. *In: Postharvest Technology of Horticultural Crops. Publication 3311. Department of Agriculture and Natural Resources. University of California. California, U.S.A. 9 p.*
- Kleiber, T., y B. Markiewicz. 2013. Application of Tytanit in greenhouse tomato growing. Dept. of Life Sciences. Poznań University. Poznań, Polonia. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus. 12(3):117–126.*
- León, J. 1999. Manual de cultivo de aguacate. Inst. Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP. Quito, Ecuador. 9 p.
- Lyu, S., X. Wei, J. Chen, C. Wang, X. Wang, and D. Pan. 2017. Titanium as a beneficial element for crop production. *Frontiers in Plant Sci. DOI: 10.3389/fpls.2017.00597.*
- Macas, G., B. Britos-Grandes, W. Vásquez, y A. Guananga. 2012. Estudio de las características de calidad pre y postcosecha en dos variedades de aguacate (*Persea americana* Mill) provenientes de dos localidades de la provincia de Pichincha. Programa Fruticultura – Granja Tumbaco. Proyecto del Inst. Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP. Est. Exp. Santa Catalina. Depto. de Nutrición y Calidad. Quito, Ecuador. 20 p.
- Moaveni, P., A. Talebi, A. Farahani, y K. Maroufi. 2011. Estudio de la pulverización de nanopartículas de TiO₂ en algunos componentes de rendimiento en cebada (*Hordeum vulgare* L.). 2nd International Conference on Agricultural and Animal Science. Islamic Azad University. IPCBEE vol.22. Tehran, Irán. 163 p.
- Pais I. 1983. The biological importance of titanium. *J. of Plant Nutrition. 6:3–131.*
- Pantoja, J.L. 2018. Fertilización y nutrición del aguacate: Lo que nos falta por hacer. Primer Simposio Internacional del Aguacate. Feb. 23. GLOBALFORUM y CORPOAGUACATE. Ibarra, Ecuador. 88 p.
- Pantoja, J.L. 2014. Curvas de respuesta de los cultivos para determinar la dosis óptima de fertilización. Décimo Cuarto Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo: El suelo y la matriz productiva. Univ. Luis Vargas Torres. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. 5-7 Nov. Esmeraldas, Ecuador. 8 p.
- Pilapaña-Juiña, G.S., y J. Rovayo (asesor). 2013. Rentabilidad de aguacate, durazno, mora y tomate de árbol en Carchi, Imbabura y Tungurahua. Tesis de Ingeniería Agronómica. Publicación Nro. T-UCE-0004-47. Universidad Central del Ecuador – UCE. Quito, Pichincha, Ecuador. 237 p.
- Pillajo-Alvarado, C.L., y J. León-Fuentes (asesor). 2013. Estandarización de una metodología de multiplicación clonal de porta injertos de aguacate (*Persea americana* Miller). Tesis de Ingeniería Agronómica. Publicación Nro. T-UCE-0004-20. Universidad Central del Ecuador – UCE. Quito, Pichincha, Ecuador. 114 p.

