

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**DINÁMICA NUTRICIONAL DEL PALTO (*Persea americana* Mill.)
EN CONDICIONES DE ICA**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA**

NANCY MARILU PINO HUASACCA

LIMA – PERÚ

2021

La UNALM es titular de los derechos patrimoniales del presente trabajo
(Art. 24 del Reglamento de Propiedad Intelectual)

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

DINÁMICA NUTRICIONAL DEL PALTO (*Persea americana* Mill.)

EN CONDICIONES DE ICA

NANCY MARILU PINO HUASACCA

Trabajo de suficiencia profesional para optar el Título de:

INGENIERA AGRÓNOMA

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Erick Espinoza Núñez

PRESIDENTE

Ing. Mg. Sc. Luis Rodrigo Tomassini Vidal

ASESOR

Ing. Mg. Sc. Pedro Pablo Gutiérrez Vílchez

MIEMBRO

Dr. Oscar Oswaldo Loli Figueroa

MIEMBRO

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

*A mis padres Círiilo Píno y
Angélica Huasacca por todo su
apoyo, por darme las
herramientas para emprender
en la aventura de la vida.*

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser parte de mi vida.

A mis padres por brindarme todo su apoyo en mis estudios.

A mis hermanos Cristian y Mirian por todo su apoyo.

A mi asesor Ing. Mg. Sc. Luis R. Tomassini Vidal, por su orientación para el desarrollo del presente trabajo.

Gracias al Ing. Edgardo Eyllu, quien confió en mí cuando propuse realizar este trabajo monográfico ya que además de ser importante para mi formación podía contribuir con el desarrollo de la empresa Don Ricardo S.A.C.

Al Ing. Edgar Ollachica por su paciencia y entusiasmo para compartir sus conocimientos que hoy aplico en la vida profesional. A todo el equipo Fertirriego por el apoyo brindado, Ing. Joel Chuquispuma y Jaime Martínez.

A todos, que de una u otra manera confían y me han ayudado en el desarrollo de mi carrera profesional.

