



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD CIENCIAS AGRÍCOLAS

CARRERA INGENIERÍA AGRONÓMICA

Evaluación de la respuesta del cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) a la aplicación de dos niveles de nitrógeno y potasio por fertirrigación

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo

AUTOR: Morales Galeas Carlos Eduardo

TUTOR: Ing. Agr. Randon Stalin Ortíz Calle, M.Sc.

COTUTORA: Ing. Agr. Laura Viviana Vásquez Rojas, M.Sc.

Quito, 2020

DERECHOS DE AUTOR

Yo, **CARLOS EDUARDO MORALES GALEAS**, en calidad de autor y titular del trabajo de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: **EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL CULTIVO DE AGUACATE (*Persea americana* Mill.) A LA APLICACIÓN DE DOS NIVELES DE NITRÓGENO Y POTASIO POR FERTIRRIGACIÓN**, modalidad presencial, de conformidad con el Art. 144 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedo a favor de la Universidad Central del Ecuador una licencia gratuita, intransferible y exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Central del Ecuador para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Carlos Eduardo Morales Galeas.

C.I.: 0923656961

email: edumorales1495@gmail.com

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, presentado por el señor **CARLOS EDUARDO MORALES GALEAS**, para optar por el Grado de Ingeniero Agrónomo, cuyo título es: **EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL CULTIVO DE AGUACATE (*Persea americana* Mill.) A LA APLICACIÓN DE DOS NIVELES DE NITRÓGENO Y POTASIO POR FERTIRRIGACIÓN**.

Considero que dicho trabajo reúne los requisitos y los méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

En la ciudad de Quito, a los 27 días de noviembre del 2019.

Ing. Agr. Randon Stalin Ortiz Calle, M.Sc.

DOCENTE - TUTOR

C.I.: 1102697396

EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL CULTIVO DE AGUACATE (*Persea americana* Mill). A LA APLICACIÓN DE DOS NIVELES DE NITRÓGENO Y POTASIO POR FERTIRRIGACIÓN

APROBADO POR:

Ing. Agr. Randon Ortiz C, M.Sc.

TUTOR

Ing. Agr. Laura Vásquez R, M.Sc.

COTUTORA

Ing. Agr. José Espinosa M, Ph.D.

TRIBUNAL LECTOR - EVALUADOR

Ing. Agr. Jorge Caicedo Ch, M.Sc.

TRIBUNAL LECTOR - EVALUADOR

2020

DEDICATORIA

A mis amados padres Berta y Eduardo, los cuales me han dado todo su apoyo y valerosos consejos, siendo mi guía e inspiración para superar todos obstáculos y adversidades que se me han presentado, por todo el esfuerzo que han realizado para que sea mejor cada día y pueda cumplir mis metas.

A mis hermanos Génesis y Sebastian, por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

A mi amiga Dulce María por ser la compañera más especial y única que pude tener, la cual es y será mi ángel en la tierra y que ahora lo es en el cielo (†).

Carlos Eduardo

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la vida y las fuerzas para poder realizar todas mis metas, por bendecirme con una excelente familia a la que amo y con la que siempre puedo contar.

A los profesores de la Facultad de Ciencias Agrícola de la Universidad Central del Ecuador, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, al maestro Randon Ortiz, tutor de nuestro proyecto de investigación quien ha guiado con su paciencia y su rectitud como docente por su valioso aporte para nuestra investigación.

A la Ing. Laura Vázquez, por brindarnos su confianza y guía durante los últimos momentos de la carrera universitaria, ayudándome con sugerencias y los conocimientos para desarrollar con éxito la investigación.

Al Dr. Yamil Cartagena, por brindarme su valioso tiempo y colaboración, conocimientos y consejos antes, durante y después de la ejecución del proyecto.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Departamento de Fruticultura, Granja Experimental Tumbaco, por el financiamiento y a todos sus técnicos; Ingenieros William Viera, Pablo Viteri y Milton Hinojosa; por la ayuda y la capacitación durante la realización de la investigación. También al Ing. Pablo Gaona responsable del proyecto FONTAGRO - CORPOICA, por todo su apoyo y guía.

A mis amigas Wendy y Erika por su amistad brindada desde mi primer día en la universidad.

A mis valiosos y queridos amigos, por su amistad y buenos momentos que compartimos en el transcurso de la carrera.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULOS	PÁGINA.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Cultivo de aguacate.....	2
2.1.1. Producción del cultivo	2
2.1.2. Taxonomía.....	2
2.1.3. Descripción botánica.....	3
2.1.4. Razas	5
2.1.5. Variedades.....	5
2.1.6. Suelo	6
2.1.7. Fertilización.....	6
2.1.8. Manejo agronómico del cultivo	7
2.2. Nutrientes	7
2.2.1. Nitrógeno.....	8
2.2.2. Potasio.....	10
2.3. Índice de verdor	12
2.4. Área Foliar.....	13
2.5. Riego	13
2.5.1. Riego por goteo	13
2.6. Fertirrigación	15
2.7. Solubilidad de los fertilizantes.....	15
2.8. Compatibilidad de los fertilizantes	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. Ubicación.....	18
3.1.1. Características agroclimáticas	18
3.2. Materiales	18
3.2.1. Material vegetal	18
3.2.2. Fertilizantes químicos	18
3.2.3. Equipos.....	18
3.2.4. Material de campo	19
3.3. Métodos.....	19
3.3.1. Factores en estudio	19
3.3.2. Tratamientos.....	19
3.3.3. Dosis de fertilizantes.....	19

CAPÍTULOS	PÁGINA.
3.3.4. Unidad experimental.....	20
3.4.1. Análisis estadístico	20
3.4.2. Análisis funcional	21
3.5.1. Altura de planta	21
3.5.2. Diámetro de tallo	21
3.5.3. Índice de verdor	21
3.5.4. Área foliar	21
3.5.5. Concentración de nutrientes	21
3.6.1. Preparación de la solución nutritiva	22
3.6.2. Análisis de fertilidad del suelo	22
3.6.3. Trasplante.....	22
3.6.4. Fertilización inorgánica.....	22
3.6.5. Tutorio	22
3.6.6. Control de plagas y enfermedades.....	23
3.6.7. Control de malezas	23
3.6.8. Poda de mantenimiento o sanitaria	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1. Pruebas de normalidad y varianzas constantes.....	24
4.2. Altura de planta.....	24
4.3. Diámetro de tallo.....	25
4.4. Índice de verdor	26
4.5. Área foliar.....	27
4.6. Relación índice de verdor y área foliar	28
4.6.1. Nitrógeno y Potasio	28
4.7. Concentración de nutrientes	30
4.7.1. Nitrógeno.....	30
4.7.2. Potasio.....	30
5. CONCLUSIONES	32
6. RECOMENDACIONES	33
7. RESUMEN	34
8. REFERENCIAS	35
9. ANEXOS	42

LISTA DE TABLAS

TABLAS	PÁG.
1. Clasificación taxonómica del aguacate.	3
2. Tipos de flor en el aguacate.	4
3. Razas de aguacate.....	5
4. Recomendación de fertilización.	6
5. Solubilidad de los diferentes fertilizantes.	16
6. Compatibilidad de los fertilizantes.	17
7. Concentración de los fertilizantes químicos.	18
8. Diferentes niveles de nitrógeno y potasio.....	19
9. Tratamientos en estudio.....	19
10. Dosificación de fertilizantes en la fertirrigación del cultivo de aguacate.....	20
11. Esquema del Análisis de la varianza.	20
12. Análisis de la varianza para la altura de planta.	24
13. Análisis de la varianza para el diámetro de tallo del porta injerto.	25
14. Análisis de la varianza para el diámetro de tallo del injerto.	25
15. Análisis de la varianza para el índice de verdor.....	26
16. Prueba de DMS al 5 % y promedios para la variable índice de verdor.....	26
17. Análisis de la varianza para el área foliar.	27
18. Prueba de DMS al 5 % y promedios para el área foliar.	28
19. Análisis de la varianza en la concentración de nitrógeno foliar.....	30
20. Análisis de la varianza de la concentración de potasio foliar.	31
21. Prueba de DMS al 5 % para la concentración de potasio.	31
22. Prueba de DMS al 5 % para la concentración de potasio.	31

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	PÁG.
1. Ciclo de nitrógeno dentro de un ecosistema agrícola en el sistema atmósfera, suelo y planta.....	9
2. Ciclo del potasio en el suelo.	11
3. Relación entre el índice de verdor y el área foliar para potasio.	29
4. Relación entre el índice de verdor y el área foliar para nitrógeno.	29

LISTA DE ANEXOS

ANEXOS	PÁG.
1. Croquis del Experimento.	42
2. Fotografías de la investigación, Tumbaco, Pichincha. 2019.	43
3. Fotografías de la investigación, Tumbaco, Pichincha. 2019.	44
4. Fotografías de la investigación, Tumbaco, Pichincha. 2019.	45
5. Resultados de textura del suelo a tres profundidades 10, 20, 30 cm.	46
6. Análisis físico del suelo.	47
7. Análisis físico del suelo.	48
8. Pruebas de normalidad y varianzas constantes, para altura de planta.	49
9. Pruebas de normalidad y varianzas constantes, para diámetro de tallo.	49
10. Pruebas de normalidad y varianzas constantes, para índice de verdor.	50
11. Pruebas de normalidad y varianzas constantes, para área foliar.	50
12. Pruebas de normalidad y varianzas constantes, para concentración de nutrientes.	50
13. Altura de planta.	51
14. Diámetro del porta injerto.	52
15. Diámetro del injerto.	52
16. Área foliar.	53
17. Índice de verdor.	53
18. Concentración de nutrientes a los 200 días después del trasplante.	54
19. Concentración de nutrientes a los 280 días después del trasplante.	55
20. Cálculo de la Humedad gravimétrica (% Θ_g)	56
21. Humedad del suelo a tres profundidades 10, 20, 30 cm.	56
22. Datos de humedad gravimétrica del suelo a tres diferentes profundidades en la presente investigación.	56
23. Lámina de riego neta inicial (L_{ni}).	57
24. Láminas de riego a tres diferentes profundidades experimento aguacate.	57
25. Cálculo de la lámina de riego bruta inicial y tiempo de riego.	57
26. Balance hídrico en aguacate.	60

ABREVIATURAS

ADEVA	Análisis de la varianza.
AF	Área Foliar (cm ²).
ATP	Adenosín Trifosfato.
CC	Capacidad de Campo.
CV	Coeficiente de variación.
DCA	Diseño completamente al azar.
ddt	Días después del trasplante.
EESC	Estación Experimental Santa Catalina.
ESPAC	Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua.
ETc	Evapotranspiración real del cultivo (mm día ⁻¹).
ETo	Evapotranspiración potencial (mm día ⁻¹).
Eo	Evaporación (mm día ⁻¹).
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
FONTAGRO	Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria.
HS	Humedad en el suelo.
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
IV	Índice de verdor (SPAD).
Kc	Coeficiente del cultivo.
ns	No significativo.
P	Precipitación (mm día ⁻¹).
Pe	Precipitación efectiva (mm día ⁻¹).
PMP	Punto de marchitez permanente.
ppm	Partes por millón.
Pw	Contenido de Agua (Pw por sus siglas en inglés en mm día ⁻¹).

SPAD	Análisis del desarrollo de suelo-planta (SPAD por sus siglas en inglés).
SICA	Servicio de Información de Censo Agropecuario.

TIITULO: Evaluación de la respuesta del cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) a la aplicación de dos niveles de nitrógeno y potasio por fertirrigación.

Autor: Carlos Eduardo Morales Galeas.

Tutor: Randon Stalin Ortiz Calle.

Cotutor: Laura Vásquez Rojas.

RESUMEN

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es uno de los frutales de mayor importancia en el Ecuador. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la respuesta del cultivo de aguacate a la aplicación de dos niveles de nitrógeno y dos de potasio aplicados a través del fertirriego, para el efecto, se implementó un diseño completamente al azar, en arreglo factorial 2 x 2, con 4 tratamientos. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, diámetro del tallo, índice de verdor, área foliar y concentración de nitrógeno y potasio foliar. Los resultados principales de los efectos de las dosis aplicadas sobre las variables altura y diámetro de planta no fueron significativas a diferencias del índice de verdor, área foliar y concentración de nutrientes. La conclusión principal muestra que los tratamientos con altas dosis de nitrógeno y de potasio tuvieron significancia positiva en el área foliar e índice de verdor.

PALABRAS CLAVE: ECUADOR / TUMBACO / CULTIVO DE AGUACATE / FERTIRRIGACIÓN / RIEGO POR GOTEIO.

TITLE: Evaluation of avocado culture response (*Persea americana* Mill.) to the application of two levels of nitrogen and potassium through fertigation.

Author: Carlos Eduardo Morales Galeas.

Tutor: Randon Stalin Ortiz Calle.

Cotutor: Laura Vásquez Rojas.

ABSTRACT

The Avocado crop (*Persea americana* Mill.) is one of the most important fruit trees in Ecuador. The aim of this research was to evaluate the response of the crop to the application of two nitrogen and two potassium levels applied through fertigation, for this purpose, a completely randomized design was implemented, in a 2 x 2 factorial arrangement, with 4 treatments. The variables evaluated were: plant height, stem diameter, greenery index, leaf area and foliar nitrogen and potassium concentration. The main results indicated that effects of the doses applied on the variables height and diameter of the plant were not significant in contrast to the greenery index, leaf area and nutrient concentration. In conclusion presents the treatments with high doses of nitrogen and potassium had positive significance in the leaf area and greenery index.

KEYWORDS: ECUADOR / TUMBACO / AVOCADO CROP / FERTIGATION / DRIP IRRIGATION.

1. INTRODUCCIÓN

El aguacate o palto (*Persea americana* Mill), originario de América Central y México, pertenece a la familia *Lauraceae* conformada alrededor de 85 especies reportadas y clasificadas, las mismas que se encuentran en todo el continente americano, desde los Estados Unidos hasta el centro de Chile (Van der Werff, 2002). Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2017), en el Ecuador existen aproximadamente 5579 hectáreas de cultivo de aguacate, de las cuales 4670 ha se encuentran en monocultivo y las 909 ha restantes en asociación con otros cultivares, localizados en suelos con características de textura liviana, profundos, bien drenados, con pH neutro o ligeramente ácido (5.5 a 7.5) o en suelos arcillosos con buen drenaje, la mayor área de plantación se ubica en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Tungurahua y Azuay (Viera *et al.*, 2016), sin embargo, existen cultivos en regiones más secas del Ecuador como en la Península de Santa Elena (Villavicencio & Vásquez, 2008). Las alternativas de producción en los últimos años se han estudiado con base a diferentes métodos, los cuales se han ido tecnificado para alcanzar un buen rendimiento del cultivo, por esta razón, nace la necesidad de utilizar tecnologías en la producción, como el fertirriego para mejorar la nutrición y las diferentes deficiencias de la planta.

En Ecuador, la tecnología conocida como fertirrigación aplicada al cultivo de aguacate no es común debido a la falta de información e investigación sobre el tema, desconocimiento sobre su funcionamiento y su costo inicial. Considerando lo expuesto, se desarrolló la presente investigación para obtener información técnica relacionado al tema.

Por lo mencionado anteriormente, esta investigación tuvo como objetivo general: evaluar la respuesta del cultivo de aguacate a la aplicación de dos niveles de nitrógeno y potasio por fertirrigación, además considerando dos objetivos específicos; evaluar el efecto de la concentración de nutrientes en la fase de crecimiento vegetativo en el cultivo de aguacate y determinar la relación entre el índice de verdor y el área foliar durante la fase de crecimiento vegetativo.

La presente investigación, se desarrolló con el financiamiento y la participaron las instituciones: El Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina (EESC), Granja Experimental Tumbaco, que es realizado entre Colombia y Ecuador, en cultivos como aguacate y granadilla, por ello, la investigación transcurrió durante los 8 primeros meses, contemplando la fase de crecimiento vegetativo del cultivo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cultivo de aguacate

El aguacate es uno de los frutales de mayor interés debido a que es un fruto altamente consumido y con incremento en producción, tanto al nivel nacional como internacional (León, 1999).

2.1.1. Producción del cultivo

2.1.1.1. Nivel internacional

El aguacate ha logrado posicionarse como uno de los frutos más consumidos y apetecidos a nivel mundial, México es el mayor productor alcanzando una producción cerca de 1 959 620 millones de toneladas lo que representa el 60 % total mundial, seguido de República Dominicana con una producción de 619 518.5 toneladas, Perú con 461 076 toneladas, Indonesia con 334 047.5 toneladas y Colombia con 304 332 toneladas, constituyendo los 5 países más productores de aguacate al nivel mundial (FAO, 2019).

2.1.1.2. Nivel nacional

De acuerdo con los datos registrados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), en el país la superficie total cultivada de aguacate durante el año 2017 fue de 5 579 ha, mientras que el área cosechada fue de 4 563 ha, el rendimiento por hectárea fue de 45 121 toneladas y al nivel nacional la producción alcanzó 20 995 toneladas (FAO, 2019).