- Rodríguez, J.S., y J.A. Rodríguez. 1993. La fertilización de los cultivos. Un método racional. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 291 p.
- SAS Institute. 2009. SAS System for Windows Release 9.3.1. SAS Inst., Cary, NC.
- Serrano, M., D. Martínez-Romero, S. Castillo, F. Guillén, and D. Valero. 2004. Effect of preharvest sprays containing calcium, magnesium and titanium on the quality of peaches and nectarines at harvest and during postharvest storage. *J. of the Science of Food and Agri.* 84(11):1270–1276.
- Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario – SIPSA. 2017. Comportamiento de precios: Boletín semanal SIPSA del 9 al 15 de Sept. Ministerio de Agricultura. Bogotá, Colombia. 76 p.
- Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca – SINAGAP. 2012. Precios por consumo. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca – MAGAP. Quito, Ecuador. 23 p.
- Soil Science Society of America – SSSA. 1990. Soil testing and plant analysis. *In:* R.L. Westermann (ed.), SSSA Book Series 3. 3rd Ed. Madison, Wisconsin. 784 p.
- Teliz, D. 2007. El aguacate y su manejo integrado. 2^{da} Ed. Editorial Mundi Prensa. México. 321 p.
- Tlistos, P., P. Cígler, M. Hrubý, S. Kuzel, J. Szakova, and J. Balik. 2005. The role of titanium in biomass production and its influence on essential elements' contents in field grow crops. *Plant Soil Environ. J.* 51(1):19–25.
- Traetta-Mosca, F. 1913. Titanium and the rare metals in the ash of the leaves of Kentucky tobacco cultivated in Italy. *Gazzetta Chimica Italiana*, 43:437–440.
- Vásquez, W., P. Viteri, J. León, A. Martínez, y W. Viera. 2008. Situación del cultivo de aguacate en Ecuador. pp. 1–4. *In:* J. Tola (ed.). Primer Seminario Taller Internacional de Aguacate Hass. 5-7 Jun. Inst. Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP. Ibarra, Ecuador.
- Viera, A., A. Sotomayor, y W. Viera. 2016a. Potencial del cultivo de aguacate como alternativa de comercialización en el mercado local e internacional. *Rev. Científica y Tecnológica de la Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador – UPSE.* Quito, Ecuador. 3(3):1–9.
- Viera, W., L. Ponce, E. Morillo, and W. Vásquez. 2016b. Genetic variability of avocado Germplasm for plant breeding. *International. Int. J. of Clinical and Biol. Sci.* 1(1):24–33.
- Volke-Haller, V., J.D. Etchevers, A.S. Ramírez, y T. Silva-Palomino. 1998. Modelo de balance nutrimental para la generación de recomendaciones de fertilización para cultivos. Universidad Autónoma del Estado de México. Chapingo, México. 14 p.
- Whitted-Haag, B., D.E. Kopsell, D.A. Kopsell, and R.L. Rhykerd. 2014. Foliar silicon and titanium applications influence growth and quality characteristics of annual bedding plants. *The Open Hort. J.* 7:6–15.
- Wojcik, P., and M. Wojcik. 2001. Growth and nutrition of M.26 EMLA apple rootstock as influenced by titanium fertilization. *J. of Plant Nutrition.* 24(10):1575–1588.

Anexo 2. Esquema del diseño experimental y la distribución de tratamientos. Cada parcela (unidad experimental) tuvo nueve plantas.

Repetición 1	T0 Testigo	T1 100 mL	T2 200	T3 400 mL
Repetición 2	T1	T3	T0	T2
Repetición 3	T2	T0	T3	T1

Anexo 3. Presupuesto de la evaluación.

A) Recursos humanos.

Actividad	Unidad	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
Gasolina	galón	40	2	80
Alimentación	unidad	8	5	40
Jornales de aplicación	unidad	3	20	60
SUB-TOTAL				180

B) Materiales de tipo técnico.

Material	Unidad	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
Muestras de aplicación	L	5	40	200
Coadyuvantes	L	15	2	30
Balanza electrónica	L	1	20	20
Calibrador pie de rey	L	1	10	10
Pruebas de laboratorio (Análisis de suelo)	muestra	1	50	54
Pruebas de laboratorio (Análisis foliar)	muestra	1	70	72
SUB-TOTAL				386

C) Materiales de tipo administrativo.

Material	Unidad	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
Papelería	US\$	1	50	50
Impresiones	US\$	1	100	100
Internet	US\$	1	50	50
Empastado	US\$	3	15	45
SUB-TOTAL				245

Inversión total: US\$ 811

Anexo 4. Tipo de gastos y porcentaje de inversión de la evaluación.

Gasto	Inversión (%)
Muestras de productos	10 %
Gastos de movilización	10 %
Pruebas de laboratorio	40 %
Mano de obra en finca	20 %
Información técnica y científica	5 %
Papelería	5 %
Impresiones	5 %
Publicaciones	5 %
TOTAL	100 %