ÍNDICE GENERAL

PRESENTACIÓN

| | |
|--|----------|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. OBJETIVO | 2 |
| III. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 3.1. ORIGEN Y DOMESTICACIÓN DEL PALTO | 3 |
| 3.2. TAXONOMÍA DEL PALTO BOTÁNICA Y MORFOLOGÍA DEL PALTO | 4 |
| 3.3. BOTÁNICA Y MORFOLOGÍA DEL PALTO | 4 |
| 3.4. RAZA ANTILLANA “West Indian” | 5 |
| 3.4.1. Característica del patrón ‘West Indian’ | 5 |
| 3.4.2. El suelo y la raza antillana..... | 6 |
| 3.4.3. Absorción de nutrientes en la raza antillana | 6 |
| 3.5. CULTIVAR ‘HASS’ | 7 |
| 3.5.1. Requerimientos de clima del cultivar ‘Hass’ | 7 |
| 3.6. NITRÓGENO..... | 8 |
| 3.6.1. Formas de nitrógeno..... | 8 |
| 3.6.2. Época de aplicación del nitrógeno | 10 |
| 3.6.3. Fuentes de nitrógeno | 10 |
| 3.6.4. Deficiencia de nitrógeno | 10 |
| 3.7. FÓSFORO..... | 11 |
| 3.7.1. Época de aplicación del fósforo..... | 12 |
| 3.7.2. Deficiencias de fósforo | 12 |
| 3.8. POTASIO..... | 12 |
| 3.8.1. Época de aplicación del potasio..... | 13 |
| 3.8.2. Deficiencias del potasio | 13 |
| 3.9. MAGNESIO..... | 14 |
| 3.9.1. Época de aplicación | 14 |
| 3.9.2. Deficiencias | 15 |
| 3.10. CALCIO..... | 15 |
| 3.10.1. Época de aplicación | 16 |
| 3.10.2. Deficiencias | 17 |
| 3.11. ZINC..... | 17 |
| 3.11.1. Época de aplicación | 18 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.11.2. | Deficiencias | 18 |
| 3.12. | HIERRO..... | 18 |
| 3.12.1. | Época de aplicación | 19 |
| 3.12.2. | Deficiencias | 19 |
| 3.13. | BORO | 20 |
| 3.13.1. | Época de aplicación | 20 |
| 3.13.2. | Deficiencias | 21 |
| 3.14. | DINÁMICA NUTRICIONAL DEL PALTO..... | 22 |
| 3.15. | ANÁLISIS DEL MATERIAL VEGETAL..... | 23 |
| IV. | DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL | 24 |
| 4.1. | CARACTERÍSTICAS DEL HUERTO | 24 |
| 4.1.1. | Ubicación del huerto | 24 |
| 4.1.2. | Características climáticas de la zona..... | 24 |
| 4.1.3. | Características del suelo | 25 |
| 4.1.4. | Características del agua..... | 27 |
| 4.1.5. | Características del sistema riego y fertilización..... | 27 |
| 4.1.6. | Fertilización del huerto | 30 |
| 4.2. | MATERIAL VEGETAL..... | 34 |
| 4.2.1. | Descripción de estados fenológicos | 34 |
| 4.3. | TOMA DE MUESTRAS DE LAS HOJAS | 35 |
| 4.4. | TOMA DE MUESTRAS DE LOS FRUTOS | 36 |
| 4.4.1. | Toma de muestras de las panículas | 36 |
| 4.4.2. | Toma de muestras de los frutos | 37 |
| 4.5. | DISEÑO EXPERIMENTAL Y MÉTODOS ESTADÍSTICOS..... | 37 |
| V. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 40 |
| 5.1. | NITRÓGENO TOTAL | 40 |
| 5.1.1. | Nitrógeno total en fruto..... | 40 |
| 5.1.2. | Nitrógeno total en hoja..... | 42 |
| 5.2. | NITRÓGENO NÍTRICO | 44 |
| 5.2.1. | Nitrógeno nítrico en fruto:..... | 44 |
| 5.2.2. | Nitrógeno nítrico en hoja..... | 45 |
| 5.3. | NITRÓGENO AMONIACAL | 46 |
| 5.3.1. | Nitrógeno amoniacal en fruto | 46 |
| 5.3.2. | Nitrógeno amoniacal en hoja..... | 47 |
| 5.4. | FÓSFORO..... | 48 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 5.4.1. | Fósforo en fruto | 48 |
| 5.4.2. | Fósforo en hoja | 50 |
| 5.5. | POTASIO..... | 51 |
| 5.5.1. | Potasio en fruto..... | 51 |
| 5.5.2. | Potasio en hoja..... | 54 |
| 5.6. | CALCIO..... | 56 |
| 5.6.1. | Calcio en fruto | 56 |
| 5.6.2. | Calcio en hoja..... | 58 |
| 5.7. | MAGNESIO..... | 61 |
| 5.7.1. | Magnesio en fruta | 61 |
| 5.7.2. | Magnesio en hoja..... | 62 |
| 5.8. | ZINC..... | 65 |
| 5.8.1. | Zinc en fruto | 65 |
| 5.8.2. | Zinc en hoja..... | 67 |
| 5.9. | HIERRO..... | 69 |
| 5.9.1. | Hierro en fruta | 69 |
| 5.9.2. | Hierro en hoja..... | 70 |
| 5.10. | BORO | 73 |
| 5.10.1. | Boro en fruto..... | 73 |
| 5.10.2. | Boro en la hoja..... | 74 |
| VI. | CONCLUSIONES | 77 |
| VII. | RECOMENDACIONES..... | 78 |
| VIII. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 79 |
| IX. | ANEXOS | 91 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Características fisicoquímicas de los suelos del campo del campo “RP2”, fundo Santa Rosa. Ica, 2019..... | 26 |
| Tabla 2: Características del sistema de riego empleado en el campo “RP2” | 28 |
| Tabla3: Coeficiente de cultivo ajustado según etapa fenológica en palto | 29 |
| Tabla 4: Consumo de agua del palto (m ³ /ha/campaña)..... | 29 |
| Tabla 5: Aplicaciones foliares según estado fenológico | 30 |
| Tabla 6: Cantidad de productos utilizados vía foliar por campaña | 30 |
| Tabla 7: Dosis de fertilización por etapa fenológica (kg/ha), campaña 2014– 2015 | 32 |
| Tabla 8: Dosis de fertilización por etapa fenológica (kg/ha), campaña 2015 – 2016..... | 32 |
| Tabla 9: Dosis de fertilización por etapa fenológica (kg/ha), campaña 2016 – 2017..... | 32 |
| Tabla 10: Dosis de fertilización por etapa fenológica (kg/ha), campaña 2017 – 2018..... | 33 |
| Tabla 11: Dosis de fertilización por etapa fenológica (kg/ha), campaña 2018 – 2019..... | 33 |
| Tabla 12: Fuentes de fertilizantes usados por campaña (kg/lote)..... | 33 |
| Tabla 13: Producción de palto del lote RP2 (campañas 2014 – 2018)..... | 34 |
| Tabla 14: Tratamientos y su relación con la fase fenológica del cultivo | 38 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Ciclo fenológico del palto cultivar ‘Hass’ en la costa central del Perú | 34 |
| Figura 2: Etapas fenológicas | 35 |
| Figura 3: Distribución de árboles muestreados | 35 |
| Figura 4: Ejemplos de hojas a muestrear | 36 |
| Figura 5: Tipos de panículas muestreadas..... | 37 |
| Figura 6: Variación del nitrógeno total en fruto según el estado fenológico del palto ‘Hass’ | 42 |
| Figura 7: Variación del nitrógeno total en hoja según el estado fenológico del palto ‘Hass’ | 43 |
| Figura 8: Variación del nitrógeno nítrico en la fruta según el estado fenológico del palto ‘Hass’ | 45 |
| Figura 9: Variación del nitrógeno nítrico en la hoja según el estado fenológico del palto ‘Hass’ | 46 |
| Figura 10: Variación del nitrógeno amoniacal en el fruto según el estado fenológico del palto ‘Hass’ | 47 |
| Figura 11: Variación del nitrógeno amoniacal en la hoja según el estado fenológico del palto ‘Hass’ | 48 |
| Figura 12: Variación del fósforo en la fruta según el estado fenológico del palto ‘Hass’ ... | 50 |
| Figura 13: Variación del fósforo en la hoja según el estado fenológico del palto ‘Hass’ ... | 51 |
| Figura 14: Variación del potasio en la fruta según el estado fenológico del palto ‘Hass’ ... | 54 |
| Figura 15: Variación del potasio en la hoja según el estado fenológico del palto ‘Hass’ ... | 56 |
| Figura 16: Variación del calcio en la fruta según el estado fenológico del palto ‘Hass’ | 58 |
| Figura 17: Variación del calcio en la hoja según el estado fenológico del palto ‘Hass’ | 60 |
| Figura 18: Variación del magnesio en la fruta según el estado fenológico del palto ‘Hass’ | 62 |
| Figura 19: Variación del magnesio en la hoja según el estado fenológico del palto ‘Hass’ | 65 |
| Figura 20: Variación del zinc en la fruta según el estado fenológico del palto ‘Hass’ | 67 |
| Figura 21: Variación del zinc en la hoja según el estado fenológico del palto ‘Hass’ | 69 |
| Figura 22: Variación del hierro en la fruta según el estado fenológico del palto ‘Hass’ | 70 |
| Figura 23: Variación del hierro en la hoja según el estado fenológico del palto ‘Hass’ | 72 |
| Figura 24: Variación del boro en la fruta según el estado fenológico del palto ‘Hass’ | 74 |
| Figura 25: Variación del boro en la hoja según el estado fenológico del palto ‘Hass’ | 76 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| Anexo 1: Base de datos de los resultados de los análisis de hoja..... | 92 |
| Anexo 2: Base de datos de los resultados de los análisis en fruto..... | 93 |
| Anexo 3: Datos excluido..... | 94 |
| Anexo 4: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del nitrógeno total en hoja | 95 |
| Anexo 5: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del nitrógeno total en fruta..... | 95 |
| Anexo 6: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del nitrógeno nítrico en hoja | 96 |
| Anexo 7: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del nitrógeno nítrico en fruta..... | 96 |
| Anexo 8: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del nitrógeno amoniacal en hoja..... | 97 |
| Anexo 9: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del nitrógeno amoniacal en fruta | 97 |
| Anexo 10: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del fósforo en hoja..... | 98 |
| Anexo 11: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del fósforo en fruta | 98 |
| Anexo 12: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del potasio en hoja..... | 99 |
| Anexo 13: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del potasio en fruta | 99 |
| Anexo 14: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del calcio en hoja..... | 100 |
| Anexo 15: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del calcio en fruta | 100 |
| Anexo 16: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del magnesio en hoja | 101 |
| Anexo 17: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del magnesio en fruta..... | 101 |
| Anexo 18: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del zinc en hoja..... | 102 |
| Anexo 19: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del zinc en fruta | 102 |
| Anexo 20: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del hierro en hoja. | 103 |
| Anexo 21: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del hierro en fruta | 103 |
| Anexo 22: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del boro en hoja. | 104 |
| Anexo 23: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del boro en fruta | 104 |
| Anexo 24: Tanques de fertilización. | 105 |
| Anexo 25: Zona de rebombeo. | 105 |
| Anexo 26: Válvulas hidráulicas Dorot (1), piloto regulador de presión Dorot (2), válvula Sagit de tres vías (3), relay de mando hidráulico. | 106 |
| Anexo 27: Dream..... | 106 |

| | |
|--|-----|
| Anexo 28: Caudalímetro con pulsos de 1 m ³ para control de riego (1) y fertímetros de 1.0 l/s para dosificación de fertilizantes..... | 107 |
| Anexo 29: Variación de la temperatura durante los años 2013 al 2019. | 108 |
| Anexo 30: variación de la precipitaciones durante los años 2013 al 2019. | 109 |
| Anexo 31: Variación de la humedad relativa durante los años 2013 al 2019. | 110 |
| Anexo 32: Variación de la evapotranspiración durante los años 2013 al 2019..... | 111 |
| Anexo 33: Variación de la radiación solar máxima durante los años 2013 al 2019..... | 112 |
| Anexo 34: Variación de la radiación solar promedio durante los años 2013 al 2019 | 113 |
| Anexo 35: Características físico –químicas del agua de riego del fundo “Santa Rosa”. ... | 114 |
| Anexo 36: Análisis de suelo del año 2016, entre los 0 a 30 cm y los 30 a 60 cm..... | 115 |
| Anexo 37: Análisis de suelo del año 2017 entre los 0 y 40 cm..... | 116 |
| Anexo 38: Análisis de suelo del año 2019 entre los 0 y 40 cm..... | 117 |