En el Ecuador, actualmente el 75 % de la superficie cultivada de aguacate, pertenece a la variedad Fuerte, el 6.41 % a la variedad Hass y el porcentaje restante conforman otras variedades de aguacates, según datos del Servicio de Información de Censo Agropecuario (SICA), en el país, se cultiva este frutal mayormente en pequeñas Unidades de Producción Agrícola (UPA's), que al nivel nacional son alrededor de 11 500 hectáreas siendo representada entre las provincias de Imbabura y Carchi con una superficie de 980 hectáreas mismas que en conjunto son menores de 5 hectáreas. (SICA, 2002).

Según Pillajo *et al.* (2013), en los últimos años, la variedad Hass ha incrementado su superficie, produciéndose en los valles de Imbabura, Carchi y Pichincha, esto se debe a su gran demanda para consumo en fresco a nivel internacional, el incremento se produce gracias a las condiciones edafoclimáticas adecuadas que presenten estos sitios de producción, la cual permite su buen desarrollo y por el cumplimiento de características con el fin de la exportación.

2.1.2. Taxonomía

La clasificación taxonómica, describe por especie y aporta información sobre su centro de origen y condiciones generales (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación taxonómica del aguacate.

Clasificación	Descripción
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Lurales
Familia	Luraceae
Tribu	Perseae
Género	Persea
Especie	<i>Persea americana</i> Mill., 1768

Fuente: (León, 1999).

2.1.3. Descripción botánica

2.1.3.1. Raíz

El aguacate está constituido por una raíz principal, alcanzando una profundidad de 4 m, teniendo en cuenta que la mayoría de raíces secundarias son relativamente superficiales; estas carecen de pelos radicales, por lo cual la absorción de nutrientes y agua se lo realiza a través de células meristemáticas presentes en las zonas de crecimiento longitudinal (Baraona & Sancho, 2019).

2.1.3.2. Tallo

El aguacate presenta un tronco de aspecto leñoso y recto, que puede lograr alcanzar una altura de hasta 12 m (Godínez *et al.*, 2000). Aunque se ha logrado reportar que pueden alcanzar los 20 m y troncos con diámetros mayores de 1.5 m, estas alturas son alcanzadas bajo condiciones de no realizar podas sobre el árbol.

Según Calabrese (1992), la corteza es suberosa, de lisa a agrietada con 0.03 m de espesor; los tejidos leñosos que se observan son de color crema claro con vasos anchos. Los árboles con alturas menores de 5 metros facilitan las prácticas de control fitosanitario, cosecha, poda y fertilización foliar (Godínez *et al.*, 2000).

2.1.3.3. Hojas

Las hojas son de aspecto simple, alternas, enteras, elípticas, alargadas y con nervaduras pinnadas con inserción peciolada. La epidermis es pubescente, al llegar a la madurez se tornan lisas, coriáceas, con color verde intenso y oscuro en el haz, pubescentes y glaucas en el envés. El árbol se va renovando de ramas y hojas verdes que han cumplido su ciclo (Baíza, 2003).

En algunas variedades como Hass, se tiene una defoliación de corto tiempo antes de la floración, que indica la adaptación a lugares no apropiados para su cultivo (Baíza, 2003).

2.1.3.4. Flores

Según López *et al.* (2009), las inflorescencias presentan dicogamia floral, son autoincomplacientes es decir que tienen barreras genéticas y fisiológicas que impiden la germinación del propio polen o desarrollo del tubo polínico.

Las variedades de aguacate se clasifican en dos grupos (Tabla 2) de acuerdo a su floración, grupo A: sus flores se abren al amanecer y se cierran al atardecer, la misma función realizan al siguiente día haciendo un intervalo, pasando de femeninas a masculinas abriéndose al atardecer, y grupo B: sus flores se abren al atardecer completándose de forma masculina liberando polen y se cierran al atardecer, la misma función realizan al siguiente día haciendo un intervalo, pasando de masculinas a femeninas (López *et al.*, 2009).

Tabla 2. Tipos de flor en el aguacate.

Periodo de Tiempo		Grupo Floral	
		A	B
Primer día	Mañana		
	Tarde		
	Noche		
Segundo día	Mañana		
	Tarde		
	Noche		

Fuente: (López *et al.*, 2009).

2.1.3.5. Fruto

El fruto es una drupa carnosa, de forma periforme, ovoide, globular o alargada. El color varía de verde claro a verde oscuro y de violeta a negro. Estas características y otras como la estructura, consistencia de la cáscara y pulpa, están determinadas por la raza y variedad

cultivada. Los frutos con cáscara dura son resistentes al transporte y manipuleo (Baíza, 2003).

2.1.3.6. Semilla

La semilla es ovalada, parecida a un durazno, las semillas del grupo racial Antillano poseen una cubierta de mediana a gruesa y membranosa, claro que en los otros grupos raciales es delgada (Baíza, 2003).

2.1.4. Razas

El aguacate en sus diferentes razas (Tabla 3) se subdividen en grupos acorde a sus características genéticas, mientras que las variedades son aquellos resultados de investigaciones en cruzamientos entre sus razas que son realizadas en los centros de investigación (Huaraca *et al.*, 2016).

Tabla 3. Razas de aguacate.

Características	Raza		
	Mexicana	Guatemalteca	Antillana
Origen	Valles de México	Valles de Guatemala	Llanos de América del Sur, Panamá a Venezuela
Altitud (m.s.n.m.)	1500 - 2500	500 - 2400	0 – 500
Morfología	Árboles, con corteza y ramas delgadas resistentes a las bajas temperaturas y hojas con olor anís.	Árbol de gran tamaño, su fruto tiene una cáscara gruesa y de pulpa fibrosa.	Árboles altos (15 – 20 m), con hojas multiformes.
Peso del Fruto (g)	90 - 180	125 - 1500	250 – 2500
Contenido de Aceite (%)	20 - 25	18 - 2010	10

Fuente: (Huaraca *et al.*, 2016).

2.1.5. Variedades

2.1.5.1. Hass

Proveniente de la raza guatemalteca, esta variedad fue obtenida en Estados Unidos (California), es un árbol de tamaño mediano, posee flor tipo A, es susceptible a las heladas, su fruto es ovalado, contenido de aceite de 20 – 23 %, con un peso entre los 180 – 360 g, de corteza arrugada, color negro, su pulpa no es fibrosa, la semilla es de tamaño pequeño y de forma esférica (Huaraca *et al.*, 2016).

2.1.5.2. Fuerte

Es una de las variedades más cultivadas junto con el Hass, pero este es un poco más delicado en algunos aspectos, desde luego no le hace honor al nombre. Es más sensible al frío y

además es susceptible al excesivo calor en la floración y el cuajado. Su maduración ocurre a finales de invierno, es menos productivo que Hass (León, 1999; González *et al.*, 2013).

2.1.5.3. Nacional o Criollo

Según Ushiña (2017), esta variedad es resistente al frío y se caracteriza por poseer un epicarpio delgado y suave, la cual se aferra al mesocarpio y posee una semilla muy grande, con una coloración oscura. La pulpa toma una coloración amarillo limón durante la maduración.

2.1.6. Suelo

El aguacate se desarrolla bien en suelos de textura franca, siempre y cuando estos presenten un buen drenaje, un pH entre 5.5 y 7.0, un alto contenido de materia orgánica mayor a 10 % y manto freático, el cual se debe localizar a partir de 1,5 m de profundidad, al poseer un sistema radical distinto a otros frutales, es menos resistente al exceso de agua en perfil (Baraona & Sancho, 2019).

La profundidad del suelo para un adecuado desarrollo de la planta, no debe ser inferior a 1.5 m en suelos planos y 1 m en suelos con pendiente mayor a 25 % (Baraona & Sancho, 2019).

2.1.7. Fertilización

Según León (1999), la fertilización debe ser balanceada, con el aporte de nutrientes necesarios para un óptimo desarrollo y producción, la aplicación de fertilizante se realizará en base a los resultados del análisis químico de suelo, foliar y extracción de nutrientes, son herramientas principales para evaluar el estado y disponibilidad de los nutrientes del suelo y contenido en las plantas (Cerdas *et al.*, 2006).

Cuando los cultivos son irrigados, el fertilizante debe ser aplicado disuelto y mezclado en el riego considerando la compatibilidad de los elementos presentes en la mezcla (Mejía, 2011).

Según León (1999), para el mantenimiento del cultivo existen tablas de referencia para los niveles bajo, medio y alto, en función de los análisis de fertilidad del suelo (Tabla 4).

Tabla 4. Recomendación de fertilización.

Niveles de fertilización	kg ha ⁻¹				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Zn
Bajo	150 – 200	100 – 150	150 – 250	100 – 150	20
Medio	80 – 150	60 – 100	80 – 150	60 – 100	10
Alto	40 - 80	30 - 60	40 - 80	30 - 60	0

Fuente: (León, 1999).

2.1.8. Manejo agronómico del cultivo

El manejo del cultivo tiene relación directa con las etapas fenológicas del mismo, por el cual es un conjunto de actividades y labores que se realizan, para que tenga un adecuado desarrollo, dentro del mismo se puede contemplar actividades como: podas (formación, producción y fitosanitarias), la cual su objetivo es guiar el crecimiento el árbol y mantener su productividad por varios años; riego, para que la planta pueda absorber los nutrientes del suelo y realice procesos de fotosíntesis, respiración y por último el control de arvenses para disminuir la competencia entre luz, agua y nutrientes (Cerdas *et al.*, 2006; Huaraca *et al.*, 2016).

El evitar causar heridas al tallo y raíces cuando se realicen prácticas culturales, aplicar una adecuada dosis de fertilización porque oportunamente una planta bien nutrida será más tolerante al ataque de plagas y enfermedades (Alarcón *et al.*, 2012).

Al momento de aplicar riego dependerá de la cantidad de agua que requiere un cultivo y el momento oportuno para aplicarla, permitiendo aumentar los rendimientos y calidad del cultivo, además de ahorrar agua y energía. Para esto, se requiere realizar la programación del riego de acuerdo al requerimiento hídrico del cultivo, en la cantidad y con las frecuencias adecuadas. Para programar el riego, se deben tener en cuenta las condiciones climáticas, así como las características del cultivo, el suelo y el sistema de riego que se va a utilizar (Baraona & Sancho, 2019; Ferreyra *et al.*, 2007).

2.2. Nutrientes

La aplicación de nutrientes se realiza considerando las diferentes necesidades de la planta, características físico-químicas del suelo, condición del cultivo y comportamiento fenológico, el análisis foliar es importante, pues ayuda a conocer el estado nutrimental de huertos comerciales, los cuales son utilizados para el desarrollo de programas de fertilización, esto ayuda a mejorar tanto el rendimiento como el tamaño y calidad de la fruta, en caso de ese ser el objetivo del huerto (Salazar & Lazcano, 1999).

La interpretación de los resultados sobre el análisis químico foliar es un aspecto importante, por tanto, refiere las relaciones nutrimentales, por que comúnmente se presentan síntomas de deficiencia de algún nutriente por un desbalance en relación a su concentración relativa a los demás, la relación entre el sustrato donde crece la planta (suelo o soluciones nutritivas) como dentro de la planta misma (Arellano & Gutiérrez, 2009).

En ciertos casos altas concentraciones de algún elemento, puede influir sobre la absorción de otro elemento, lo que podría causar una deficiencia de forma inducida o indirecta, el balance adecuado entre los nutrientes variara según la etapa fenológica de la planta, así los requerimientos para el desarrollo de la plántula no van a ser los adecuados para el desarrollo

y cuajado del fruto, por lo cual es importante saber el balance de los elementos en cada etapa fenológica (Arellano & Gutiérrez, 2009).

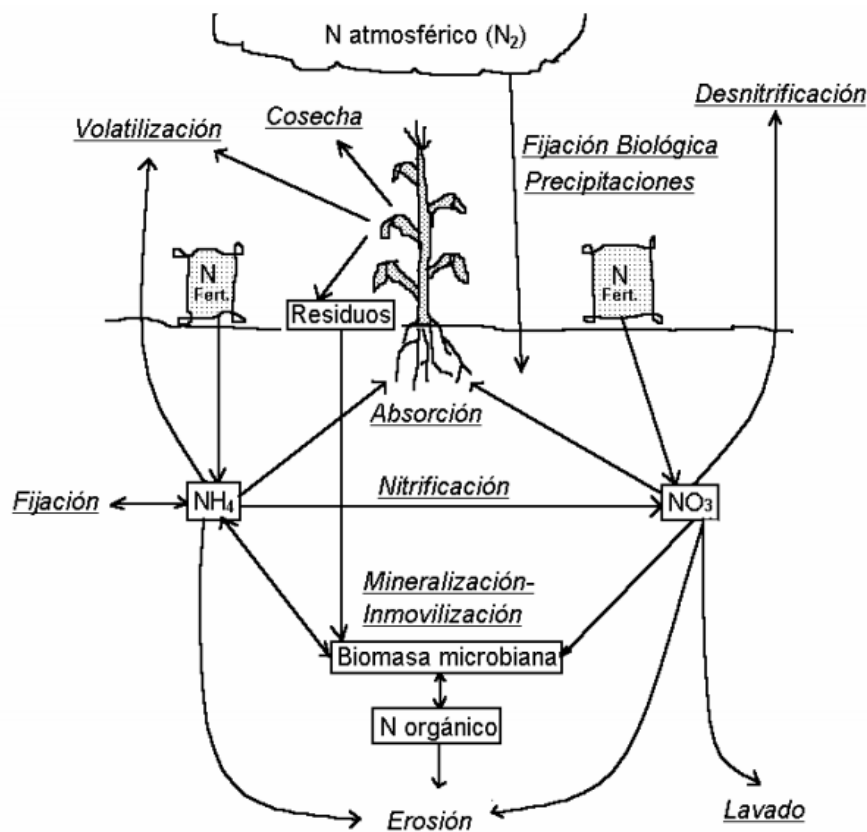
Partiendo del análisis químico foliar se obtiene información, sobre la capacidad de cada planta para absorber y utilizar los diferentes nutrientes aportados en la solución y por el suelo (Mattar & Pizarro, 2007).

El aguacate está considerado como una especie de baja demanda de nutrientes, esto se puede demostrar por el bajo contenido de nutrientes al momento de la cosecha en comparación con otros frutales y cultivos de campo, la capacidad que posee el aguacate para la extracción y utilización de nutrientes se ve reflejado en la concentración de los mismo en los tejidos, por lo que el análisis químico foliar aporta valiosa información acerca del estado nutricional de la planta (Lemus *et al.*, 2005).

2.2.1. Nitrógeno

El nitrógeno (N) es un elemento esencial, considerado un macronutriente, para todos los seres vivos. Bajo condiciones naturales, el 98 % de nitrógeno se encuentra en las rocas, 2 % en la atmosfera y < 1 % en el suelo y agua. La transformación del N molecular (N_2) atmosférico en moléculas de nitrógeno presente en el suelo utilizable potencialmente por las plantas, se debe al ciclo global del nitrógeno, el cual está constituido por las distintas interacciones de las formas de N presentes tanto en el suelo, organismos y la atmósfera (Echevarría *et al.*, 1993).

Las transformaciones de N, están involucradas las formas orgánicas e inorgánicas, la conversión de N_2 (gas) a formas utilizables por las plantas se produce principalmente a través del proceso de fijación biológica. Las formas orgánicas son convertidas a formas inorgánicas (NH_4^+ o NO_3^-) por mineralización. El NO_3^- , puede volver a la atmósfera por desnitrificación en forma de N_2 o perderse por lixiviación. Las formas inorgánicas pueden ser absorbidas por las raíces de las plantas o por los diferentes microorganismos presentes en el suelo. La Figura 1 muestra un esquema del ciclo del nitrógeno con las distintas fracciones y transformaciones que las relacionan dentro de un ecosistema agrícola (Benimeli *et al.*, 2019).



Fuente: (Echevarría *et al.*, 1993).

Figura 1. Ciclo de nitrógeno dentro de un ecosistema agrícola en el sistema atmósfera, suelo y planta.

Es el nutriente más requerido por el aguacate, su efecto es significativo sobre la planta, teniendo gran influencia en el crecimiento y producción de árboles de aguacate (Lao, 2013; Lahav & Whiley, 2002), también se lo considera como uno de los que forman compuestos orgánicos (constituyente de los aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucleicos, nucleótidos, coenzimas, hexoaminas, pigmentos fotosintéticos, nucleótidos, ATP, entre otros), que está estrechamente relacionado con el vigor de la planta (Marschner, 2012).

La aplicación de N a la planta de aguacate se caracteriza por su rápida respuesta, incrementando el rendimiento y crecimiento de la parte aérea, pese a esto, el exceso de N ocasiona un desbalance en la planta debido a que puede destinar mayor cantidad de este nutriente a brotes, madera y en menor cantidad a los frutos, afectando el rendimiento y la productividad, dicho exceso, afecta la calidad de la fruta en pos cosecha debido a que se produce una aceleración en su madurez (Lovatt, 2001; Arpaia *et al.*, 1996). Mientras que una deficiencia de N restringe el desarrollo de brotes, además de presentar hojas pequeñas, pálidas y caída prematura de las hojas. Al existir una deficiencia de N, las venas de las hojas se tornan de color amarillo (Martínez *et al.*, 2014).

El requerimiento de N durante la etapa de desarrollo vegetativo es de $23.3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, con esta dosis se han reportado rendimientos de hasta 20 t ha^{-1} . Por lo tanto, los requerimientos durante la formación del fruto se pueden estimar que requiere de 4.07 kg de N por cada tonelada producida, asumiendo que existe una eficiencia del 65 % de N aplicado mediante riego localizado (Martínez *et al.*, 2014; Salazar, 2002).