PRESENTACIÓN

El presente trabajo fue realizado para determinar la dinámica del nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, zinc, hierro y boro en el cultivar ‘Hass’ injertado sobre un patrón antillano ‘Zriffin’. Para ello fueron tomadas muestras de diferentes árboles elegidos aleatoriamente del campo “RP2”, perteneciente al fundo “Don Ricardo” que se encuentra ubicado en la costa centro de Perú. Fueron colectadas muestras de hojas, flores y frutos durante cinco años y dichas muestras fueron enviadas al laboratorio AQG para el análisis nutricional. Por ser un campo en producción, solo se analizan los cambios de los elementos a través de la estadística descriptiva usando diagramas de cajas (*box plot*). Se elaboraron dos gráficos por elemento, uno que mostró la dinámica de la hoja y otro para la dinámica del fruto que incluyó los datos tomados en la flor. Se encontró que los mayores requerimientos nutricionales del palto se dieron durante la floración, cuaja y fruto 1 (10 – 30 mm); la forma del nitrógeno más abundante fue el nitrógeno nítrico, que además tendió a ser mayor en los órganos productivos; los niveles de fósforo, potasio, calcio y magnesio disminuyeron conforme creció el fruto; las concentraciones de magnesio y boro fueron mayores en los frutos; las concentraciones de calcio, zinc y hierro fueron mayores en las hojas; y las plantas tuvieron una buena absorción de hierro.

Las agroexportadoras utilizan los análisis de tejidos como un indicador del estado nutricional de las plantas y muchas veces los resultados son comparados con parámetros de otros países, sin tomar en cuenta que dichos parámetros fueron elaborados para sus condiciones agroclimáticas, es por ello que se elabora la dinámica de los nutrientes para las condiciones de Ica y así tener una herramienta que facilite tomar mejores decisiones sobre la fertilización.

I. INTRODUCCIÓN

La palta es el segundo producto de exportación de las frutas y hortalizas en el Perú. En el año 2017 se exportaron 247000 toneladas, posicionando al país como el segundo proveedor mundial de este fruto (Gestión, 2018); para el año 2018, las exportaciones fueron 397248 toneladas (Ministerio de Agricultura y Riego, 2020a); para el año 2019 se exportaron 290000 toneladas, lo que representó una baja importante en comparación al 2018.

Knight (2007) menciona que el aumento en las exportaciones y el área cultivada pueden deberse a sus cualidades culinarias y medicinales. Cien gramos de palta pueden contener 20 gramos de aceite, seis gramos de carbohidratos y dos gramos de proteínas. Respecto a los aceites almacenados en la palta, el más abundante es el ácido oleico, seguido del ácido palmítico y del linoleico. El ácido palmitoleico, que puede o no estar presente, es recomendado para regular el nivel de colesterol en la sangre (WAO, 2020).

Por otra parte, los desbalances nutricionales en una planta provocan desórdenes fisiológicos que lleguen a afectar la fruta, lo que se traduce en una serie de problemas en la poscosecha y por ende una reducción en la calidad de fruta. Existen herramientas valiosas como el análisis químico de hojas y de frutas para poder determinar el comportamiento de los elementos asegurando un buen rendimiento y calidad del fruto

II. OBJETIVO

Evaluar la dinámica nutricional mediante análisis químicos de hojas y frutos de palto bajo las condiciones agroclimáticas del caserío “Santa Rosa”, del distrito Los Molinos, en el departamento de Ica.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. ORIGEN Y DOMESTICACIÓN DEL PALTO

La palta es el fruto del palto (*Persea americana* Mill.), nombre que recibe en Perú y países del sur; mientras que, en México, Centroamérica y en otras partes del mundo es conocida como *aguacate* (MINAGRI, 2015).

Los restos más antiguos de palto datan de semillas de más de ocho mil años en Coxcatlán, Puebla, México (ProHass, 2020). Popenoe (1920), Smith (1966, 1969) y Storey *et al.* (1986), citados por Knight (2007), señalan que el palto proviene de una región comprendida entre las sierras centro-orientales de México y Guatemala (Mesoamérica) hasta la costa del Pacífico, donde fue domesticada. Probablemente, con el intercambio comercial entre pueblos y civilizaciones nativas, este cultivo se distribuyó por toda Centroamérica y se terminó por extender hasta los países andinos (MINAGRI, 2015).

Según ProHass (2020), en el Perú la palta era cultivada desde el siglo XV; además, cuando los españoles llegaron a América, el cultivo ya se extendía hasta lo que ahora es Colombia, Ecuador y Perú. Después del descubrimiento de América y la Invasión Española a México, Centroamérica, Colombia y Perú, la palta fue llevada a Europa en el siglo XVI junto con papa, maíz, cacao y otros frutos tropicales descubiertos durante sus expediciones (ProHass, 2020). Sus orígenes en África se remontan a Ghana en 1750, a partir de allí se distribuyó a todo el continente llegando a Sudáfrica en 1904. Llegó a Israel en 1908, siguió a Turquía en 1932, continuó por la India, el Sudeste Asiático, Oceanía para finalmente colonizar todos los países del mundo (MINAGRI, 2015).

3.2. TAXONOMÍA DEL PALTO BOTÁNICA Y MORFOLOGÍA DEL PALTO

La clasificación taxonómica del palto está estructurada de la siguiente forma (Mejía, 2011).

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta (Plantas vasculares)

Superdivisión: Spermatophyta (Plantas con semillas)

División: Magnoliophyta (Angiospermas)

Clase: Magnoliopsida (Dicotiledóneas)

Subclase: Dipetala

Orden: Ranales

Familia: Lauraceae

Género: *Persea*

Especie: *Persea americana* Miller

El palto pertenece a la familia Lauraceae, que comprende alrededor de 2200 especies y abarca plantas leñosas productoras de esencias que crecen en regiones cálidas (Pérez *et al.*, 2015).

3.3. BOTÁNICA Y MORFOLOGÍA DEL PALTO

El palto es una planta polimórfica de porte arbóreo de hoja perenne (siempre verde), originario de selvas donde debe competir con otros árboles por luz y espacio, por ello está genéticamente determinada para seguir creciendo, alcanzando 12 hasta 20 metros de alto y 14 metros de diámetro de copa (Lemus *et al.*, 2010).

El sistema radicular es superficial, presenta una raíz principal pivotante, muy ramificada de distribución radial; las raíces secundarias y terciarias son fibrosas y se distribuyen superficialmente. Entre el 80 a 90 % de las raíces se localizan en los primeros 60 centímetros del suelo, aunque el eje principal puede llegar a un metro de profundidad (Bernal & Cipriano, 2008).

Las hojas son simples, 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, pubescente y glaucas en el envés (Baíza, 2003).

La inflorescencia es una panícula axilar o terminal con flores hermafroditas, poseen 12 estambres, un pistilo y un ovario; los órganos femeninos y masculinos no maduran al mismo tiempo, es decir, presentan dicogamia (Baíza, 2003). Las flores abren dos veces, la primera lo hacen con sus órganos femeninos maduros receptivos al polen y la segunda, con sus estambres erectos emitiendo abundante polen. Los cultivares de tipo A abren primero en la mañana y luego en la tarde del día siguiente; mientras que, los cultivares de tipo B tienen flores que abren por la tarde y su segunda apertura puede ser en la mañana del día siguiente o el tercer día (León, 2000).

El fruto varía en forma y peso según las variedades, el color del fruto puede ser verde claro hasta verde oscuro, violeta o negro de cáscara rugosa con una pulpa verde amarillenta (Pérez *et al.*, 2015).

3.4. RAZA ANTILLANA “West Indian”

Aleman *et al.* (2005) mencionan a la raza antillana o “West Indian” denominada como *Persea americana* var. americana, el palto de las tierras bajas de las Indias occidentales. También la citan como uno de los principales patrones usados en Perú en la zona del valle de Chanchamayo (Rivadeneira & Franciosi, 1972); así mismo, es usado junto con la raza mexicana en la costa central (Bederski, 1972).

3.4.1. Característica del patrón ‘West Indian’

Borys *et al.* (1985) encontraron que el diámetro, largo, número, pesos fresco y seco de las raíces principales y laterales de primer, segundo y tercer orden de la raza antillana, tuvieron valores más altos que el de la guatemalteca. También hallaron que el contenido de agua y las diferencias de diámetro de las raíces indicaban que la raza antillana tuvo mayor capacidad de retener agua que la guatemalteca.

Con respecto a la tolerancia a *Phytophthora cinnamomi*, Gallo-Llobet y Siverio (1995) evaluaron la tolerancia y resistencia de este patógeno en la raza antillana, frente a clones de

‘Duke 7’, ‘Thomas’ y ‘Toro Canyon’ (de la raza mexicana), encontrando que el 41 % de las plantas antillanas sobrevivieron; además cuando presentaron una nula o baja incidencia de esta enfermedad, el diámetro de sus troncos y su altura fueron mayores que los clones mexicanos.

3.4.2. El suelo y la raza antillana

Requiere de suelos bien aireados, en condiciones de salinidad resisten mucho mejor las sales que los patrones mexicanos (Ben-Ya’acov & Michelson, 1995).

Soto (2004) evaluó el efecto de la hipoxia (bajo contenido de aire en los suelos) en las razas antillana, mexicana y guatemalteca, injertados sobre el cultivar comercial ‘Hass’, no encontrando diferencias entre ellas en las tasas de crecimiento del brote apical y del diámetro basal del tronco en el período de pos- trasplante y en el período de estrés por hipoxia; además, concluyó que el segundo no afectó el comportamiento de palto en su brotación, caída de hojas y crecimiento.

3.4.3. Absorción de nutrientes en la raza antillana

Ben-Ya’acov (1968) encontró que la raza antillana actuó de manera similar que la guatemalteca con respecto a la toma de nutrientes; el magnesio, potasio, sodio, cloro y el hierro (con excepción del calcio y del cobre) estuvieron más concentrados en los sistemas radiculares de los paltos guatemaltecos y antillanos que en los mexicanos.

La raza antillana es eficiente en la toma de hierro; por consiguiente, sus injertos sufren menos clorosis. Sus hojas pueden contener un alto nivel de cloro sin presentar daños, en condiciones de salinidad, toman más nutrientes que los porta injertos mexicanos. La raza antillana aumenta la absorción de calcio; mientras que la mexicana incrementa la toma de potasio y su translocación (Ben-Ya’acov & Michelson, 1995).

Cuando Lahav y Aycicegi-Lowengart (2003) compararon un patrón antillano (‘West Indian’) con uno mexicano, ambos injertados con el cultivar ‘Hass’; encontraron que la raza antillana resistía mejor la salinidad, logrando que sus injertos tuvieran menos cloro que aquellos injertados en una raza mexicana.

3.5. CULTIVAR ‘HASS’

Fue lograda en California por Rudolph G. Hass, no tiene progenitores conocidos, pero está compuesta entre un 10 a 15 % de raza mexicana y el resto proviene de la raza guatemalteca. Es una planta medianamente vigorosa que produce cosechas comparativamente altas en años alternos (Armando, 2015).

La fruta es piriforme, con un peso que varía entre 135 a 365 gramos, de piel rugosa color verde que al madurar se torna violácea oscura o negra. La pulpa es firme, de color crema, sin fibra y con un contenido de aceite que varía entre 18 a 23 por ciento, el que representa aproximadamente el 70 % del peso del fruto (Curzel *et al.*, s.f.).

3.5.1. Requerimientos de clima del cultivar ‘Hass’

Sánchez (2012) menciona que este cultivar se adapta a condiciones subtropicales con temperaturas de 4 a 19 °C y alturas entre 1200 a 2400 msnm, por lo que requiere de bajas temperaturas.

Las heladas son un problema limitante para el palto, su duración puede determinar la vida o muerte del frutal. El cultivar ‘Hass’ resiste temperaturas de hasta -1.1 °C, los daños que puede recibir dependerán del momento en que se presenten las condiciones desfavorables, por ejemplo, temperaturas diurnas menores a 20 °C y nocturnas de -10 °C durante la floración, pueden provocar una reducción considerable en la cuaja de frutos. El viento excesivo puede provocar rugosidad irreversible y caída de frutos, roturas y desganche de ramas, además llega a afectar la polinización efectuada por las abejas; así mismo, si se forman brisas frías en la floración, la cosecha puede verse afectada (Guardizábal, s.f.).

En el Perú, la cosecha de palto ‘Hass’ se concentra durante los meses de marzo a setiembre (ProHass, 2020), tiene una menor tolerancia a la concentración de sales y posee floración de tipo ‘A’ (Armando, 2015).

3.6. NITRÓGENO

El nitrógeno es un nutriente que forma parte de las proteínas y de las moléculas de clorofila, por ello participa en los procesos de floración y posteriormente en la cuaja de frutos; un fruto de palto contiene un 2.3 por ciento de proteína, mientras que un fruto tropical por lo general solo un 0.8 por ciento (Lao, 2013). Por otro lado, los paltos ‘Hass’ presentan una cantidad importante de nitrógeno en los brotes nuevos, además, al surgir una competencia entre el desarrollo de frutos nuevos y el inicio de crecimiento vegetativo, se presenta una mayor demanda de este nutriente por parte de la planta (Lovatt, 1995).

Sin embargo, el empleo de dosis elevadas de nitrógeno genera un vigor excesivo, que llega a inhibir el desarrollo de yemas florales, reducir la cuaja de nuevos frutos y mermar la calidad de fruta al inducir problemas por deterioro interno (Salvo, 2017).

3.6.1. Formas de nitrógeno

a. Nitrógeno nítrico

El nitrógeno en la solución suelo se presenta como el anión nitrato, el cual llega a las raíces generalmente por flujo de masas (Guerrero *et al.*, 2018), y debido a su carga negativa no puede adherirse a las partículas de arcilla (Kafkafi & Tarchitzky, 2012); no obstante, a medida que el anión se aleja del coloide puede quedar suspendido en la doble capa difusa (Mengel & Kirby, 2000).

El nitrato, así como el amonio, son dos de las formas más importantes en que se presenta el nitrógeno dentro de su ciclo natural, en él, se presentan dos reacciones que resaltan: la nitrificación y la desnitrificación. La nitrificación es el proceso de transformación que sufre el amonio para convertirse en nitrato por medio de oxidaciones causadas por bacterias (Claros, 2012). Este proceso es dependiente de la temperatura, por ejemplo, en suelos cálidos de 23.83 °C (75 °F) puede ocurrir en tan solo 1 a 2 semanas; mientras que, en suelos fríos de 10 °C (50°F), puede durar entre 2 a 3 meses (Spann, 2019).