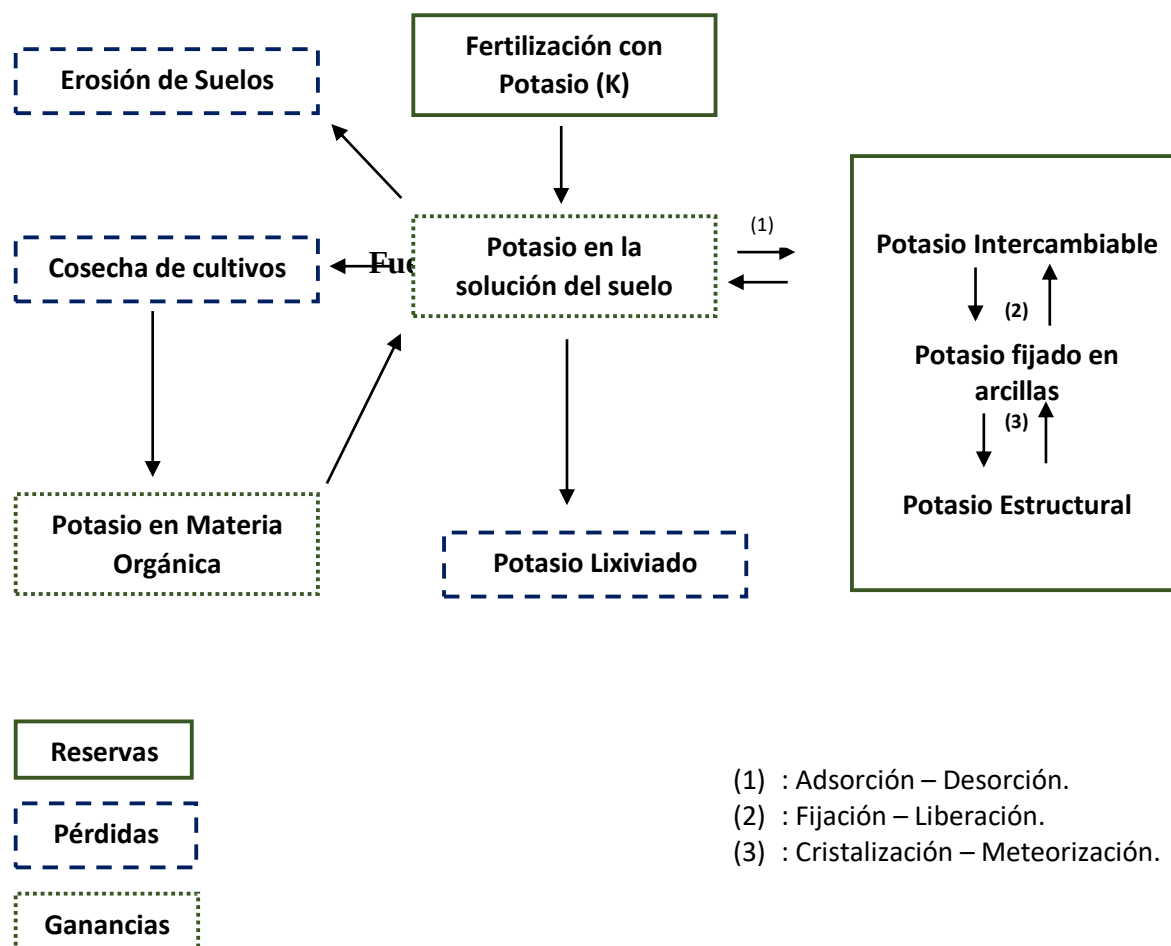
La absorción de N por las plantas se realiza en forma de nitrato (NO_3^-), esto ocurre principalmente mediante flujo de masas debido a que la forma amoniacal (NH_4^+) no le permite adherirse a los minerales arcillosos, por lo tanto, permanece en la solución del suelo, la concentración de amonio en el suelo es baja, motivo por el cual, el nitrato es absorbido por las plantas, como sucede con el aguacate donde se ha encontrado que extrae alrededor de 466.47 g de N, de una dosis aplicada de 690 g árbol^{-1} de KNO_3 (Guerrero *et al.*, 2018; Matimati *et al.*, 2014).

La aplicación de fertilizantes nitrogenados, en suelos con pH superiores a 7 conviene realizar mezclas con compuestos nítricos como el nitrato de amonio, debido a que la planta absorberá el fertilizante en forma de amonio o nitrato. Mientras que, si el pH es inferior a 6, conviene utilizar una mayor cantidad de nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) o nitrato de potasio (KNO_3) (Guerrero *et al.*, 2018; Martínez, 2014).

2.2.2. Potasio

El potasio (K) es uno de los elementos esenciales para todos los organismos vivos, las plantas necesitan grandes cantidades de este nutriente siendo semejante al requerimiento de nitrógeno (Mengel & Kirkby, 1987). El contenido de K en el suelo no es un índice de fertilidad para los cultivos ya que el K presente en los suelos se encuentra en diferentes formas, este es inmediatamente disponible y absorbido por las plantas de igual manera, las cantidades en el suelo son muy pequeñas, apenas una mínima porción del K total del suelo se encuentra en esta forma (Goulding, 1987).

A medida que el K es absorbido y extraído, su concentración en el suelo es renovada y restituida inmediatamente por la cesión de formas menos accesibles ubicadas en las zonas de adsorción de los coloides minerales y orgánicos del suelo, el proceso de adsorción-desorción es el que repone y equilibra la concentración de K de la solución del suelo. La Figura 2 muestra un esquema del ciclo del potasio en el suelo con las distintas fracciones y transformaciones (Goulding, 1987).



Fuente: (Goulding, 1987).

Figura 2. Ciclo del potasio en el suelo.

El K es el nutriente más importante dentro del crecimiento y producción, debido a que su papel dentro de la planta es significativo, es un nutriente que permanece de forma iónica, es un cofactor de más de 40 enzimas, principal catión en el establecimiento de la turgencia celular, mantenimiento de la electroneutralidad, actúa en los procesos de fotosíntesis, respiración, circulación de la savia, apertura y cierre de estomas y síntesis de proteínas y carbohidratos (Halvim *et al.*, 1998; Uchida, 2000).

La absorción de K por la planta ocurre en grandes cantidades a diferencia de otros elementos y se complementa con el flujo de moléculas a través de una membrana permeable denominado difusión simple, la asimilación de K dependerá de la disponibilidad de agua en el suelo, bajo condiciones de riego, el K es el nutriente que más se encuentra en el fruto, alcanzando valores de 4.65 kg t^{-1} de fruta fresca producida (Uchida, 2000). Según Guerrero *et al.* (2018) la efectividad de absorción observada por fertilización con KNO_3 demostró que existe una correlación entre el N y K en árboles de aguacate.

Durante el ciclo de floración hasta la cosecha, los niveles de K varían, los árboles con un menor número de frutos o aquellos que fueron cosechados y que se encuentran en estado de

pre floración, presentan altos niveles de K a nivel foliar, con más de 1.5 % en base a su peso seco. Mientras que las plantas con un número de 600 frutos, pueden presentar deficiencia, cuando en realidad no existe, debido a que las épocas de mayor demanda de K coinciden con el período de máximo crecimiento o llenado de fruto, lo cual ocurre entre los 4 y 7 cm de longitud (Guerrero *et al.*, 2018).

Dentro del período de fructificación, favorece la translocación de sustancias de reserva en la planta, promoviendo el desarrollo de los frutos, el K es esencial en el cultivo de aguacate por su alta movilidad, ya que la planta de aguacate lo necesita grandes cantidades, siendo su requerimiento incluso mayor al del N (Lao, 2013).

El K es considerado como un elemento antagonista del Ca con respecto a su influencia a la movilidad a la fruta, por lo que un exceso de fertilización potásica afecta negativamente los contenidos de Ca en la fruta, ocasionando problemas de calidad en pos cosecha. Al existir un déficit de Ca, se recomienda aplicar K sólo en lo que corresponde a lo extraído por la fruta (4.65 kg t^{-1}) (Martínez *et al.*, 2014).

La deficiencia de K, pueden ser visibles cuando en hojas pequeñas y estrechas se observan manchas necróticas de coloración marrón rojizo, estas se aprecian mejor en hojas viejas, estos síntomas aparecen frecuentemente en primer lugar en la base de la hoja y peciolo, su efecto sobre el fruto es notorio ya que esta es más pequeña, presenta un color opaco y es más susceptible al golpe de sol, afectando la calidad de la fruta y resistencia al manejo de la misma durante la cosecha y post cosecha. Según varios autores una hoja que presenta menos de 0.35 % de potasio es señal de deficiencia, sin embargo, la variedad “Hass” se eleva hasta 0.5 %. (Lao, 2013; Salazar, 1999).

Siendo el aguacate una planta con un sistema radical reducido y de crecimiento superficial, por lo que el 70% de sus raíces tiene un diámetro menor a los 2 mm y están localizadas a 0.20 m de profundidad del suelo. Por esta condición es posible que, aunque el contenido de K intercambiable presente en el suelo sea alto, la tasa de absorción del nutriente no sea suficiente para satisfacer la necesidad del cultivo, debido a la baja capacidad de exploración de su sistema radical (Salazar *et al.*, 2011 & Salazar, 1999).

2.3. Índice de verdor

El índice de verdor en las hojas (IV), es una herramienta útil para el monitoreo nutricional en la planta, pues permite conocer el nivel de N absorbido por las plantas, el uso del equipo adecuado para conocer el IV, permite reconocer la cantidad de clorofila absorbida, El SPAD es una excelente herramienta cuando se quiere conocer la deficiencia o problema presente en las hojas, es un equipo el cual usa diodos emisores de luz a 650 y 940 nm para emitir luz a través de la hoja, la diferencia entre los 650 y 940 nm se obtiene un IV con el que luego se

puede establecer una relación con el contenido de clorofila presente en las hojas (Mirassón *et al.*, 2010; Ferreyra *et al.*, 2008).

2.4. Área foliar

La medición del área foliar (AF), es un aspecto fundamental dentro de cualquier investigación en fisiología vegetal, en la agricultura y dendrología (Broadhead *et al.*, 2003). El área foliar está relacionada con procesos agronómicos, biológicos, ambientales y fisiológicos, que incluyen el análisis de crecimiento, la fotosíntesis, la transpiración, la interceptación de luz, la asignación de biomasa y el balance de energía (Kucharik *et al.*, 1998). La determinación del área foliar, se puede realizar por métodos directos e indirectos (Jonckheere *et al.*, 2004).

2.5. Riego

Los árboles recién plantados y durante los primeros años, el riego es indispensable para su supervivencia y desarrollo, una vez que las raíces han profundizado, el aguacate es más resistente a la sequía que los cítricos (Baraona & Sancho, 2019).

El aguacate es sensible a la presencia de sales de cloro y sodio, por lo cual es necesario considerar la calidad del agua de riego, por lo cual esta debe ser limpia y no pasar por suelos que pueda contener *Phytophthora* (Baraona & Sancho, 2019).

En suelos francos los árboles de la raza antillana requieren entre 7 000 y 9 000 m³ ha⁻¹ de agua distribuidos a lo largo del año; entre 5 000 y 7 000 m³ ha⁻¹ los de raza guatemalteca y entre 4 000 y 5 000 m³ los de la raza mexicana, parte de esta agua es cubierta por precipitaciones y la diferencia de agua se proporcionará en el riego, especialmente cuando el período de sequía es muy prolongado (Baraona & Sancho, 2019).

2.5.1. Riego por goteo

Se denomina así porque permite aplicar el agua en forma de gotas de manera localizada a la planta. Este sistema aplica dosis de agua requerida directamente en la zona radical de la planta, en intervalos regulares para mantener la humedad del suelo (Téliz, 2000).

Según Medina (1988), existen varias ventajas que el riego por goteo puede aportar al desarrollo y crecimiento de la planta como son: aplicación localizada del agua, eficiencia de riego del 90 % a 95 % aplicación en la zona radical de la planta evitando el desperdicio del recurso hídrico, requiere menor presión de agua en comparación al riego con aspersión, adaptación a condiciones de topografía diversa y permite el riego frecuentemente con pequeñas cantidades de agua, manteniendo el suelo húmedo.

Liotta (2015), asegura que conforme se aplique riego por goteo a los cultivos, el sistema presentará algunas ventajas como así mismo desventajas, como se describe a continuación:

Ventajas:

- Ahorro de agua, la cantidad aplicada se basa de acuerdo a la evapotranspiración del cultivo, también reduce las pérdidas por infiltración, la eficiencia de riego por goteo es muy alta del 90% al 95%.
- Uniformidad de aplicación, la cantidad de agua aplicada al realizarse por emisores con el mismo caudal entrega a la planta agua de manera uniforme.
- Disminución de malezas, al humedecer el suelo de manera localizada gran parte del terreno queda seco impidiendo que las malezas crezcan y se desarrollen.
- Compatible con labores culturales, se pueden realizar otras prácticas mientras el riego se esté ejecutando.
- Aplicación en terrenos irregulares, al ser una técnica de riego con ventaja sobre el riego tradicional (inundación, surcos).
- Automatización, facilita la operación del sistema y permitiendo emplear programas de fertirrigación.

Desventajas:

- Costo elevado, la adquisición e instalación deben ser analizados junto a los costos y beneficios a obtener, esto previo a la inversión en el sistema de riego por goteo.
- Consumo de energía, el costo de la electricidad para el funcionamiento del sistema es un factor importante.
- Dependencia de la energía eléctrica, al ser un sistema de riego automatizado brindando a la planta la cantidad de agua necesaria en un menor volumen de agua, la planta tendrá un menor período para soportar permanecer sin riego.
- Sistema de filtrado, el agua a utilizar dentro del sistema requiere de un cuidado especial en el filtrado, los emisores pueden verse afectados por alguna obstrucción.
- Mano de obra especializada, pues solo un personal calificado podrá operar el sistema y solucionar problemas que pudiesen presentarse, por lo que debe hacer una verificación del buen funcionamiento del sistema.
- Buen diseño, condición fundamental tanto desde el punto agrícola como hidráulico, un mal diseño puede producir deficiencia en los rendimientos y calidad de los cultivos, gastos innecesarios y problemas de un adecuado manejo.

Los componentes de un sistema de riego por goteo, son:

- Fuente de abastecimiento de agua
- Cabezal principal (Equipo de bombeo, sistema de filtrado)
- Tuberías de conducción principales
- Cabezales de campo
- Tuberías terciarias
- Laterales de riego con emisores

En el riego por goteo es importante conocer el tipo de gotero a utilizar, pues existe una gran variedad de diferente forma y configuración los cuales disipan la presión, son más utilizados los que operan con caudales entre 1.0 y 2.0 l h⁻¹.

2.6. Fertirrigación

La importancia de implementar un sistema de fertirrigación en el cultivo de aguacate es para mejorar la aplicación de fertilizantes, logando localizar los nutrientes en la zona de crecimiento de las raíces (Martínez *et al.*, 2014).

El sistema de riego utilizado, distribuirá el agua de manera uniforme cerca de la zona radical de la planta a través de conductos cerrados los cuales requieren presión, humedeciendo un volumen de suelo, suficiente para el buen desarrollo de la planta, permitiendo regar desde una hasta dos veces por día, todos o algunos, todo esto dependerá del tipo de suelo y la necesidad hídrica del cultivo (Liotta, 2015).

El efecto de realizar riegos frecuentes permite reducir notoriamente el peligro de déficit hídrico, ya que se mantendrá la humedad del suelo a niveles óptimos durante todo el periodo del cultivo, mejorando las condiciones para el desarrollo del cultivo (Liotta, 2015).

La incorporación de los diferentes fertilizantes al sistema de riego, se lo hace de acuerdo a los siguientes requerimientos:

Equipo:

- En sistemas de riego presurizados, la presión de inyección de la solución fertilizante debe ser mayor que la presión interna.
- Un filtro que prevenga el taponamiento de los emisores para retener los sólidos en suspensión.

Fertilizantes:

- Altamente solubles

2.7. Solubilidad de los fertilizantes

Según Rodríguez & Guzmán (2004), al momento de preparar una solución madre, es importante chequear la solubilidad de los fertilizantes para evitar precipitados teniendo presente dos factores: la pureza del agua y su temperatura, a mayor pureza y temperatura, mayor será la solubilidad del fertilizante (Tabla 5).

Tabla 5. Solubilidad de los diferentes fertilizantes.

Fertilizante	Solubilidad g L ⁻¹					
	5	10	20	25	30	40
Nitrato de potasio	133	170	209	316	370	458
Nitrato de amonio	1183	1510	1920	-	-	-
Sulfato de amonio	710	730	750	-	-	-
Nitrato de calcio	1020	1130	1290	-	-	-
Nitrato de magnesio	680	690	710	720	-	-
Fosfato monoamónico	250	295	374	410	464	567
Fosfato de mono potásico	110	180	230	250	300	340
Cloruro de potasio	229	238	255	264	275	-
Sulfato de potasio	80	90	111	120	-	-
Urea	780	850	1060	1200	-	-

Fuente: (Rodríguez & Guzmán, 2004).

2.8. Compatibilidad de los fertilizantes

Es importante tener en cuenta que la compatibilidad entre los diferentes fertilizantes esto logrando obtener soluciones eficaces, previniendo inconvenientes de taponamiento y desbalance nutricional, con fertilizantes compatibles entre ellos logrando obtener soluciones de fácil preparación, por lo que usando fertilizantes de reacción ácida y/o inyección periódica en el sistema de fertirriego de este modo se logra disolver los precipitados y destapar los goteros, lo que conlleva remover las bacterias y algas los fertilizantes que contienen calcio (Ca) no se recomienda mezclarlos con aquellos que contienen fosfatos o sulfatos (Calvache, 2002; 2008).

Se recomienda que, al momento de mezclar los fertilizantes, estos no deben prepararse dentro del mismo tanque, porque puede formarse una sal insoluble, por ejemplo, pueden presentarse problemas con el fósforo, aguas con altas concentraciones de calcio y magnesio, incompatibilidad de fertilizantes que contienen calcio frente a los que contienen fosfato o sulfato y pH alcalino causando la precipitación de fosfatos de Ca y Mg (Calvache, 2008 & Li, 2007; Zambrano, 2017) (Tabla 6).

Tabla 6. Compatibilidad de los fertilizantes.

	Urea	Nitrato de amonio	Sulfato de amonio	Nitrato de calcio	Nitrato de magnesio	Fosfato mono amónico	Fosfato mono potásico	Nitrato de potasio	Sulfato e potasio	Cloruro de potasio	Ácido fosfórico	Ácido nítrico	Ácido sulfúrico	Sulfatos Fe, Zn, Cu, Mn	Quelatos Fe, Zn, Cu.	Sulfato de magnesio
Urea																
Nitrato de amonio																
Sulfato de amonio																
Nitrato de calcio																
Nitrato de magnesio																
Fosfato mono amónico																
Fosfato mono potásico																
Nitrato de potasio																
Sulfato de potasio																
Cloruro de potasio																
Ácido fosfórico																
Ácido nítrico																
Ácido sulfúrico																
Sulfatos Fe, Zn, Cu, Mn																
Quelatos Fe, Zn, Cu, Mn																
Sulfato de magnesio																

Compatible

Se reduce la solubilidad

Incompatible

Fuente: (Zambrano, 2017).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

La investigación se realizó en la Granja Experimental Tumbaco perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ubicada en la parroquia Tumbaco del cantón Quito, provincia de Pichincha, cuyas coordenadas son: 00°13'57'' latitud sur, 78°24'43'' longitud oeste y a una altitud de 2 483 m.s.n.m.

3.1.1. Características agroclimáticas

Las características agroclimáticas del lugar donde se llevó a cabo la investigación, han registrado parámetros de precipitación anual promedio de 637.1 mm, temperatura media anual de 16.3 °C y humedad relativa promedio de 69 % (INAMHI, 2019).

3.2. Materiales

3.2.1. Material vegetal

El material vegetal de aguacate utilizado para la presente investigación fueron plántulas injertadas de la variedad Hass en la variedad criollo, con una edad de 9 meses y con un tamaño promedio de 0.40 m.

3.2.2. Fertilizantes químicos

Para esta investigación se utilizaron los siguientes fertilizantes químicos (Tabla 7):

Tabla 7. Concentración de los fertilizantes químicos.

Fertilizante	N	P	K	Ca	Mg	S
	%					
Nitrato de amonio	33	-	-	-	-	-
Nitrato de calcio	15	-	-	18	-	-
Nitrato de magnesio	11	-	-	-	16	-
Nitrato de potasio	13	-	38	-	-	-
Sulfato de potasio	-	-	41	-	-	18
Sulfato de magnesio	-	-	-	-	9	13
Ácido fosfórico	-	31	-	-	-	-

3.2.3. Equipos

- Estufa (Memmert, Beschickung – Loading Modell 100 – 800).
- Balanza de precisión (Shimadzu, modelo LIBROR AEG – 220).
- Potenciómetro (Thermo Scientific, modelo ORION STAR A2011).
- Espectrómetro de emisión óptica por acoplamiento de plasma inductivo: ICP-OES. (Perkin Elmer, modelo Optima 5300 DV).
- Digestores micro Kjeldahl (Foss).
- Medidor de área foliar (LI-COR LI3000A, 2016).
- Medidor de clorofila (SPAD-502).
- Calibrador digital (Mitutoyo, modelo Vernier 500-159-30).

3.2.4. Material de campo

El sistema de riego por goteo estuvo conformado por:

- Dos líneas de riego con goteros auto compensados de 1.6 l h⁻¹.
- Cuatro tanques de 500 litros de capacidad (un tanque por tratamiento; Anexo 2).
- Un filtro de anillo principal y cuatro filtros de anillos secundarios.
- Cuatro bombas de 0.5 HP.
- Sistema de control automático programable (Anexo 2)

Se utilizaron: azadones, palas, carretillas, tijeras de podar, rótulos de identificación para cada tratamiento.

3.3. Métodos

3.3.1. Factores en estudio

Se estudiaron dos factores en estudio: nitrógeno y potasio, los cuales fueron propuestos en el proyecto de investigación de IICA y FONTAGRO, tanto para Colombia y Ecuador, en la (Tabla 8), se detalla los niveles de los factores en estudio.

Tabla 8. Diferentes niveles de nitrógeno y potasio.

Niveles	N	K
	kg ha ⁻¹	
1	200	250
2	300	350

3.3.2. Tratamientos

Los tratamientos investigados, fueron obtenidos del resultado de la interacción de ambos factores en estudio, nitrógeno y potasio (Tabla 9).

Tabla 9. Tratamientos en estudio.

Tratamiento	Codificación	Dosis	
		N	K
1	n1 k1	200	250
2	n1 k2	200	350
3	n2 k1	300	250
4	n2 k1	300	350

Las dosis de los demás macro elementos (P, 80 kg ha⁻¹; Ca, 70 kg ha⁻¹; Mg, 40 kg ha⁻¹ y S, 30 kg ha⁻¹) y para los diferentes micro elementos (Fe, 803 g ha⁻¹; B, 204 g ha⁻¹; Mn, 438 kg ha⁻¹; Zn, 102 g ha⁻¹ y Cu, 68 g ha⁻¹) se mantuvieron fijas en los diferentes tratamientos.

3.3.3. Dosis de fertilizantes

La dosis de fertilizantes para las soluciones nutritivas aplicadas en la investigación se detalla en la Tabla 10.

Tabla 10. Dosificación de fertilizantes en la fertirrigación del cultivo de aguacate.

Dosis de fertilizante				
Fertilizante	T1	T2	T3	T4
	g día⁻¹			
Nitrato de calcio	191.0	191.0	191.0	191.0
Nitrato de potasio	271.1	390.3	271.6	390.8
Nitrato de magnesio	153.3	153.3	153.3	153.3
Nitrato de amonio	43.3	0.0	174.4	127.5
Sulfato de potasio	23.0	23.0	23.0	23.0
Sulfato de magnesio	41.4	41.4	41.4	41.4
Tradecorp	6.7	6.7	6.7	6.7
Ácido fosfórico	ml día⁻¹			
	80.6	80.6	80.6	80.6

3.3.4. Unidad experimental

La parcela de investigación constó de 4 tratamientos con 36 plantas por tratamiento, cada tratamiento estuvo conformado por 4 observaciones, cada observación con 9 plantas (se tomaron 3 plantas al azar), con un total de 16 unidades experimentales, de esta manera se tuvieron en total 144 plantas (Anexo 1).

3.4. Diseño de la investigación

3.4.1. Análisis estadístico

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), en arreglo factorial 2 x 2, con 4 tratamientos y 4 observaciones, obteniéndose como total 16 unidades experimentales establecidas en campo con un total de 144 plantas de aguacate, de acuerdo a lo obtenido se realizó el siguiente análisis de la varianza (Tabla 11).

Tabla 11. Esquema del Análisis de la varianza.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad
Total	15
Nitrógeno	1
Potasio	1
Nitrógeno x Potasio	1
Error	12

3.4.2. Análisis funcional

Al encontrarse diferencias significativas en el análisis estadístico para los tratamientos y variables estudiadas, se aplicó una prueba de comparación de medias DMS, con un valor de $\alpha = 0.05$. El análisis de datos se realizó utilizando el programa estadístico InfoStat versión estudiantil 2017 (Di Rienzo *et al.*, 2011).

3.5. Definición de variables

3.5.1. Altura de planta

Se realizó la toma de datos a los 71, 101, 131, 161, 191 y 221 días después del trasplante, se midió a partir de una marca realizada en el tallo a nivel del suelo con un marcador permanente, el resultado se lo expresó en centímetros; se utilizó un flexómetro, el cual se colocó en la base marcada y se extendió hasta el ápice del tallo principal (Arrieta *et al.*, 2010).

3.5.2. Diámetro de tallo

La variable fue medida con un calibrador digital (Mitutoyo, modelo Vernier 500-159-30), en las señales realizadas en el tallo con un marcador permanente, a 5 cm para arriba y bajo la unión del patrón y el injerto, midiendo el diámetro del patrón y el injerto variedad Hass, se evaluó a partir de los 71 días después del trasplante, con intervalos de 30 días, expresando el valor tomando en milímetros (Arrieta *et al.*, 2010).

3.5.3. Índice de verdor

El índice de verdor se evaluó utilizando el equipo SPAD-502 (Análisis del desarrollo de suelo – planta) (SPAD por sus siglas en inglés), se seleccionaron tres hojas recientemente maduras, las cuales fueron etiquetadas previamente y renovadas cada dos meses, se evaluó a partir de los 71 días después del trasplante, con intervalos de 30 y el resultado se reportó en unidades SPAD.

3.5.4. Área foliar

Se evaluó utilizando las hojas previamente identificadas para la variable índice de verdor, a las cuales se les midió el área foliar, con el uso del equipo portátil LI-COR LI3000A, el cual determinó el área foliar en centímetros cuadrados (cm²), una vez alcanzada su madurez se seleccionaron tres hojas nuevas para continuar evaluando la variable, la cual se reportó a partir de los 71 días después del trasplante, con intervalos de 30 días.

3.5.5. Concentración de nutrientes

La concentración de nutrientes a nivel foliar se realizó a los 71, 200 y 280 días después del trasplante, para lo cual se seleccionaron e identificaron 4 plantas de cada observación por tratamiento en las cuales se analizaron los macro y micro nutrientes presentes en las hojas, en el laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la EESC, los resultados

se expresaron en porcentaje (%) para macro nutrientes y en partes por millón (ppm) para micro nutrientes.

3.6. Manejo específico de la investigación

3.6.1. Preparación de la solución nutritiva

Previo a la preparación de las soluciones nutritivas, los diferentes fertilizantes usados fueron previamente identificados y pesados de acuerdo a los tratamientos en estudio (T1, T2, T3 y T4), para la disolución de los distintos fertilizantes se tomaron 10 litros aproximadamente de cada uno de los tanques pertenecientes a cada uno de los tratamientos, en primer lugar se colocaron los nitratos en el siguiente orden: nitrato de calcio, nitrato de potasio, nitrato de magnesio y nitrato de amonio, seguido de sulfato de amonio, sulfato de potasio y sulfato de magnesio, tradecorp y ácido fosfórico para corregir el pH del agua usada para el riego.

3.6.2. Análisis de fertilidad del suelo

Para el análisis de fertilidad del suelo, se tomó una muestra de suelo compuesta (de un kilogramo) proveniente de 40 sub muestras de la parcela de investigación (Anexo 6), las sub muestras fueron tomadas a tres profundidades (0.10, 0.20 y 0.30 m) con un barreno. La muestra compuesta fue llevada al laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la EESC (INIAP).

3.6.3. Trasplante

El trasplante se realizó de forma manual, utilizando una hoyadora, con la cual se hicieron hoyos de 0.40 m de profundidad en donde se colocó una planta por hoyo, la distancia de siembra fue de manera rectangular con una distancia de 5 m entre hileras y 4 m entre plantas, obteniéndose una densidad de 500 plantas por hectárea.

3.6.4. Fertilización inorgánica

La aplicación de la fertilización, en cada tratamiento se realizó por medio de fertirrigación, utilizando diferentes soluciones nutritivas aplicadas a través del sistema de riego por goteo automatizado, con un tiempo de riego de 18 minutos, 9 minutos en la mañana (10:30 am) y 9 minutos en la tarde (15:30 pm). Cada solución se preparó los días lunes, miércoles y viernes, según correspondió a cada uno de los tratamientos en estudio, para los días martes y jueves se realizó riego con agua. Según la humedad registrada en el suelo (Anexo 5, Anexo 6, Anexo 7, Anexo 20, Anexo 21, Anexo 22) los cuales sirvieron para el cálculo de la lámina de riego inicial entregando por planta un volumen de agua (Anexo 23, Anexo 24, Anexo 25).

3.6.5. Tutorado

Las plantas se tutoraron en un sistema de guía con una piola plástica en soportes de madera que se colocaron en la corona de la planta, esto se realizó al mismo tiempo que las plantas

fueron trasplantadas, con el objeto de que la planta a futuro crezca de manera recta, evitando daños durante vientos fuertes.

3.6.6. Control de plagas y enfermedades

Durante la investigación se presentó la plaga picuda del aguacate (*Compsus* sp.) a los 62 días después del trasplante, se realizó el control químico correspondiente utilizando (*Abamectina*) en dosis de 20 cc en 20 litros de agua, en dos aplicaciones con intervalos de 8 días, el control químico efectuado fue eficiente y no afectó al desarrollo vegetativo del cultivo.

3.6.7. Control de malezas

El control de malezas, se realizó de forma manual con azadón tanto entre hileras como entre plantas, en cuatro ocasiones, a los 30, 60, 92 y 153 días después del trasplante.

3.6.8. Poda de mantenimiento o sanitaria

Las podas se efectuaron utilizando tijeras de podar, se lo realizó en tres ocasiones a los 40, 132 y 190 días después del trasplante, eliminando hojas viejas, improductivas y enfermas, que pudieron afectar al óptimo desarrollo de la planta.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados alcanzados en el presente trabajo de investigación corresponden al primer ciclo de evaluación en el cultivo de aguacate variedad ‘Hass’ con fertirriego. Este proyecto contempla una duración de tres años, donde se consideró la fase de evaluación desde el establecimiento y etapa de crecimiento vegetativo del cultivo.

4.1. Pruebas de normalidad y varianzas constantes

Las pruebas de normalidad y varianzas constantes para las variables analizadas en este estudio, reflejaron que existe normalidad y homogeneidad de los residuos para todas las variables mediante la comprobación de los estadísticos Shapiro Wilks y Levene, respectivamente. Señalando que la población evaluada presentó un comportamiento normal y homogéneo para su posterior análisis de la varianza (Anexo 8Anexo 9Anexo 10Anexo 11Anexo 12).

4.2. Altura de planta

El análisis de la varianza para altura de planta (Tabla 12), mostró que tanto para la interacción de ambos factores y efectos principales, no se detectaron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$).

Tabla 12. Análisis de la varianza para la altura de planta.

F. de V.	G. L.	Cuadrados medios					
		71 ddt	101 ddt	131 ddt	161 ddt	191 ddt	221 ddt
Total	15						
N	1	10.60 ns	2.18 ns	6.70 ns	13,88 ns	41,63 ns	90.73 ns
K	1	26.27 ns	13.01 ns	2.18 ns	3,72 ns	39,53 ns	13.88 ns
N x K	1	10.63 ns	7.88 ns	9.66 ns	12,82 ns	166,47 ns	90.44 ns
Error	12	34.68	34.20	78.61	100.64	65.24	100.22
CV (%).		13.95	12.11	15.74	16.86	12.98	14.00
Promedio (cm).		42.21	48.29	56.32	59.49	62.22	71.50

ddt: Días después del trasplante.

ns: No significativo.

En la investigación realizada por Lovatt (2001), en plantas de aguacate var ‘Hass’ de 20 años, no evidenció resultado del fertirriego con aplicaciones de N (196 kg ha^{-1}) en brotes en crecimiento, analizados anualmente; sin embargo, la respuesta se demostró al acumular la dosificación en relación con los años. En contraste, Anaya & Burgos (2015) indican que, el crecimiento vegetativo está asociado a la fertilización, donde los efectos pueden verse relacionados con factores intrínsecos como la edad de las plantas, suelo y condiciones ambientales. Halvim *et al.* (1998) y Uchida (2000), concuerdan que el efecto significativo del potasio (K) sobre las plantas es a largo plazo debido a que el aguacate es una planta perenne.

4.3. Diámetro de tallo

Como se observa en la Tabla 13 y Tabla 14, el análisis de la varianza para la variable diámetro de tallo (porta injerto e injerto), tanto para efectos principales y la interacción de ambos factores en estudio, no se detectó diferencias significativas ($\alpha = 0.05$).

Tabla 13. Análisis de la varianza para el diámetro de tallo del porta injerto.