La desnitrificación es el proceso que consiste en la reducción de nitratos y nitritos hasta convertirse en moléculas de nitrógeno gaseoso altamente volátiles (Claros, 2012); por tanto,

en condiciones de suelos pesados, mal aireados y húmedos, este proceso es una de las razones de la pérdida del nitrato, además de la lixiviación (Navarro, 2003). Esto puede evitarse aplicando inhibidores de nitrificación, los cuales se encargan de mantener el nitrógeno en forma amoniacal (Gardiazabal *et al.*, 2007a).

Los paltos absorben el nitrógeno principalmente en forma de nitrato, pero también pueden hacerlo en forma de amonio (Spann, 2019); cuando son tomadas altas concentraciones de nitrato, este tiende a ser transportado directamente hacia los brotes para que posteriormente pueda ser asimilado (Dechorgnat *et al.*, 2011) o también ser almacenado como reserva en las vacuolas (Fernández *et al.*, 2017). Con respecto al palto ‘Hass’, las hojas y raíces en crecimiento activo contienen 0.21 ± 0.02 por ciento y 0.18 ± 0.02 por ciento de nitrato respectivamente (Lovatt & Cheng, 1990).

b. Nitrógeno amoniacal

El ion amonio es resultado de la amonificación del nitrógeno orgánico, el cual puede oxidarse con facilidad transformándose en nitrito y nitrato, y debido a su carga positiva, puede ser fijado en la red de algunas arcillas de tipo 2:1, principalmente illita y montmorillonita, quedando bajo la forma no intercambiable (Mengel & Kirby, 2000). Por otra parte, en condiciones alcalinas, el amonio de la solución suelo se puede transformar en gas amoniacal, el cual se pierde por volatilización (Navarro, 2003).

Pardomo *et al.* (2019) señalan que la absorción del amonio es un proceso pasivo, además, este no es transportado por la xilema directamente, sino que es asimilado en las raíces y es transportado en forma de compuestos orgánicos aminados.

Gardiazabal *et al.* (2007b) mencionan que el uso de inhibidores de nitrificación favorece el uso de amonio por la planta, obteniendo beneficios tales como un menor gasto de energía durante la absorción y dentro de la planta al no ser necesario reducir el nitrato; además de que, el amonio estimula la síntesis de fitohormonas, como giberelinas y citoquininas, y de poliaminas (mensajeros de la inducción floral).

3.6.2. Época de aplicación del nitrógeno

Con respecto al momento de fertilizar, Martínez *et al.* (2014) recomiendan concentrar el nitrógeno en las etapas de crecimiento vegetativo y formación del fruto, las cuales se dan entre los meses de octubre y enero; sin embargo, no recomiendan altas dosis en los meses de abril o mayo, para decidir las aplicaciones durante ambos meses es importante conocer los niveles de nitrógeno en la pulpa del fruto. Estos autores citan a Snijder *et al.* (2002), quienes sugieren que los valores óptimos de nitrógeno en pulpa en marzo deben ser menores a 1%, para asegurar la calidad de la fruta; y citan a Lovatt (2001), quien recomienda aplicar nitrógeno en otoño para aumentar la productividad y disminuir el añerismo a largo plazo. Cabe resaltar que la cantidad del nitrógeno que es destinado al cultivo debe estar en función a la cantidad de fruta producida (Lovatt, 1995).

3.6.3. Fuentes de nitrógeno

Barrera & Sáenz (2016) mencionan que existen dos grandes tipos de fuentes de nitrógeno: los amoniacales y los nítricos; por lo que, Salvo (2017) recomienda aplicar fertilizantes que combinen ambos iones, ya que aplicar solamente úrea (amoniacal) conlleva a una reducción en la absorción de calcio; mientras que una fertilización netamente nítrica, aumenta el riesgo de lixiviación hacia la napa subterránea.

El pH del suelo es determinante en la elección del fertilizante nitrogenado. Los pH mayores a 7 favorecen la absorción de ambos iones, por lo que es conveniente aplicar úrea sola o una mezcla de esta con fertilizantes nítricos o nitratos de amonio; si el pH es menor a 6, es mejor utilizar una mayor cantidad de nitratos, como el de calcio, el de potasio o ambos (Martínez *et al.*, 2014).

3.6.4. Deficiencia de nitrógeno

Lao (2013) indica que la deficiencia de nitrógeno se observa primero en las hojas viejas y luego en las jóvenes; además, las hojas presentan un menor tamaño y una clorosis generalizada en toda la lámina. Ataucusi (2015) manifiesta que una plantación de palto con una fertilización pobre en nitrógeno envejece, afectando los procesos de inducción floral y cuaja de frutos; además, los brotes restringen su crecimiento y surge una caída prematura de hojas.

3.7. FÓSFORO

El fósforo es un nutriente que se encuentra en altas concentraciones en los tejidos meristemáticos (Kass, 1998, citado por Novoa *et al.*, 2018), siendo uno de los minerales más importantes para la formación de la planta, principalmente en el crecimiento de raíces; a su vez, influye en el desarrollo floral y en la cuaja de frutos (Lao, 2013). El fósforo es fuente de energía primaria para las reacciones bioquímicas, ya que forma parte de las moléculas de ATP; es componente de los ácidos nucleicos, por tanto, participa activamente en la división celular y en la síntesis de proteínas, y es componente de coenzimas, entre ellas el NAD y NADP (Kass, 1998, citado por Novoa *et al.*, 2018).

El fósforo en la solución del suelo se presenta en forma de iones ortofosfato que pueden ser monovalentes (H_2PO_4^-) o divalentes (HPO_4^{2-}) (Sela, 2020). La presencia de estos iones está influenciada por el tipo de reacción del suelo, en aquellos de reacción fuertemente ácida (pH 4 a 5.5), el anión que predomina es el monovalente; mientras que en suelos alcalinos, predomina el divalente (Weil & Brady, 2017); además, en suelos neutros (pH 6.5 a 7) el fósforo logra su máxima disponibilidad, presentándose ambas formas (Crowley, 2007). Estas formas aniónicas son absorbidas por las raíces de forma activa principalmente por difusión (Mengel & Kirby, 2020); de las dos, la forma monovalente es absorbida con una rapidez diez veces mayor que la divalente (Navarro, 2003).

Los iones ortofosfato constituyen una muy baja reserva de fósforo en el suelo; además de ello, tienen cierto grado de inmovilidad debido a que reaccionan bastante con las superficies de las otras partículas del suelo (Weil & Brady, 2017); por lo tanto, la mayor cantidad de fósforo se encuentra formando parte de minerales, fosfatos, los cuales varían en su composición de acuerdo al tipo de reacción del suelo: en suelos ácidos, se presentan fosfatos de hierro y aluminio; mientras que en suelos alcalinos, se presentan fosfatos de calcio. Esta fuerte reacción hace que los fosfatos posean una baja solubilidad; por ello, la absorción de fósforo es limitada sobre todo en plantas con un sistema radicular grueso; no obstante, esta limitación se ve superada gracias a la simbiosis con hongos micorrízicos, los cuales permiten el transporte del fósforo, y de otros elementos de difusión limitada como el cobre, el hierro y el zinc, y su posterior ingreso a la planta (Crowley, 2007).

Mengel & Kirby (2000) mencionan que el ion ortofosfato tiene mucha movilidad dentro de la planta, en otras palabras es ambimóvil, lo que significa que se mueve tanto de forma basipétala (de hojas hacia raíz) por el floema, así como acropétala (de la raíz hacia las hojas) por el xilema.