F. de V.	G. L.	Cuadrados medios					
		71 ddt	101 ddt	131 ddt	161 ddt	191 ddt	221 ddt
Total	15						
N	1	0.10 ns	0.13 ns	2.25 ns	0.27 ns	0.03 ns	3.67 ns
K	1	0.52 ns	1.36 ns	0.88 ns	0.98 ns	2.78 ns	1.12 ns
N x K	1	3.29 ns	4.47 ns	2.45 ns	3.83 ns	7.12 ns	14.59 ns
Error	12	1.29	1.53	1.80	2.26	4.07	3.52
CV (%)		11.48	11.86	12.59	12.88	15.32	13.44
Promedio (mm)		9.89	10.42	10.65	11.68	13.16	13.95

ddt: Días después del trasplante.

ns: No significativo.

Tabla 14. Análisis de la varianza para el diámetro de tallo del injerto.

F. de V.	G. L.	Cuadrados medios					
		71 ddt	101 ddt	131 ddt	161 ddt	191 ddt	221 ddt
Total	15						
N	1	1.72 ns	6.29 ns	1.92 ns	2.50 ns	2.20 ns	3.67 ns
K	1	1.37 ns	1.12 ns	0.002 ns	1.43 ns	2.75 ns	0.004 ns
N x K	1	0.95 ns	1.29 ns	1.96 ns	1.94 ns	1.09 ns	2.59 ns
Error	12	1.38	1.63	1.42	2.26	1.48	3.74
Promedio (mm)		8.98	9.90	10.65	11.53	12.83	13.30
CV (%)		13.08	12.88	11.20	9.31	9.47	14.55

ddt: Días después del trasplante.

ns: No significativo.

En contraste a los resultados obtenidos por Fassio *et al.* (2009), reportaron datos superiores en diámetro usando porta injertos diferentes como: Toro Canyon con 14.3 mm y Duke 7 de 13.9 mm, este incremento de diámetro se produjo por la fertilización aplicada (18 – 46- 0 y KNO₃ 104 kg ha⁻¹). Según Vázquez & Ruiz (1993), el incremento en el diámetro del tallo dependerá de la variedad, condiciones ambientales, nutrientes presentes en el suelo, riego y fertilización aplicada a la planta, siendo no significativo.

INTA (2001), afirma que el nitrógeno (N) influye sobre el diámetro del tallo, el cual va de la mano con las cantidades aplicadas, mientras que Martínez *et al.* (2014), consideran que los efectos del K sobre las primeras etapas de la planta son baja en relación al, el efecto de

N, como se observó en la investigación, considerando los nutrientes presentes en el suelo donde se encontró el cultivo y al ser un frutal perenne no se observaron efectos de N y K en la etapa de crecimiento.

4.4. Índice de verdor

Una vez realizado el análisis de la varianza con respecto al índice de verdor (Tabla 15), se observó que tanto para los factores principales (N y K), no se detectó diferencias significativas, mientras que a los 71 y 161 días después del trasplante para la interacción (N por K), mostró significancia estadística ($\alpha = 0.05$). La prueba DMS al 5 % (Tabla 16), encontró que tanto a los 71 y a los 161 días se obtuvo dos rangos de significancia, ubicando en el primer rango al tratamiento n2 x k2 (300 x 350 kg h⁻¹), mientras que para los 161 días quien se encontró en el primer rango los tratamientos n1 x k2 (200 x 350 kg h⁻¹) y n2 x k1 (300 x 250 kg h⁻¹).

Tabla 15. Análisis de la varianza para el índice de verdor.

F. de V.	G. L.	Cuadrados medios					
		71 ddt	101 ddt	131 ddt	161 ddt	191 ddt	221 ddt
Total	15						
N	1	9,45 ns	15,82 ns	25,25 ns	49,35 ns	3,42 ns	3,20 ns
K	1	58,14 ns	13,05 ns	0,012 ns	22,75 ns	18,88 ns	85,79 ns
N x K	1	275,89 *	0,63 ns	0,75 ns	83,54 *	2,15 ns	31,05 ns
Error	12	41,22	33,16	11,87	17,51	14,45	27,69
CV (%)		18,23	10,81	8,78	7,55	6,95	11,56
Promedio (IV)		35,22	53,29	39,25	55,41	54,66	45,52

ddt: Días después del trasplante.

ns: No significativo.

***:** significativo.

Tabla 16. Prueba de DMS al 5 % y promedios para la variable índice de verdor.

Tratamientos	71 ddt	101 ddt	131 ddt	161 ddt	191 ddt	221 ddt
n1 x k1	35,03 ab	51,19	38,22	50,17 b	56,58	49,68
n1 x k2	30,53 b	53,39	37,77	57,13 a	53,67	42,26
n2 x k1	31,61 b	53,58	40,30	58,26 a	54,29	46,00
n2 x k2	43,72 a	54,99	40,72	56,07 ab	53,48	44,15

ddt: Días después del trasplante.

Okanenko & Berstein (1969), sugieren que el bajo contenido de clorofila se debe a la débil estructura del cloroplasto causada por la baja cantidad de K en la planta. Rosas & Echeverría (1998), encontraron que existe una relación entre el índice de verdor de las hojas, disponibilidad y concentración de N en la planta con diferentes dosis de este nutriente (0, 35, 70, 140 y 210 N kg ha⁻¹), demostrando que las dosis aplicadas y etapa vegetativa de la planta influirán sobre el índice de verdor, efecto que en nuestra investigación no se presenció porque se focalizó en plantas jóvenes con distintas dosis.

En la investigación realizada por Martínez (2018) en maíz, encontró que la aplicación de diferentes dosis de fertilización nitrogenada (0, 75, 100 y 125 kg N ha⁻¹) evidenciaron que a partir de los 48 días después del trasplante, fueron altamente significativos para las mediciones realizadas a los 63 y 79 días, observándose un aumento sobre el índice de verdor a la par con el incremento de la dosis. Los bajos valores reportados a los 71 y 161 días pueden verse influenciado por deberse las limitaciones nutricionales y estado alto de madurez, por lo que el contenido de clorofila se ve afectado, existiendo un bajo índice de verdor en la hoja (Giri *et al.*, 2013).

Heike *et al.* (2002) y Salas *et al.* (1998), consideran que el índice de verdor es un método utilizado en varias investigaciones realizadas, para evaluar el estado nutrimental de la planta en relación con la disponibilidad de N en la planta durante las diferentes etapas de crecimiento.

4.5. Área foliar

El análisis de la varianza (Tabla 17) encontró que tanto para los efectos principales y la interacción entre los factores en estudio (N y K) no se detectó diferencias significativas a excepción de a los 161 días en la interacción de los factores, donde se logró detectar significancia estadística ($\alpha = 0.05$). Realizada la prueba de DMS al 5 % para área foliar (Tabla 18), reportó que a los 161 días se encontraron dos rangos de significancia, ubicando en el primer rango al tratamiento n2 x k2 (300 x 350 kg h⁻¹); obtenidos los resultados, la interacción de los altos niveles tanto de N y K expusieron la mayor cantidad de cm² por tratamiento.

Tabla 17. Análisis de la varianza para el área foliar.

F. de V.	G. L.	Cuadrados medios		
		71 ddt	101 ddt	131 ddt
Total	15			
N	1	4.20 ns	0.06 ns	268.22 ns
K	1	122.99 ns	233.55 ns	50.73 ns
N x K	1	25.00 ns	64.68 ns	11.78 ns
Error	12	119.39	134.58	59.98
CV (%)		24.21	24.11	16.61
Promedio (cm²)		45.13	48.12	46.63

ddt: Días después del trasplante.

ns: No significativo.

Tabla 17. Continuación...

F. de V.	G. L.	Cuadrados medios		
		161 ddt	191	221ddt
Total	15			
N	1	453.05 ns	471.65 ns	854.54 ns
K	1	2.19 ns	72.72 ns	0.02 ns
N x K	1	15.05 *	0.32 ns	74.26 ns
Error	12	91.19	135.79	113,1
CV (%)		14.83	16.9	15.52
Promedio (cm²)		64.40	68.93	68.53

ddt: Días después del trasplante.

ns: No significativo.

***:** significativo.

Tabla 18. Prueba de DMS al 5 % y promedios para el área foliar.

Tratamientos	71 ddt	101 ddt	131 ddt	161 ddt	191 ddt	221 ddt
n1 x k1	43.09	46.25	43.46	60.43 ab	61.24	63.33
n1 x k2	46.14	49.87	41.62	57.75 b	65.78	59.10
n2 x k1	41.62	42.35	53.37	69.13 ab	72.38	73.64
n2 x k2	49.66	54.01	48.09	70.33 a	76.36	78.03

ddt: Días después del trasplante.

Es importante recalcar que el N al ser importante en otras funciones en la planta, también aporta favorablemente al desarrollo tanto de hojas y tallos (Bernal & Díaz, 2006). Como lo asegura Fairhurst (1999), el K es el nutriente con mayor efecto sobre la velocidad de crecimiento incidiendo principalmente sobre el área foliar.

Laisk *et al.* (2005) indicaron que, al momento de producción de nuevas hojas, la fotosíntesis se reduce en hojas maduras en relación con la radiación, de tal manera que el efecto de nitrógeno y potasio se debe a la menor necesidad o demanda de estos elementos durante la etapa de crecimiento vegetativo.

Pillimue *et al.* (1998) hace mención sobre la importancia del K, ya que este nutriente cumple con mantener el equilibrio en la absorción del N, prolongando la turgencia en las hojas y facilitando el transporte en la planta. Según (Maldonado, 2002) señala que la aplicación de fertilizantes a los árboles de aguacate, existe un incremento en el desarrollo foliar; por lo que este llega a mejorar la capacidad fotosintética.

4.6. Relación índice de verdor y área foliar

4.6.1. Nitrógeno y Potasio

La relación entre el área foliar y el índice de verdor, para el N y K durante los 71 hasta los 221 días después del trasplante, muestra un comportamiento de relación indirecta entre el índice de verdor y área foliar, debido a que durante el tiempo de investigación ambas

variables tienden a elevarse como a disminuir, llegando un a punto de encuentro final donde mayor será el área foliar en cuanto índice de verdor, apreciándose mejor para K en la Figura 3 y para N en la Figura 4.

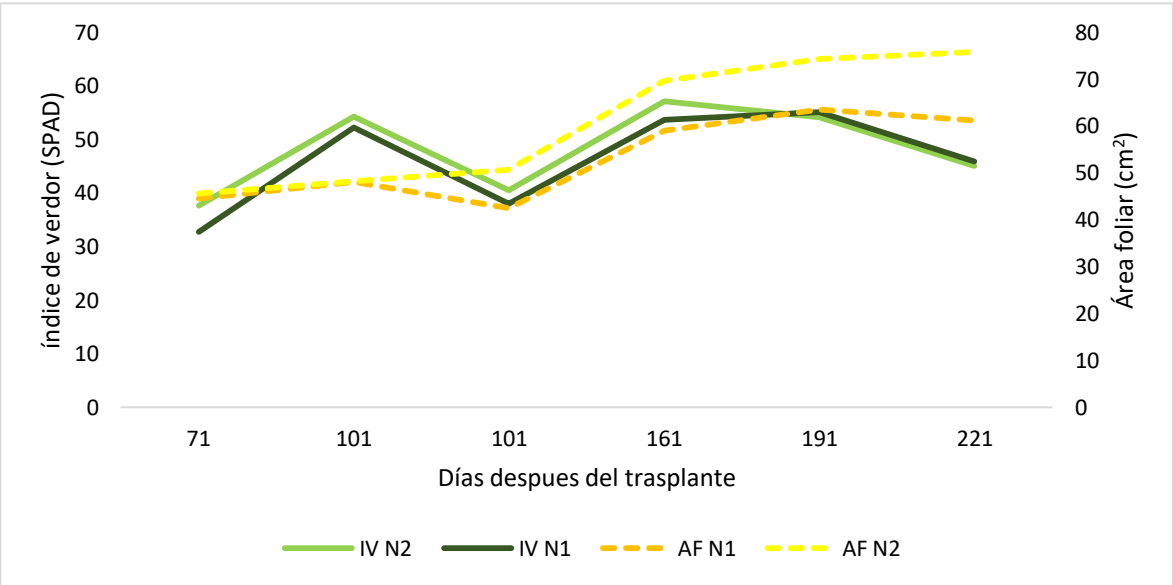


Figura 3. Relación entre el índice de verdor y el área foliar para potasio.

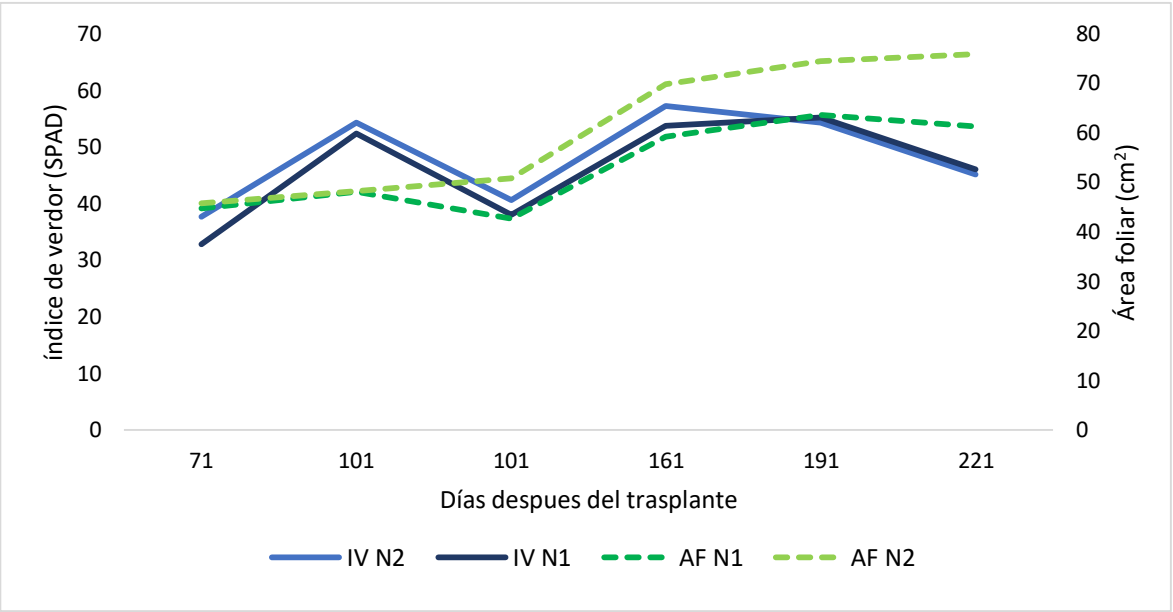


Figura 4. Relación entre el índice de verdor y el área foliar para nitrógeno.

4.7. Concentración de nutrientes

4.7.1. Nitrógeno

El análisis de la varianza para la concentración de nitrógeno foliar (Tabla 19), se encontró que tanto para la interacción de ambos factores en estudio y efectos principales no detecto significancia estadística ($\alpha = 0.05$).

Tabla 19. Análisis de la varianza en la concentración de nitrógeno foliar.

F. de V.	G. L.	Cuadrados medios			
		200 ddt		280 ddt	
Total	15				
N	1	0.05	ns	0.002	ns
K	1	0.07	ns	0.09	ns
N x K	1	0.01	ns	0.06	ns
Error	12	0.04		0.12	
CV (%)		5.41		11.8	
Promedio (%)		3.61		2.90	

ddt: Días después del trasplante.

ns: No significativo.

Tapia (2012), considera que el contenido de nitrógeno en plantas de aguacate jóvenes se encuentra en un óptimo rango entre valores de 2.50 a 4.00 %, esto realizadas en plantas de un huerto recién establecido, tomando en cuenta lo mencionado vemos que el efecto del N sobre la concentración foliar tiene un efecto pues vemos como con el paso del tiempo la concentración bajo.

La concentración de nutrientes presentes en las hojas presenta una diferencia de acuerdo a las regiones productoras de aguacate y según las variedades, encontrándose valores que fluctúan entre 1.63% y 2.31% (Lahav & Whiley, 2002; Maldonado *et al.*, 2007 y Méndez *et al.*, 2008).

4.7.2. Potasio

El análisis de la varianza para la concentración de potasio foliar (Tabla 20), identificó que tanto para los factores en estudio y la interacción de los factores, durante los 200 y 280 días después del trasplante se detectó una alta significancia estadística ($\alpha = 0.05$). Realizada la prueba de DMS al 5 % para la concentración de potasio foliar (Tabla 21) para efectos simples, reporto que a los 200 y 280 días se encontraron dos rangos de significancia estadística, ubicando en el primer rango de significancia a la dosis n2 (300 kg h⁻¹) y k2 (350 kg h⁻¹) respectivamente, demostrando tanto que altas dosis de potasio aplicadas brindan una mayor concentración de K foliar, mientras que realizada la prueba de DMS al 5 % para la concentración de K foliar (Tabla 22), en la interacción mostró como a los 200 días se encontraron dos rangos de significancia estadística, ubicando en el primer rango de

significancia al tratamiento n2 x k2 (300 x 350 kg h⁻¹), a los 280 días se encontraron tres rangos, ubicando en el primer rango al tratamiento n2 x k2 (300 x 350 kg h⁻¹), se observó la interacción a altos niveles tanto de nitrógeno y potasio demostrando la mayor concentración de potasio foliar.

Tabla 20. Análisis de la varianza de la concentración de potasio foliar.

F. de V.	G. L.	Cuadrados medios			
		200 ddt		280 ddt	
Total	15				
N	1	1.30	**	1.69	**
K	1	1.16	**	1.56	**
N x K	1	0.98	**	0.56	**
Error	12	0.02		0.03	
CV (%)		6.60		6.65	
Promedio (ppm)		2.10		2.50	

ddt: Días después del trasplante.

****:** Altamente significativo

Tabla 21. Prueba de DMS al 5 % para la concentración de potasio.

Tratamiento	200 ddt		280 ddt	
n1	1.77	b	2.23	b
n2	2.34	a	2.88	a
k1	1.78	b	2.24	b
k2	2.32	a	2.86	a

ddt: Días después del trasplante.

Tabla 22. Prueba de DMS al 5 % para la concentración de potasio.

Tratamientos	200 ddt		280 ddt	
n1 x k1	1.75	b	2.10	c
n1 x k2	1.79	b	2.35	b
n2 x k1	1.82	b	2.38	b
n2 x k2	2.85	a	3.38	a

ddt: Días después del trasplante.

Este efecto observado puede deberse a la absorción de K ocurre principalmente mediante flujo de masas (Matimati *et al.*, 2014) debido a su forma K⁺ la cual no le permite adherirse a los minerales arcillosos y, por lo tanto, permanece en la solución del suelo y se complementa con el sistema de difusión. Este es dependiente de la disponibilidad de agua en el suelo, lo que explica la efectividad observada por la utilización de KNO₃ en la fertilización del cultivo y la relación entre el K y N en árboles bajo la aplicación de riego, lo cual no ocurre bajo condiciones de déficit de agua (González *et al.*, 2010).

5. CONCLUSIONES

La evaluación de la respuesta del cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) a la aplicación de dos niveles de nitrógeno y potasio por fertirrigación, permitió obtener las siguientes conclusiones:

- La concentración de los nutrientes en estudio no tuvo efecto en relación al nitrógeno, contrario con potasio que mostró efecto sobre el contenido de los mismos en la hoja, el poco efecto del nitrógeno fue influenciado a la dosificación utilizada porque al aplicar dos niveles no se pudieron evidenciar diferencias.
- El efecto del nitrógeno y potasio sobre la relación entre las variables índice de verdor y área foliar en la fase vegetativa del aguacate incidió que, a los 221ddt, tuvo un efecto de manera indirecta, pues ambas curvas llegan a encontrarse en un punto máximo, con esto se muestra que a mayor área foliar menor será el índice de verdor.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar futuras investigaciones en zonas de producción de este frutal, una lámina de riego mayor a la aplicada de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo, utilizando otras variedades injertadas con otros porta injertos.
- Establecer un estudio aplicando diferentes fuentes de fertilizantes y aumentando niveles de N y K para obtención de curvas de absorción, lo cual nos permitirá conocer mejor el efecto de los mismos.

7. RESUMEN

El aguacate (*Persea americana* Mill), originario de América Central y México. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2017), en el Ecuador existen aproximadamente 5579 hectáreas de cultivo, la mayor área de plantación se ubica en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Tungurahua y Azuay (Viera *et al.*, 2016), sin embargo, existen cultivos en regiones más secas del Ecuador como en la Península de Santa Elena (Villavicencio & Vásquez, 2008). Las alternativas de producción en los últimos años se han estudiado con base a diferentes métodos, por lo cual se ha establecido investigar el efecto de la fertirrigación con diferentes dosis de nitrógeno (N) y potasio (K). Los objetivos de esta investigación fueron, evaluar la respuesta del cultivo de aguacate a la aplicación de dos niveles de N y K por fertirrigación, evaluar el efecto de la concentración de nutrientes en la fase de crecimiento vegetativo en el cultivo de aguacate y determinar la relación entre el índice de verdor y el área foliar durante la fase de crecimiento vegetativo. La investigación se desarrolló en la Granja Experimental Tumbaco-INIAP, bajo un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 2 x 2, con cuatro tratamientos, cuatro observaciones y en cada observación nueve plantas con un total de 144 plantas. Los tratamientos resultaron de la combinación de las dosis de N (200, 300 kg ha⁻¹) y K (250, 350 kg ha⁻¹). Las variables analizadas fueron: altura de planta, diámetro de tallo, índice de verdor, área foliar y concentración foliar de nutrientes. Los resultados principales demostraron que las dosis N y K no tuvieron una significancia estadística sobre las variables altura y diámetro de planta a diferencia del índice de verdor, área foliar y concentración de nutrientes. Concluyendo que las dosis tanto bajas como altas de N y K no lograron reflejar un efecto visible en corto tiempo mientras que las altas dosis de tuvieron significancia positiva en el área foliar e índice de verdor, sobre la fase del crecimiento vegetativo del cultivo de aguacate bajo fertirriego en Ecuador.

8. REFERENCIAS

- Alarcón, J., Arévalo, E., Díaz, A., Galindo, J. & González, M. (2012). *Manejo Fitosanitario del Cultivo del Aguacate Hass (Persea americana Mill.)*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario.
- Anaya, C., Burgos, A. (2015). Energy consumption in the management of avocado orchards in Michoacán, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 21 (1), 5-20.
- Arellano, G. & Gutiérrez, M. (2009). *Efecto de la nutrición vegetal en rendimiento y vida poscosecha en hortalizas*. Texcoco, México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- Arpaia, M., Meyer, J., Witney, G., Bender, G., Stottlemeyer, D. & Robinson, P. (1996). *Ensayo de fertilización con nitrógeno*. US: Anuario Social del aguacate en California.
- Arrieta, B., Villegas, A., Hernández, A. & Rodríguez, M. (2010). *Estomas y vigor de naranjo "valencia" injertado en porta injertos tolerantes al virus de la tristeza de los cítricos*. Fitotecnia Mexicana 33 (3): 257 – 263
- Baíza, V. (2003). *Guía técnica del cultivo de aguacate*. Santa Tecla, Honduras: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Baraona, C. & Sancho, E. (2019). *Aguacate y Mango, Fruticultura Especial*. Disponible en URL:
<https://books.google.com.ec/books?id=oPbpuCGyazcC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false> [consulta 29 de julio del 2019]
- Benimeli, M., Plasencia, A., Corbella, R., Andina, D., Sanzano, A., Sosa, F. & Fernández, J. (2019). *El nitrógeno del suelo*. Argentina: Universidad Nacional de Tucumán.
- Bernal, E. & Díaz, D. (2006). *Tecnología para el cultivo de aguacate*. Antioquia, Colombia: CORPOICA, Manual Técnico Número. 5
- Brodhead, J., Muxworthy, A., Ong, C. & Black, C. (2003). *Comparación de métodos para determinar el área foliar en hileras de árboles*. Revista Meteorología Agrícola y Forestal 115: 151 – 161
- Calabrese, F. (1992). *El Aguacate*. (2ª edición). Madrid, España: Mundi - Prensa.
- Calvache, M. (2002). *El riego en el Ecuador, Manejo del agua: Principios fundamentales*. Portoviejo, Ecuador: Memorias del VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo.
- Calvache, M. (2008). *Fertirriego en Ecuador, Presente y Futuro*. Guayaquil, Ecuador: Memorias del X Congreso Ecuatoriano de la Ciencias del Suelo.

- Cartagena, Y. (2014). *Determinación de la demanda nutrimental de nitrógeno en brócoli (Brassica oleracea italica)*. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Doctor en Ciencias. Montecillo, México: Colegio de Postgraduados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas.
- Cerdas, M., Calderón, M. & Cordero, E. (2006). *Manual de Manejo pre y pos cosecha de Aguacate (Persea americana)*. San José, Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, Mg., & González, L. (2011). *Grupo Insfostat, FCA*, Universidad Nacional de Córdoba.
- Echeverría, H., Bergonzi, R. & Ferrari, J. (1993). *Estimación de la mineralización del nitrógeno en suelos*. Mendoza, Argentina: Actas XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Fairhurst, T. (1999). *Uso eficiente de nutrientes en la palma aceitera: medición y manejo*. The Planter 75, 173 – 177
- Fassio, C., Heath, R., Arpaia, M. & Castro, M. (2009). *Flujo de savia en árboles de aguacate "Hass" en dos porta injertos clonales en relación con la anatomía del xilema*. Ciencia Horticultura 120: 8 – 13
- Ferreira, R., Selles, G., Gil, P. & Ruiz, R. (2007). *Manejo del riego y suelo en palto*. La Cruz, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 160
- Ferreira, R., Selles, G., Ruiz, R., Gil, P. & Barrera, C. (2008). *Manejo de la clorosis férrica en palto*. La Cruz, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 181
- Giri, S., Shrivastava, D., Deshmukh, K. & Dubedy, P. (2013). *Efecto de la contaminación del aire sobre el contenido de clorofila de las hojas*. Revista de investigación Agrícola Actual 1(2): 93-98.
- González, V., Jean, D. & Gastal, F. (2010). *Déficit hídrico y nitrógeno nutricional de los cultivos*. Buenos Aires, Argentina: Agronomía Desarrollo Sostenible.
- González, M., Vicente, A., Pérez, A., Pérez, M., Romero, D., & Cazorla, M. (2013). *Evaluation of the effectiveness of biocontrol bacteria against avocado white root rot occurring under commercial greenhouse plant production conditions*. Biological Control 67 (2): 94 – 100
- Godínez, M., Martínez, M., Melgar, N. & Méndez, W. (2000). *El cultivo del aguacate en Guatemala. (1° edición)*. Guatemala: Proyecto de Desarrollo de la Fruticultura y Agroindustria.

- Goulding, K. (1987). *Fijación y liberación del potasio*. Baden Bei Wien, Australia: Instituto Internacional de Potasa.
- Guerrero, F., Alejo, G. & Sánchez, R. (2018). *Respuesta del cultivo de aguacate (Persea americana Mill.) variedad Hass a la aplicación de nitrato de potasio*. Acta Agronomía 67 (3): 425-430
- Halvim, J., Beaton, J., Tisdale, S. & Nelson W. (1998). *Fertilidad del suelo y fertilizantes*. (6° edición). Upper Saddle River, US: s.n.
- Heike, S., Menzel, C. & Lüdders, P. (2002) *Efectos del desarrollo foliar, corto y frutal en la fotosíntesis de lichis (Litchi chinensis)*. Fisiología de árboles. 22: 955 – 961
- Huaraca, H., Viteri, P., Sotomayor, A., Viera, W. & Jiménez, J. (2016). *Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo integrado del cultivo de aguacate (Persea americana Mill.)*. Quito, Ecuador: INIAP.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2017). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*. Quito, Ecuador: Autor.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2019). *Anuario Meteorológico*. Quito, Ecuador: Autor.
- Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (2001). *Programa Nacional de Maíz (Zea mays L.)* Nicaragua: Proyecto de Investigación y Desarrollo.
- Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P. & Baret, F. (2004). *Revisión de métodos para la determinación del índice de área foliar in situ Parte I. Teorías, sensores y fotografía hemisférica*. Revista Meteorología Agrícola y Forestal. 121: 19 – 35
- Kucharik, C., Norman, J. & Gower, S. (1998). *Mediciones del área de la rama y ajuste del índice del área de la hoja a mediciones indirectas*. Revista Meteorología Agrícola y Forestal. 91: 69 - 88
- Lao, C. (2013). *Fertilización en el cultivo de palto*. Huaquish, Perú: s.n.
- Lahav, E. & Whiley, A. (2002). *Riego y nutrición mineral en aguacate: botánica, producción y usos*. Londres: Prensa Internacional.
- Laisk, A., Eichelmann, H., Oja, V., Rasulov, B., Padu, E., Bichele, I., Pettai H. & Kull, O. (2005). *Ajuste de la fotosíntesis de la hoja a la sombra en un dosel natural: parámetros de velocidad*. Plant Cell Environ. 28: 375 - 388
- Lemus, G., Ferreyra, R., Gil, P. & Maldonado, P. (2005). *El Cultivo del Palto*. (2° edición). La Cruz, Chile: Instituto Nacional de Innovación Agraria.

- León, J. (1999). *Manual del Cultivo de Aguacate (Persea americana) para los Valles Interandinos del Ecuador*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Li, J., Meng, Y. & Li, B. (2007). *Evaluación de campo de la uniformidad de fertilización según el tipo de inyector y la variabilidad de fabricación de los emisores*. Ciencia del riego. 25: 117 - 125
- Liotta, M. (2015). *Manual de capacitación: riego por goteo*. (1° edición). Rivadavia, Argentina: Unidad para el Cambio Rural.
- Lovatt, C. (2001). *Fertilización nitrogenada aplicada en el suelo, debidamente cronometrado, incremento del rendimiento y tamaño del fruto en aguacate "Hass"*. Revista de la Sociedad Americana de Ciencia Hortícola. 126: 555 - 559
- López, H., Menocal, O., Castillo, G. & Miranda, G. (2009). *Cultivo del Aguacate*. Managua, Guatemala: Instituto Nacional de Transformación Agraria, Guía Tecnológica N° 9
- Maldonado, T. (2002). *Diagnóstico nutrimental para la producción de aguacate Hass*. Texcoco, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Maldonado, R., Álvarez, M., Almaguer, G., Barrientos, A. & García, R. (2007). *Estándares nutrimentales para aguacatero "Hass"*. Revista Chapingo. Serie Horticultura. 1 (1): 102 – 108
- Marschner, P. (2012). *Nutrición mineral de Marschner de plantas superiores*. (3° edición). Londres, Reino Unido. Waltham y San Diego, Estados Unidos: Prensa Académica.
- Martínez, J., Muena, V. & Ruiz, R. (2014). *Nutrición y fertilidad en Palto*. La Cruz, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín N° 283
- Martínez, C. (2018). *Evaluación de las deficiencias tempranas de nitrógeno en maíz (Zea mays L.), y su relación con los contenidos de clorofila por influencia de dosis de fertilización nitrogenada, Yalagüina, Nicaragua, 2017*. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Título de Ingeniería Agrónoma. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.
- Matimati, I., Verboom, G. & Cramer, M. (2014). *Regulación del nitrógeno en la transpiración controla en la adquisición de nutrientes por flujo de masas*. Revista Experimental Botánica. 65 1: 159-168
- Mattar, M. & Pizarro, C. (2007). *Determinación de la curva de absorción de nutrientes, mediante sondas extractómetras y análisis foliares en palto (Persea americana Mill.) cv hass*. Chile: VI Congreso Mundial del Aguacate.
- Medina, J. (1988). *Riego por goteo*. (2° edición) Madrid, España: Mundi - Prensa.

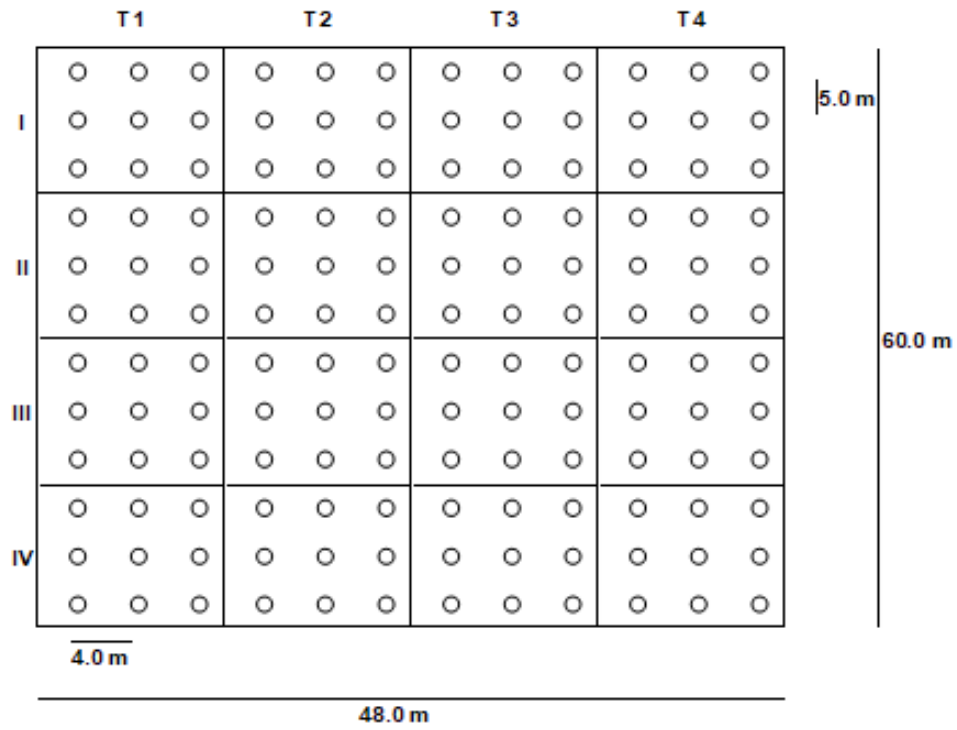
- Mejía, E., (2011). *Aguacate (Persea americana Mill)*. Colombia: s.n.
- Méndez, T., Palacios, S., & Rodríguez, L. (2008). *Análisis de suelo, foliar y de calidad del agua para el cultivo del aguacatero*. Terra Latinoamericana 26 (1): 75 - 84
- Mengel, K. & Kirkby, E. (1987). *Potasio en "Principios de Nutrición Vegetal"*. Bern, Suiza: s.n.
- Mirassón, H., Faraldo, M., Fioretti, M. & Miravalles, M. (2010). *Relaciones entre el índice de verdor y el nivel hídrico foliar en trigo con diferentes sistemas de labranza*. Revista Internacional de Botánica Experimental 79: 183 – 187
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. (2019). Disponible en URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> [consultado 29 de julio del 20019]
- Okanenko, A. & Berstein, B. (1969). *Potasio, fotosíntesis y metabolismo de fosfato en remolacha azucarera*. Naukova Dumka, Kiev, Ucrania.
- Pillajo, C., León J., Lalama, M. & Vallejo, C. (2013). *Estandarización de una metodología de multiplicación clonal de porta injertos de aguacate (Persea americana Mill.) Tumbaco, Pichincha*. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al Título de Ingeniera Agrónoma. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Pillimue, G., Barrera, N. & De Cantillo, S. (1998). *Determinación de deficiencias de elementos mayores en plantas de tomate de árbol*. Acta Agronómica. 48(3/4): 62 - 67
- Rodríguez, E. & Guzmán, M. (2004). *Características de los fertilizantes para su uso en la fertirrigación*. España: s.n.
- Rozas, S. & Echeverría, H. (1998). *Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD-502) en distintos estadios del ciclo del cultivo del maíz y el rendimiento en grano*. Balcarce, Argentina: s.n.
- Salas, H., Martellotto, E., Lovera, E. & Salinas, A. (1998). *Riego y agricultura de precisión*. Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Salazar, S. & Lazcano, I. (1999). *Diagnostico nutrimental de aguacate "Hass" bajo condiciones de temporal*. Revista Chapingo Serie Horticultura 5: 173 – 184
- Salazar S. (1999). *Nutrición y deficiencia de hierro: una revisión con énfasis en aguacate (Persea americana Mill.)*. Revista Chapingo Serie Horticultura 5(2): 67 – 76
- Salazar S. (2002). *Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones*. Querétaro, México: Instituto de la Potasa y el Fósforo.