3.7.1. Época de aplicación del fósforo

Martínez *et al.* (2014) recomiendan su fertilización durante el crecimiento activo de raíces y en el lugar en el que estas ocuparán más adelante. El crecimiento de raíces presenta dos picos, cuyas fechas varían de acuerdo a la localización geográfica y las condiciones climáticas del huerto. Por otro lado, Salvo (2017) señala que la cantidad de fósforo que es aplicada anualmente corresponde a una dosis para mantener las reservas disponibles del suelo; además recomendó aplicarlo después de la cuaja, en la primavera de cada año y según la cosecha esperada.

3.7.2. Deficiencias de fósforo

Con respecto a los síntomas de deficiencia de este elemento, Novoa *et al.* (2018) encontraron que se manifestó como una clorosis difusa opaca en hojas adultas, que se tornó en manchas necróticas sin un patrón definido; la textura de las hojas se tornó coriácea, mientras que el color se mantuvo verde muy oscuro y sin brillo; así mismo, no se observó una clorosis generalizada en hojas jóvenes ni en el resto de la planta. Ataucusi (2015) menciona que su deficiencia inhibe el crecimiento de brotes y yemas, lo que deriva en un crecimiento vegetativo reducido; las deficiencias en frutos se expresan en una textura harinosa en la pulpa y una sensibilidad a bajas temperaturas, además de una reducción de tamaño y una presencia de fallas y deformaciones en las semillas.

3.8. POTASIO

El potasio es requerido en grandes cantidades por los paltos, puesto que funciona como cofactor de más de 60 enzimas que intervienen en diversos procesos fisiológicos como fotosíntesis, síntesis de proteínas y carbohidratos; además, participa en el movimiento de nutrientes (Lao, 2013) facilitando el transporte de carbohidratos hacia raíces y frutos en desarrollo. Por otra parte, el potasio interviene en la apertura de estomas, regulando el balance hídrico (Martínez *et al.*, 2014).

El potasio es tomado del suelo en su forma iónica (K^+) y permanece sin formar ningún compuesto dentro de la planta (Bender, s.f.), es muy móvil en el floema (Lovatt, s.f.) y es el principal catión del xilema (Martínez *et al.*, 2014).

Salvo (2017) menciona que el potasio es primordial para una adecuada acumulación de materia seca; además incrementa los contenidos de aceite en la pulpa (INIFAP, 2017). El potasio tiene un efecto directo en la calidad de los frutos, ya que niveles adecuados mejoran las características organolépticas de los frutos como el sabor y el color; así mismo, reduce posibles problemas fisiológicos en poscosecha (Ataucusi, 2015).

3.8.1. Época de aplicación del potasio

Mattar & Pizarro (2007) mencionan que la absorción de potasio está relacionada con el crecimiento vegetativo, la floración y la cuaja; cuando hay caída de frutos y comienza el segundo crecimiento vegetativo, la demanda de potasio empieza, aumentando considerablemente su absorción; por lo que a nivel foliar, se muestra un alto valor de potasio. Por otra parte, Salvo (2017) manifiesta que durante el segundo año de crecimiento del fruto, el palto acumula potasio de forma más acelerada, y que su dosis debe ajustarse anualmente en función a la cosecha esperada de dicho año; es decir, las épocas de máxima demanda de potasio coinciden con el periodo de máximo crecimiento de fruto, lo que se da entre los 4 y 7 centímetros de longitud (INIFAP, 2017).

3.8.2. Deficiencias del potasio

Según menciona Ataucusi (2015) la deficiencia de potasio se manifiesta con hojas pequeñas y angostas; con manchas necróticas de color marrón rojizo que se desarrollan en hojas viejas y para luego diseminarse por toda la lámina foliar entre las nervaduras principales. En casos severos, se presentan ramillas necróticas muy delgadas y un ennegrecimiento de haces vasculares en frutos. Cerdas *et al.* (2006) señalan que los frutos de árboles deficientes en potasio no toman buen color, ni alcanzan un tamaño adecuado; además de presentar malformaciones de la semilla. Gardiazabal (2004) afirma que nunca se han encontrado deficiencias de fósforo ni potasio en campos chilenos de palto; no obstante, si se han encontrado niveles bajos. Bender (s.f.) señala que la deficiencia de potasio es rara en paltos; pese a que es usado en grandes cantidades en el verano durante el llenado de fruta.

3.9. MAGNESIO

El magnesio es el mineral que forma parte de la molécula de clorofila, a su vez, es un coactivador de numerosas enzimas importantes para el desarrollo de la planta. Es absorbido por la planta como ion magnesio (Mg^{+2}) (Spann, 2019) moviéndose hacia las raíces por flujo de masas (Joubert, 2016) y es de absorción pasiva (Sela, 2020).

Joubert (2016) menciona que el magnesio es muy móvil en el floema, puede ser transportado de las hojas viejas a los brotes apicales; además, Mendel & Kirby (2000) comentan que, el magnesio al igual que el calcio, se lixivian con relativa facilidad.

Witney *et al.* (1990) indican que, el palto remueve de 15 a 30 gramos de magnesio por cada 100 kg de fruta; respecto a la distribución del magnesio en la planta encontraron que, el porcentaje que corresponde a este mineral del total se distribuye de la siguiente manera: en hojas contienen entre 40 - 50 por ciento; en ramas, el 20 - 30 por ciento; el tronco, de 3 - 5 por ciento y el sistema radicular (principalmente, en raíces pequeñas y finas), de 15 - 20 por ciento. También hallaron que las concentraciones en la corteza fueron muy altas; no obstante, desde las ramas hasta las raíces, hubo poca gradiente de concentración. Respecto a la fruta, las concentraciones de magnesio disminuyen con la maduración, una fruta de seis semanas tenía mayores cantidades que una madura; sin embargo, el decline no fue tan alto como el que ocurre con el calcio. En general, los tejidos reproductivos y asociados contenían mayor porcentaje del magnesio total que de calcio, esto aplicaba particularmente a las flores, inflorescencia y pulpa de la fruta (0.7 a 2 por ciento para el compuesto de magnesio en comparación con 0.2 a 0.7 por ciento para el de calcio). Por último, ellos concluyeron que la reducción del vigor vegetativo fue asociado con la baja concentración de magnesio; puesto que, los árboles , tanto de 'Hass' como de 'Fuerte', más vigorosos presentaron mayores concentraciones de este elemento.

3.9.1. Época de aplicación

Selladurai & Madhav (2019), citados por Rosecrance *et al.* (2012) recomiendan que el magnesio sea suministrado anualmente en la temporada de primavera después de floración. Otras etapas fenológicas son añadidas por Joubert (2016), como el brote temprano de primavera, la floración y el crecimiento de frutas.

3.9.2. Deficiencias

Spann (2019) señala que, las deficiencias aparecen primero en las hojas viejas con una clorosis internerval, conforme pasa el tiempo. Rosecrance *et al.* (2012) citando a Selladurai & Madhav (2019) indican que hay un progresivo amarillamiento desde las puntas y márgenes principales de las venas, dejando notar una banda verde oscura a lo largo de las nervaduras principales. Adicionalmente, Bingham (1960) encontró en árboles deficientes de magnesio que su follaje era más bronceado durante el invierno, que las ramas eran especialmente frágiles, y que el elemento en mención disminuyó rápidamente, primero en las hojas maduras, de 0.3 o 0.4 por ciento hasta 0.1 por ciento, para luego hacerlo gradualmente hasta 0.07 por ciento; así mismo, las hojas formadas en primavera contenían 0.11 por ciento, gradualmente se reduciría a un 0.04 o 0.05, antes de la defoliación prematura.