- Salazar, S; Durán, I. & Vargas, L. (2011). *Influencia del clima, humedad del suelo y época de floración sobre la biomasa y composición nutrimental de frutos de aguacate 'Hass' en Michoacán, México*. Rev. Chapingo Serie Horticultura. 17: 183 - 194
- Servicio de Información de Censo Agropecuario (2002). *III Censo Nacional Agropecuario*. Quito: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. V. 1
- Somarriba, C. (1998). *Texto granos básicos*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.
- Téliz, O. (2000). *El aguacate y su manejo integrado*. México: Mundi - Prensa.
- Tapia, V. (2012). *Nutrición orgánica y convencional de aguacate en Michoacán*. México: s.n.
- Uchida, R., (2000). *Nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas: funciones de los nutrientes y síntomas de deficiencia*. Manejo de nutrientes de plantas en los suelos de Hawai. Enfoque para la agricultura tropical y subtropical. Hawai: Universidad de Hawai en Manoa.
- Ushiña, R. (2017). *Evaluación de frutos de aguacate nacional (Persea americana Mill.) para la producción de plantas injertadas de la variedad Hass*. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al Título de Ingeniera Agrónoma. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Vásquez, G., & Ruíz, G. (1993). *Influencia de cultivos antecesores y métodos de control de malezas sobre la cenosis de las malezas, crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos de maíz (Zea mays L.), Sorgo (Sorghum bicolor L.), Moench y Pepino (Cucumis sativus L.)*. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al Título de Ingeniera Agrónoma. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.
- Van der Werff, H. (2002). *A synopsis of Persea (Lauraceae) in Central America*. Novon, 12, 575 -86.
- Viera, W., Ponce, L., Morillo, W. & Vásquez, W. (2016). *Variabilidad genética del germoplasma de aguacate para el Fito mejoramiento*. International Journal of Clinical and Biological Sciences 1 (1): 24 – 33
- Villavicencio, A. & Vásquez, W. (2008). *Guía Técnica de Cultivos*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

- Zambrano, J. (2017). *Respuesta del cultivo de la rosa (Rosa sp.) a la aplicación de Ca, Mg y B, mediante fertirrigación bajo condiciones de invernadero, en el cantón Cayambe, provincia de Pichincha*. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Carchi, Ecuador: Universidad Técnica de Babahoyo.
- Zamudio, B., Mendoza, N., Alcántar, G. & Etchevers, J. (2011). *Perdida de nitratos y salinización del suelo por riego por goteo con nitrógeno*. Terra Latinoamericana 9 (3): 239 – 248

9. ANEXOS

Anexo 1. Croquis del Experimento.



Anexo 2. Fotografías de la investigación, Tumbaco, Pichincha. 2019.



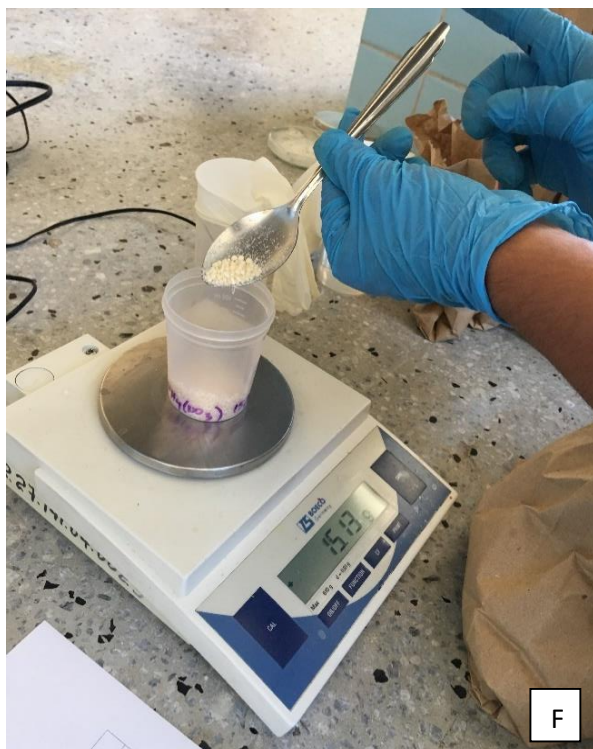
- A. Parcela de investigación en campo, Granja Experimental “Tumbaco”.
- B. Computador del sistema de riego.
- C. Tanque de 500 litros, dispuestos para cada uno de los tratamientos.

Anexo 3. Fotografías de la investigación, Tumbaco, Pichincha. 2019.



- D.** Prueba de campo, tomando una cantidad de agua por un tiempo determinado y toma de presión al final del lateral de riego
- E.** Muestreo para el análisis físico – químico del suelo.

Anexo 4. Fotografías de la investigación, Tumbaco, Pichincha. 2019.



F



G



H



I

- F. Pesaje de los fertilizantes para cada tratamiento en estudio.
- G. Dosis pesadas para cada tratamiento.
- H. Toma de datos de altura de planta.
- I. Toma de datos de área foliar.

Anexo 5. Resultados de textura del suelo a tres profundidades 10, 20, 30 cm.

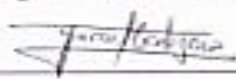
	ESTACIÓN EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" DEPARTAMENTO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS Panamericana sur Km. 1. Apartado 17-01-340 Teléfono: 3007284. Email: laboratorio.dmsa@iniap.gob.ec Mejía -Ecuador	
---	--	---

REPORTE DE ANÁLISIS DE FÍSICA DE SUELOS: Curva de Retención de Humedad en el suelo

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre: INIAP Dirección: Ciudad: Teléfono: E-mail:	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre: Granja Tumbaco Provincia: Pichincha Cantón: Quito Parroquia: Tumbaco Ubicación: Granja Tumbaco. Exp. Aguacate (A)	PARA USO DEL LABORATORIO No. Muestra Lab: 4844 - 4852 Fecha de Muestreo: 04 - julio - 2018 Fecha de Ingreso: 09 - julio - 2018 Fecha de Salida: 27 - agosto - 2018
--	---	---

No. Laboratorio	Identificación de la muestra	Porcentaje de Humedad gravimétrica (Hg) a diferentes Bares de succión						
		0.0 bar	0.33 bar	0.5 bar	1.0 bar	1.5 bar	5.0 bar	15.0 bar
4853	A P1 I (0 -10 cm)	70.9	33.0	27.9	22.2	17.3	15.0	12.7
4854	A P1 II (0 -10 cm)	71.4	32.8	29.6	19.6	14.1	12.0	10.1
4855	A P1 III (0 -10 cm)	58.3	28.4	24.3	22.2	12.1	10.7	9.5
4856	A P2 I (10 -20 cm)	70.1	31.9	27.2	24.8	18.9	16.5	14.5
4857	A P2 II (10 -20 cm)	64.8	36.7	31.3	28.3	16.1	13.6	11.9
4858	A P2 III (10 -20 cm)	53.0	28.4	25.5	22.1	12.6	10.5	9.4
4859	A P3 I (20 - 30 cm)	61.3	29.8	24.6	23.2	17.1	14.9	13.1
4860	A P3 II (20 - 30 cm)	61.0	28.3	25.4	24.7	13.6	12.3	10.9
4861	A P3 III (20 - 30 cm)	53.7	27.5	25.8	24.8	11.3	10.9	9.7

Humedad Aprovechable se obtiene de la diferencia entre Capacidad de Campo (CC) 0,33 bares y Punto de Marchitez Permanente (PMP) 15 bares.
 Se considera que en la generalidad de los casos el 50% de la Humedad Aprovechable es la Humedad Fácilmente Aprovechable (HFA) y la diferencia es humedad difícilmente aprovechable (HDA)

 RESPONSABLE DEL LABORATORIO	 LABORATORISTA
---	---

Anexo 6. Análisis físico del suelo.



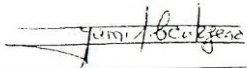
ESTACIÓN EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"
DEPARTAMENTO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS
 Panamericana sur Km. 1. Apartado 17-01-340
 Teléfono: 3007284. Email: laboratorio.dmsa@iniap.gob.ec
 Mejía -Ecuador



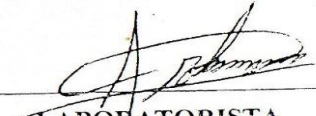
REPORTE DE ANÁLISIS DE FÍSICA DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD			PARA USO DEL LABORATORIO	
Nombre: INIAP Dirección: Ciudad: Teléfono: E-mail:		Nombre: Granja Tumbaco Provincia: Pichincha Cantón: Quito Parroquia: Tumbaco Ubicación: Granja Tumbaco. Exp. Aguacate			No. Muestra Lab: 4844 - 4852 Fecha de Muestreo: 04 - julio - 2018 Fecha de Ingreso: 09 - julio - 2018 Fecha de Salida: 11 - julio - 2018	

No. Laboratorio	Identificación de la muestras	($\%$)			Clase Textural
		Arena	Limo	Arcilla	
4853	A P1 - I	50	31	19	Franco
4854	A P1 - II	54	29	17	Franco Arenoso
4855	A P1 - III	58	27	15	Franco Arenoso
4856	A P2 - I	50	31	19	Franco
4857	A P2 - II	54	29	17	Franco Arenoso
4858	A P2 - III	54	29	17	Franco Arenoso
4859	A P3 - I	50	31	19	Franco
4860	A P3 - II	58	27	15	Franco Arenoso
4861	A P3 - III	58	27	15	Franco Arenoso



RESPONSABLE DEL LABORATORIO



LABORATORISTA

Anexo 7. Análisis físico del suelo.

 INIAP INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS	ESTACIÓN EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" DEPARTAMENTO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS Panamericana sur Km. 1. Apartado 17-01-340 Teléfono: 3007284. Email: laboratorio.dmsa@iniap.gob.ec Mejía -Ecuador	
---	---	---

REPORTE DE ANÁLISIS DE FÍSICA DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre: INIAP Dirección: Ciudad: Teléfono: E-mail:	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre: Granja Tumbaco Provincia: Pichincha Cantón: Quito Parroquia: Tumbaco Ubicación: Granja Tumbaco. Exp. Aguacate	PARA USO DEL LABORATORIO No. Muestra Lab: 4853 - 4861 Fecha de Muestreo: 04 - julio - 2018 Fecha de Ingreso: 09 - julio - 2018 Fecha de Salida: 11 - julio - 2018
--	---	---

No. Laboratorio	Identificación de la muestras	Da g/cc	Humedad gravimétrica (g agua / g Suelo)	Humedad volumétrica (g agua /ml Suelo)	Materia Orgánica (%)
4853	A P1 - I	0,87	32,4	28,2	3.9
4854	A P1 - II	0,95	29,6	28,2	4.2
4855	A P1 - III	1,31	22,7	29,6	3.7
4856	A P2 - I	1,06	24,8	26,4	3.8
4857	A P2 - II	1,14	22,9	26,0	4.9
4858	A P2 - III	1,42	18,0	25,5	3.1
4859	A P3 - I	1,02	25,9	26,4	2.5
4860	A P3 - II	1,06	23,4	24,8	2.3
4861	A P3 - III	1,15	9,6	11,0	2.5

[Signature]

RESPONSABLE DEL LABORATORIO

[Signature]

LABORATORISTA

Anexo 8. Pruebas de normalidad y varianzas constantes, para altura de planta.

Shapiro Wilks	71 ddt	101 ddt	131 ddt	161 ddt	191 ddt	221 ddt
p-valor	0.0897	0.3492	0.4464	0.2940	0.4762	0.8254

F. de V.	p-valor					
	71 ddt	101 ddt	131 ddt	161 ddt	191 ddt	221 ddt
N	0.7304	0.1431	0.5883	0.4642	0.9726	0.2932
K	0.8595	0.9492	0.4518	0.6324	0.7030	0.5487
N x K	0.5828	0.8447	0.6792	0.8411	0.4602	0.8286

Anexo 9. Pruebas de normalidad y varianzas constantes, para diámetro de tallo.

Porta Injerto

Shapiro Wilks	71 ddt	101 ddt	131 ddt	161 ddt	191 ddt	221 ddt
p-valor	0.7728	0.8645	0.9896	0.9143	0.9715	0.8817

F. de V.	p-valor					
	71 ddt	101 ddt	131 ddt	161 ddt	191 ddt	221 ddt
N	0.0665	0.0689	0.4530	0.2966	0.2158	0.0273
K	0.9880	0.8573	0.3804	0.8376	0.8928	0.7475
N x K	0.4801	0.8419	0.2887	0.4671	0.2130	0.7980

Injerto

Shapiro Wilks	71 ddt	101 ddt	131 ddt	161 ddt	191 ddt	221 ddt
p-valor	0.9774	0.8874	0.5902	0.4528	0.9627	0.8609

F. de V.	p-valor					
	71 ddt	101 ddt	131 ddt	161 ddt	191 ddt	221 ddt
N	0.1877	0.1087	0.1786	0.0063	0.0503	0.7765
K	0.5136	0.5997	0.2898	0.0328	0.6931	0.0466
N x K	0.6301	0.2964	0.1775	0.1724	0.2513	0.5952

Anexo 10. Pruebas de normalidad y varianzas constantes, para índice de verdor.

Shapiro Wilks	71 ddt	101 ddt	131 ddt	161 ddt	191 ddt	221 ddt
p-valor	0.6253	0.1200	0.9421	0.1143	0.0583	0.9868

F. de V.	p-valor					
	71 ddt	101 ddt	131 ddt	161 ddt	191 ddt	221 ddt
N	0.5282	0.6832	0.2121	0.4449	0.9822	0.0903
K	0.4010	0.0920	0.2635	0.9412	0.4892	0.2447
N x K	0.1347	0.9352	0.6482	0.0547	0.8936	0.4973

Anexo 11. Pruebas de normalidad y varianzas constantes, para área foliar.

Shapiro Wilks	71 ddt	101 ddt	131 ddt	161 ddt	191 ddt	221 ddt
p-valor	0.5324	0.2655	0.6530	0.7928	0.0894	0.6801

F. de V.	p-valor					
	71 ddt	101 ddt	131 ddt	161 ddt	191 ddt	221 ddt
N	0.6041	0.9762	0.2762	0.7069	0.2562	0.4276
K	0.8730	0.8974	0.4083	0.7075	0.3138	0.3338
N x K	0.3917	0.4750	0.0409	0.1578	0.2297	0.9513

Anexo 12. Pruebas de normalidad y varianzas constantes, para concentración de nutrientes.

Nitrógeno

Shapiro Wilks	200 ddt	280 ddt
p-valor	0.1731	0.3137

F. de V.	p-valor	
	200 ddt	280 ddt
N	0.3783	0.5322
K	0.5170	0.0135
N x K	0.2490	0.9999

Potasio

Shapiro Wilks	200 ddt	280 ddt
p-valor	0.8779	0.9142

F. de V.	p-valor	
	200 ddt	280 ddt
N	0.6843	0.3818
K	0.0670	0.0185
N x K	0.1525	0.0185

Anexo 13. Altura de planta.