3.10. CALCIO

Este nutriente tiene como funciones el reforzar la estructura de la pared celular, formando pectatos de calcio (Sela, 2020); además, es necesario para el elongamiento y división celular (Mengel & Kirby, 2000). Así mismo, participa en la absorción de nitrógeno y en la activación de algunas enzimas como amilasa y fosfolipasa (Navarro, 2003).

El calcio es absorbido de forma pasiva (Sela, 2020) bajo su forma iónica (Ca^{+2}) por un intercambio directo entre los pelos radiculares y el complejo coloidal (Navarro, 2003), también puede moverse hacia las raíces por flujo de masas (Kirby, 2000). Dentro de la planta, el calcio se mueve de las raíces hacia la copa a través de la corriente transpiratoria del xilema (Lovatt, s.f.); durante las noches, cuando la tasa transpiratoria disminuye, este elemento se mueve por presión radicular y a una tasa de translocación muy baja (Mengel & Kirby, 2000).

En las investigaciones realizadas los paltos ‘Hass’ y ‘Fuerte’, Witney *et al.* (1990a) hallaron que la concentración de calcio fue generalmente alta en hojas, corteza, ramas pequeñas y raíces; lo contrario ocurrió en órganos reproductivos inmaduros, mientras que, en los frutos y madera fueron aún más bajos.

Bonomelli *et al.* (2019) identificaron que, el contenido de calcio en el palto varió según el tipo de suelo donde este se desarrolla: en suelos arcillosos, el total de calcio fue más bajo especialmente en raíces y brotes y con una relación K/Ca (potasio/calcio) de 1.5; mientras que, en suelos franco - arcillosos, franco - arenosos y arenosos, la relación K/Ca fue cercana a 0.9. Ellos concluyeron que, la absorción y repartición del calcio en el árbol son afectadas por la textura del suelo (al estar relacionada con la toma de agua y calcio), probablemente debido a dificultades en el desarrollo radicular o a las condiciones de oxigenación.

Sobre las funciones del calcio en frutos, Penter & Stessen (2000) mencionan que contribuye a mejorar la firmeza de los frutos, reduce desórdenes fisiológicos, internos y externos, además de favorecer el decline de patologías. En la misma línea, Dann *et al.* (2016) determinaron que, la mayor gravedad de antracnosis en poscosecha estuvo asociada a altos niveles de nitrógeno y bajos de calcio en el epicarpio de la fruta.

Hofman *et al.* (2002) evaluaron la variación en la calidad de las frutas en los paltos ‘Hass’, encontrando una fuerte relación positiva entre la concentración de calcio, y los días que le toma en madurar hasta la cosecha y el rendimiento; mientras que el número de frutas por árbol y la masa de la fruta tuvieron una correlación negativa. Rosecrance *et al.* (2012) al citar la experiencia de Selladurai & Madhav (2019) mencionaron que, en contraste con otros nutrientes, el contenido de calcio en los frutos de palto ‘Hass’ siguió un solo patrón sigmoideo, durante los primeros cinco meses este incrementa y luego se vuelve constante durante el desarrollo del cultivo hasta la cosecha del próximo año. Estos autores también mencionan a Garciana & Ferrat (2001), quienes señalan que 100 kg de fruta remueven entre 7 a 10 g de calcio y que su óptima concentración en hoja oscila entre 1.5 a 2 por ciento.

3.10.1. Época de aplicación

En sus investigaciones, Hofman *et al.* (2005) concluyeron que las aplicaciones al suelo incrementan las concentraciones de calcio en fruto con dificultad; así mismo, no son suficientes para la mejora de la calidad en frutos maduros. Penter & Stessen (2000) hallaron que, las aplicaciones de calcio en la variedad ‘Pinkerton’ son más efectivas cuando se realizan en el desarrollo temprano de frutos; debido a que en sus primeras etapas se comportan como órganos fotosintéticos, altamente transpiratorios por lo que existe un flujo

xilemático aportante de calcio (SQM, 2006). Por ello, es que se recomienda fertilizar con calcio durante la floración y fructificación (Joubert, 2016).

3.10.2. Deficiencias

Sela (2020) menciona que los síntomas se manifiestan primero en hojas y tejidos jóvenes. Joubert (2016) expresa que las primeras muestran necrosis en las puntas, los brotes jóvenes mueren, la fruta acorta su vida útil, y en las variedades ‘Fuerte’ y ‘Pinkerton’ ocurre una alta incidencia de pulpa gris. Además, añade que la deficiencia puede presentarse en suelos ligeros, arenosos o ácidos; suelos con altos niveles de sodio, magnesio y aluminio; en suelos de baja humedad o en condiciones de sequía; por último, menciona que el calcio decrece con la presencia de potasio, amonio, magnesio y sodio.

3.11. ZINC

El zinc es un nutriente que tiene actividad enzimática, al formar parte de casi ochenta enzimas; además, participa en la estabilidad del ribosoma y está presente en la ARN-polimerasa, lo que lo convierte en regulador de la expresión genética (Bonilla, 2008). Así mismo, es activador del triptófano, molécula precursora de las auxinas (Navarro, 2003). Es absorbido bajo su forma iónica (Zn^{+2}) o como quelato por vía radicular o de forma foliar (Navarro, 2003); por otro lado, Silber *et al.* (2018) señalan que este mineral es transportado por el xilema, así como el floema.

Faber (2007) menciona que las hojas jóvenes de palto tienen bajos niveles de zinc y hierro; así mismo, las hojas maduras pierden nitrógeno y potasio, pero ganan hierro y zinc. Faber (2014) también menciona que 50 ppm de zinc son suficientes para palto.

Crowley *et al.* (1996) encontraron en su experiencia foliar que, menos del 1 por ciento de la dosis de zinc, aplicado como $ZnSO_4$, fue realmente absorbido por los tejidos de las hojas; además, que hubo poca translocación del elemento en el parénquima foliar adyacente a los puntos de aplicación o en las hojas de arriba o debajo de los tratamientos. La eficacia de este tipo de aplicación dependerá del área foliar; si todo el follaje es aplicado, el 5 por ciento del elemento translocado es adecuado para la formación y crecimiento de nuevos brotes.

3.11.1. Época de aplicación

Crowley *et al.* (s.f.) indican que los fertilizantes aplicados al suelo son absorbidos mejor durante el crecimiento de nuevas raíces, lo que se da en primavera y principios de verano. Salvo (2017) afirma que el zinc se puede aplicar en la cuaja de primavera de cada año, junto a otros micro y macronutrientes, de acuerdo con las características estacionales de nutrientes en el fruto; también menciona que el zinc, junto al boro y potasio, deben ser aplicados antes de floración y durante el desarrollo de brotes vigorosos. Faber (2018) señala que este elemento es requerido en los nuevos puntos de crecimiento de raíces y brotes, también recomienda que sea dirigido hacia las raíces. Crowley & Smith (1995) mencionan que el sulfato de zinc se absorbe con mejor eficiencia durante el periodo de crecimiento de nuevas raíces; posiblemente debido a que estas no poseen la capa de carbonato de calcio que se forman al envejecer.