Tratamiento	Repetición	71 ddt	104 ddt	133 ddt	161 ddt	190 ddt	230 ddt
1	1	40.03	47.50	56.93	59.370	67.10	80.93
1	2	43.03	46.70	50.73	49.70	51.63	64.57
1	3	43.13	46.10	55.27	56.60	65.33	75.47
1	4	54.27	60.77	69.53	74.07	77.57	87.77
2	1	37.93	44.53	50.80	52.33	59.10	70.20
2	2	49.43	57.10	72.77	75.33	60.37	89.80
2	3	42.53	47.93	55.07	53.43	56.20	66.87
2	4	33.80	38.68	44.65	47.63	47.58	55.40
3	1	37.40	43.30	47.73	49.23	53.87	63.27
3	2	36.63	46.57	52.00	59.83	65.33	69.03
3	3	48.17	50.53	58.07	61.87	60.53	62.87
3	4	45.23	52.10	63.27	69.10	69.00	75.50
4	1	37.40	43.30	47.73	49.23	53.87	63.27
4	2	36.63	46.57	52.00	59.83	65.33	69.03
4	3	46.20	50.93	64.30	69.97	73.63	82.07
4	4	43.47	50.10	60.30	64.30	69.13	67.87

ddt: Días después del trasplante.

Anexo 14. Diámetro del porta injerto.

Tratamiento	Repetición	71 ddt	104 ddt	133 ddt	161 ddt	190 ddt	230 ddt
1	1	12.27	13.60	10.55	13.40	16.37	17.35
1	2	10.80	11.30	11.38	11.37	13.64	14.61
1	3	9.15	9.60	9.88	11.00	12.24	13.24
1	4	10.17	10.83	11.81	13.37	14.56	17.41
2	1	10.12	10.17	10.21	10.97	11.86	12.27
2	2	10.82	11.31	11.97	13.33	15.60	16.93
2	3	9.39	9.88	9.41	11.10	12.71	13.50
2	4	6.99	7.41	7.02	7.85	7.97	10.15
3	1	9.09	9.46	9.77	10.33	11.40	11.91
3	2	8.98	9.80	10.74	12.23	13.29	13.01
3	3	9.50	10.11	10.48	10.87	11.98	12.29
3	4	10.57	11.00	12.50	12.83	15.16	13.93
4	1	10.51	10.80	10.56	11.33	13.81	13.71
4	2	10.20	10.49	10.33	11.27	12.47	13.52
4	3	10.02	10.97	12.39	13.40	14.25	15.60
4	4	9.59	10.01	11.46	12.20	13.30	13.83

ddt: Días después del trasplante.**Anexo 15.** Diámetro del injerto.

Tratamiento	Repetición	71 ddt	104 ddt	133 ddt	161 ddt	190 ddt	230 ddt
1	1	8.44	9.11	10.97	11.97	13.75	14.42
1	2	9.74	10.26	10.78	11.37	11.73	13.48
1	3	7.07	7.81	9.49	10.07	11.12	13.03
1	4	9.16	10.00	11.41	11.33	12.63	15.59
2	1	8.41	8.49	9.07	10.00	12.27	12.14
2	2	10.80	12.12	12.79	13.53	14.96	16.06
2	3	9.05	9.19	9.56	11.67	13.08	14.16
2	4	6.55	7.22	8.33	9.15	10.15	10.98
3	1	9.10	10.91	10.37	11.13	12.99	12.44
3	2	8.04	9.82	11.83	11.33	13.20	12.95
3	3	9.56	10.25	10.55	11.43	12.15	12.82
3	4	8.39	8.94	9.87	11.23	11.77	11.63
4	1	9.68	10.89	11.70	12.87	14.16	13.67
4	2	10.54	11.21	11.83	11.90	13.83	13.53
4	3	10.38	11.74	11.42	12.80	14.21	16.45
4	4	8.78	10.47	10.37	12.73	13.31	9.45

ddt: días después del trasplante.

Anexo 16. Área foliar.

Tratamiento	Repetición	71 ddt	104 ddt	133 ddt	161 ddt	190 ddt	230 ddt
1	1	61.94	57.85	59.95	79.31	75.98	77.24
1	2	38.48	47.92	35.86	45.74	43.58	49.71
1	3	27.50	30.69	45.66	59.35	60.19	62.30
1	4	44.44	48.54	32.37	57.30	65.19	64.08
2	1	45.11	52.63	46.70	59.88	71.44	57.28
2	2	41.35	45.72	38.34	63.51	77.45	61.67
2	3	38.17	34.93	38.50	52.40	68.52	65.24
2	4	59.91	66.20	42.92	55.19	45.71	52.22
3	1	44.15	29.96	55.53	67.55	70.31	73.77
3	2	50.60	54.65	56.48	69.30	83.57	86.44
3	3	32.20	35.06	51.37	62.81	55.27	53.42
3	4	39.51	49.73	50.08	76.85	80.35	80.93
4	1	38.39	44.19	40.58	57.74	78.92	69.47
4	2	44.98	49.22	47.92	71.60	73.94	90.58
4	3	51.40	55.12	58.97	83.47	74.42	78.96
4	4	63.87	67.52	44.88	68.50	78.15	73.10

ddt: Días después del trasplante.

Anexo 17. Índice de verdor.

Tratamiento	Repetición	71 ddt	104 ddt	133 ddt	161 ddt	190 ddt	230 ddt
1	1	28.09	54.12	41.23	51.50	58.71	47.17
1	2	39.18	50.43	39.26	48.40	56.31	48.73
1	3	32.29	47.71	38.12	50.73	59.16	51.33
1	4	40.54	52.50	34.28	50.06	52.13	51.47
2	1	33.78	51.05	43.24	55.07	52.25	46.95
2	2	25.87	63.24	39.55	56.59	57.28	37.30
2	3	27.63	49.14	37.97	64.17	56.46	42.38
2	4	34.85	50.14	30.33	52.68	48.70	42.40
3	1	34.81	51.57	40.50	56.41	58.30	42.12
3	2	35.33	50.89	42.39	66.97	54.58	52.67
3	3	25.51	52.95	39.75	53.61	50.23	43.13
3	4	30.77	58.89	38.57	56.03	56.57	46.06
4	1	38.60	52.21	39.71	52.21	54.44	52.95
4	2	34.81	54.34	37.98	59.16	57.81	33.55
4	3	45.00	66.44	41.00	56.89	54.36	47.63
4	4	56.48	46.95	44.18	56.02	47.31	42.47

ddt: Días después del trasplante.

Anexo 18. Concentración de nutrientes a los 200 días después del trasplante.

Identificación		Análisis Foliar										
		%						ppm				
Tratamiento	Repetición	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn
1	1	3.78	0.25	1.62	1.57	0.53	0.32	32.70	25.20	8.30	141.80	101.70
1	2	3.77	0.26	1.76	1.58	0.47	0.32	33.50	24.20	9.00	132.10	101.30
1	3	3.62	0.26	1.71	1.59	0.48	0.33	32.60	23.90	8.60	148.70	104.10
1	4	3.66	0.27	1.89	1.55	0.53	0.35	38.70	25.70	9.20	131.10	149.20
2	1	3.34	0.31	1.93	1.06	0.41	0.31	27.50	26.80	7.60	89.50	74.00
2	2	3.56	0.23	1.76	1.52	0.43	0.32	28.00	20.00	6.20	88.90	124.10
2	3	3.63	0.29	1.62	1.58	0.45	0.34	30.00	32.10	8.70	110.30	81.50
2	4	3.92	0.28	1.84	1.64	0.50	0.35	32.80	29.40	10.40	132.30	150.40
3	1	3.71	0.26	1.83	1.59	0.53	0.35	28.10	23.60	8.00	110.40	163.50
3	2	3.92	0.28	1.87	1.35	0.41	0.36	22.50	26.50	8.30	127.60	167.80
3	3	3.43	0.25	1.74	1.33	0.48	0.32	32.30	22.90	9.00	108.10	136.00
3	4	3.50	0.26	1.84	1.75	0.46	0.33	26.20	24.10	8.00	102.40	144.40
4	1	3.33	0.27	2.73	1.28	0.26	0.33	33.50	31.50	7.10	145.60	118.20
4	2	3.38	0.27	2.64	1.13	0.43	0.36	38.40	25.00	7.50	160.60	100.20
4	3	3.39	0.28	2.90	1.34	0.47	0.33	34.20	29.20	6.30	126.20	148.60
4	4	3.76	0.31	3.14	1.21	0.45	0.36	39.60	34.10	9.80	179.90	143.20

ppm: Partes por millón.

Anexo 19. Concentración de nutrientes a los 280 días después del trasplante.

Identificación		Análisis Foliar										
		%						ppm				
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn
1	1	3.09	0.38	2.20	1.88	0.55	0.44	348.80	222.20	3.70	133.60	158.90
1	2	2.77	0.37	2.07	2.08	0.70	0.46	106.60	143.90	5.00	139.50	115.80
1	3	2.34	0.32	1.88	1.58	0.55	0.42	240.00	219.30	5.90	121.90	83.90
1	4	3.34	0.35	2.18	1.67	0.47	0.42	111.10	165.60	6.10	134.40	145.50
2	1	3.02	0.33	2.34	1.55	0.60	0.41	67.80	169.50	6.50	112.40	139.70
2	2	2.94	0.29	2.46	1.44	0.42	0.37	57.70	228.10	5.30	97.90	134.60
2	3	2.66	0.28	2.38	2.81	0.64	0.37	44.30	416.30	7.20	147.00	177.10
2	4	3.01	0.32	2.23	2.10	0.61	0.43	49.60	515.30	8.70	140.80	148.90
3	1	2.61	0.29	2.33	2.25	0.59	0.38	53.40	191.60	6.80	124.10	427.60
3	2	3.12	0.35	2.38	2.00	0.65	0.46	42.20	155.10	8.80	131.40	240.70
3	3	2.15	0.32	2.36	2.16	0.66	0.41	54.20	172.10	6.00	119.30	280.80
3	4	3.21	0.34	2.42	2.70	0.66	0.43	62.10	279.30	7.60	121.80	215.00
4	1	2.97	0.39	3.69	1.63	0.53	0.46	87.30	109.10	9.20	131.00	186.40
4	2	3.32	0.37	3.49	1.91	0.51	0.57	104.00	147.10	7.40	105.60	147.90
4	3	2.77	0.34	3.09	1.43	0.53	0.39	78.50	120.10	5.00	99.50	138.50
4	4	3.12	0.33	3.20	1.53	0.55	0.40	75.40	153.30	6.00	132.80	150.00

ppm: Partes por millón.

Anexo 20. Cálculo de la Humedad gravimétrica (% Θ_g)

Según Cartagena (2014), determinó el % de humedad gravimétrica (% Θ_g), mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad } g (100^\circ \text{C}) = (P_{sh} - P_{ss}) / (P_{ss} - P_c) \times 100$$

Dónde:

P_c = Peso de la caja (g)

P_{sh} = Peso de la caja más la muestra húmeda (g)

P_{ss} = peso de la caja más la muestra seca (g)

Anexo 21. Humedad del suelo a tres profundidades 10, 20, 30 cm.

Profundidad (cm)	Presión (bares)						
	0,0	0.33	0.5	1	3	5	15
0 - 10	66.9	31.4	27.3	21.3	14.5	12.6	10.8
10 - 20	62.6	32.3	28.0	25.1	15.9	13.5	11.9
20 - 30	58.7	27.4	25.3	24.1	14.0	12.7	11.2

Anexo 22. Datos de humedad gravimétrica del suelo a tres diferentes profundidades en la presente investigación.

Profundidad	% Humedad			
	Repetición	P. Sat.	C.C.	P.M.P.
0 - 10	1	70.9	33.0	12.7
	2	71.4	32.8	10.1
	3	58.3	28.4	9.5
10 - 20	1	70.1	31.9	14.5
	2	64.8	36.7	11.9
	3	53.0	28.4	9.4
20 - 30	1	61.3	29.8	13.1
	2	61.0	25.0	10.9
	3	53.7	27.5	9.7

Anexo 23. Lámina de riego neta inicial (L_{ni}).

Según Cartagena (2014), calculó la lámina de riego neta inicial con la siguiente ecuación:

$$L_{ni} = (\theta_{cc} - \theta_a) * Pr$$

Dónde:

L_{ni} = Lámina de riego neta inicial (mm).

Θ_{cc} = Humedad a capacidad de campo (cm³ cm⁻³)

Θ_a = Humedad actual (cm³ cm⁻³)

P_r = Profundidad radical (mm)

Anexo 24. Láminas de riego a tres diferentes profundidades experimento aguacate.

Profundidad (mm)	C.C	Θc	Lámina (mm)
100	0.314	0.274	4
200	0.323	0.154	33.8
300	0.274	0.142	39.6

Anexo 25. Cálculo de la lámina de riego bruta inicial y tiempo de riego.

Cartagena, (2014), calculo la lámina de riego aplicada y tiempo de riego, aplicando las siguientes fórmulas:

$$L_{bi} = \frac{Q \times CU \times Tr}{\left(\frac{D_p + D_l}{N^o}\right) \times D_G \times F_h}$$

$$Tr = \frac{L_{bi} \times \left(\frac{D_p + D_l}{N^o}\right) \times F_h}{Q \times CU}$$

Dónde:

L_{bi} = Lámina de riego bruta inicial (mm).

Q = Caudal del emisor (l h⁻¹).

CU = Coeficiente de uniformidad (%).

Tr = Tiempo de riego (h).

D_p = Distancia entre línea (m).

D_l = Distancia entre línea doble (m).

N^o = Número de línea (m).

D_g = Distancia entre goteros (m).

F_h = Factor de humedecimiento (%).

Para obtener una lámina de riego de 2 mm, se el cálculo de la siguiente manera:

$$L_{bi} = \frac{1.6 \times 0.9 \times 0.3}{\left(\frac{0.3 + 3.7}{2}\right) \times 0.3 \times 0.5}$$

$$L_{bi} = \frac{0.432}{0.3}$$

$$L_{bi} = 1.44 \approx 2 \text{ mm}$$

El cálculo, del tiempo de riego, se el cálculo reemplazando los valores en la siguiente formula de la siguiente manera:

$$Tr = \frac{1.44 \times \left(\frac{0.3 + 3.7}{2}\right) \times 0.5}{1.6 \times 0.9}$$

$$Tr = \frac{0.54}{1.44}$$

$$Tr = 0.375 \approx 18 \text{ min}$$

Anexo 26. Balance hídrico en aguacate

DDT	P (mm)	Pe (mm)	Eo (mm)	KC	ETo (mm)	ETc (mm)	CC (mm)	PMP (mm)	Pw (mm)	Riego (mm)	Balance (mm)
1	0.00	0.00	4.30	0.40	3.01	1.20	77.52	28.56	53.04	0.22	77.52
2	0.00	0.00	40.40	0.40	28.28	11.31	77.52	28.56	53.04	0.22	66.43
3	8.50	8.46	35.70	0.40	24.99	10.00	77.52	28.56	53.04	4.22	69.11
4	0.00	0.00	64.20	0.40	44.94	17.98	77.52	28.56	53.04	8.00	59.13
5	0.20	0.20	48.00	0.40	33.60	13.44	77.52	28.56	53.04	10.00	55.89
6	32.20	31.77	37.40	0.40	26.18	10.47	77.52	28.56	53.04	8.00	85.19
7	0.00	0.00	70.00	0.40	49.00	19.60	77.52	28.56	53.04	8.00	73.59
8	0.00	0.00	70.80	0.40	49.56	19.82	77.52	28.56	53.04	10.00	63.77
9	0.30	0.30	63.20	0.40	44.24	17.70	77.52	28.56	53.04	8.00	54.37
10	0.30	0.30	56.00	0.40	39.20	15.68	77.52	28.56	53.04	8.00	46.99
11	18.60	18.39	50.70	0.40	35.49	14.20	77.52	28.56	53.04	8.00	59.19
12	2.30	2.29	56.60	0.40	39.62	15.85	77.52	28.56	53.04	10.00	55.63
13	20.50	20.09	39.90	0.40	27.93	11.17	77.52	28.56	53.04	8.00	72.54
14	60.40	57.47	49.00	0.40	34.30	13.72	77.52	28.56	53.04	8.00	77.52
15	33.40	32.60	40.90	0.40	28.63	11.45	77.52	28.56	53.04	10.00	77.52
16	40.50	38.73	30.90	0.40	21.63	8.65	77.52	28.56	53.04	8.00	77.52
17	81.50	78.30	36.80	0.40	25.76	10.30	77.52	28.56	53.04	8.00	77.52
18	53.30	51.03	28.80	0.40	20.16	8.06	77.52	28.56	53.04	8.00	77.52
19	3.40	3.40	35.80	0.40	25.06	10.02	77.52	28.56	53.04	10.00	80.89
20	0.50	0.50	37.20	0.40	26.04	10.42	77.52	28.56	53.04	8.00	78.97
21	0.00	0.00	60.40	0.40	42.28	16.91	77.52	28.56	53.04	8.00	70.06
22	23.10	22.89	46.60	0.40	32.62	13.05	77.52	28.56	53.04	10.00	89.91
23	0.00	0.00	38.90	0.40	27.23	10.89	77.52	28.56	53.04	8.00	87.02
24	32.70	31.85	56.50	0.40	39.55	15.82	77.52	28.56	53.04	8.00	77.52
25	5.10	5.08	42.20	0.40	29.54	11.82	77.52	28.56	53.04	8.00	78.79
26	14.30	14.09	40.30	0.40	28.21	11.28	77.52	28.56	53.04	10.00	91.59
27	103.30	99.51	34.70	0.40	24.29	9.72	77.52	28.56	53.04	8.00	77.52
28	102.20	92.38	39.80	0.40	27.86	11.14	77.52	28.56	53.04	2.00	77.52