3.11.2. Deficiencias

Los primeros síntomas de deficiencias son el moteado de hojas en las zonas intervenales de color verde claro a amarillo pálido; si esta persiste, las áreas amarillas se alargan y se forman hojas nuevas pequeñas. En casos más graves, los márgenes de las hojas atrofiadas empiezan a quemarse, así como las ramas pequeñas y la distancia entre hojas se reduce y las frutas son pequeñas y redondas (Goodall *et al.*, 1978). Estas alteraciones se relacionan con la producción de ácido indolacético; la concentración de esta y otras auxinas pueden disminuir incluso antes que se manifiesten síntomas de deficiencia de zinc (Bonilla, 2008). Crowley & Smith (1995) encontraron que, en el palto, los síntomas de deficiencia no se deben a la cantidad de este elemento en el suelo, sino al nivel de carbonatos: por lo que recomendaron resolver esta deficiencia manejando los niveles de los segundos en mención y no aplicar cantidades mayores del elemento.

3.12. HIERRO

El hierro es un micronutriente que funciona como cofactor enzimático en la síntesis de la clorofila (Ferreira *et al.*, 2005).

El hierro es absorbido por las raíces en mayor proporción en forma de ion ferroso (Fe^{+2}) y en menor cantidad como ion férrico (Fe^{+3}) (Navarro, 2003) y la tasa de absorción guarda una relación inversa con el pH del suelo (Mengel & Kirby, 2000). Así mismo, las plantas usan

diversos mecanismos para favorecer su absorción, como la quelatación; además, recurren a la extrusión de protones para disminuir el pH de la rizósfera para facilitar la absorción del hierro. Al usar fertilizantes como nitrato de amonio, el pH del suelo se reduce, favoreciendo lo antes mencionado (Sela, 2020).

Bender (s.f.) menciona que el hierro se mueve por el xilema, además que, para atravesar las paredes celulares, este debe formar complejos con moléculas de citrato; sin embargo, cuando el pH es alto en el xilema esto no ocurre, Lovatt (s.f.) comenta que el hierro también es parcialmente móvil por el floema.

3.12.1. Época de aplicación

Salvo (2017) recomienda su aplicación acorde con la acumulación estacional de nutrientes en el fruto; por ello, se debe fertilizar con hierro después de la cuaja de primavera. Muchos autores no especifican una temporada de máximo requerimiento, tampoco de cuando es más importante; por ejemplo, Joubert (2016) señala que puede aplicarse en el momento que sea necesario, como cuando existan niveles bajos en el suelo, pero se debe asegurar que los suelos cuenten con las condiciones físicas apropiadas.

Montgomery *et al.* (2019) establecieron una dinámica de concentración de hierro en hojas de palto ‘Hass’, que fue medida desde los 70 hasta los 315 días; encontraron un decrecimiento conforme aumentaba la edad de las hojas, que, según los autores, se debe a la baja movilidad de este nutriente.

3.12.2. Deficiencias

Cuando los niveles de hierro son bajos, en las hojas de primavera se presenta una clorosis internerval y franjas estrechas verde oscuras a lo largo de las venas; cuando la deficiencia progresa, las hojas de verano se vuelven más pequeñas, delicadas, y mientras son jóvenes muestran un color amarillo pálido a blanco; las hojas severamente cloróticas muestran quemaduras en puntas y márgenes, llegando a desprenderse en casos extremos; si la deficiencia es muy severa, las ramas se desecan y el fruto cambia de verde oscuro a verde claro (Lahav & Kadman,1980).

Generalmente no existe una correlación entre el contenido de hierro foliar y los síntomas de deficiencia; sin embargo, aproximadamente un nivel inferior a 40 ppm en las hojas maduras genera clorosis y menos de 30 ppm afecta gravemente a los árboles. Cuando se muestrearon árboles sanos en primavera y otoño se hallaron 50 ppm de hierro en las hojas (Lahav & Kadman, 1980).

Algunas plantas eficientes cuando están sometidas a un estrés férrico generan cambios fisiológicos y morfológicos en sus raíces para poder absorber dicho elemento; mientras que las ineficientes acumulan y liberan aminoácidos de las raíces para poder quelatar y absorber al hierro (Mengel & Kirby, 2000). Martínez *et al.* (2014) mencionan que la deficiencia de hierro se puede corregir con aplicaciones de quelatos de hierro como Fe-EDDHA al suelo, debido a que es absorbido de mejor forma como una molécula orgánica.

3.13. BORO

El 95 por ciento del boro se encuentra formando parte de las paredes celulares contribuyendo a su estabilidad, también está relacionado con la división y crecimiento celular, germinación, regulación hormonal, entre otros; además, estimula el alargamiento de tubo polínico y la germinación. La relación entre boro y calcio desempeña un importante rol estructural y de transducción de sales (Bonilla, 2008). Montgomery (2019) menciona que el boro está asociado a la resistencia de la pared celular, así como el calcio, y a la buena formación del fruto desde la cuaja, Lovatt *et al.* (2010) también influye en el tamaño de frutos, incluso de aquellos sin semillas y en el incremento de la producción.

El boro es absorbido de forma pasiva como ácido bórico (H_3BO_3) (Clarkson & Hanson, 1980 y Raven, 1980, citados por Whiley *et al.*, 1996) y presenta una baja movilidad (Montgomery, 2019). El transporte primario del boro se da por el xilema, por lo que este elemento tiende a acumularse en órganos transpiratorios como hojas y frutos jóvenes (en menor medida); además, se redistribuye de forma limitada por el floema (Whiley *et al.*, 1996).

3.13.1. Época de aplicación

El boro es tempranamente requerido en primavera para apoyar el desarrollo del tubo polínico, en un momento en el que la fruta en crecimiento es altamente demandante en boro.

Se acumula aceleradamente en la segunda etapa de crecimiento de fruto; por ello, en años “on” la dosis debe aumentarse proporcionalmente con lo que se espere en la cosecha (Salvo, 2017). Montgomery (2019) menciona que, se debe enfocar la aplicación en los periodos de inducción floral hasta que la fruta alcanza entre 25 a 35 mm de diámetro, elevando la concentración de boro hasta 2 a 2.2 ppm; en el caso de fertirriego, recomienda enfocar el aporte desde el inicio del periodo de crecimiento de raíces hasta cuando el fruto logra 35 mm de diámetro.

El boro es muy soluble y se lixivia fácilmente, por ello, Coetzer *et al.* (1993) mencionan el cuidado que se debe tener al aplicar en suelos arenosos durante las estaciones húmedas. Lovatt (2010) señala que, es mejor aplicar el boro directamente sobre la inflorescencia cuando finaliza la tarde o al anochecer, excepcionalmente en el día, si es que las temperaturas son moderadas.

Por otro lado, Coetzer *et al.* (1993) señala que existen dos boros, el libre y el atado a hojas, de los cuales, el primero está disponible para moverse a la inflorescencia; por lo tanto, sugieren que para el muestreo de boro se deben tomar las hojas maduras cercanas a la inflorescencia, y mientras más cerca a la floración sea realizado será más preciso.

3.13.2. Deficiencias

Bonilla (2008) señala que la deficiencia causa un cese en la división celular en tallos y hojas jóvenes, seguido de una necrosis y muerte de meristemos, lo que está relacionado con su papel en la síntesis de uracilo precursor del ARN. Además, señala que los bajos niveles de boro, determinan una preponderancia hacia la vía de pentosas en el metabolismo de la glucosa, lo que favorece la acumulación de fenoles altamente tóxicos en la raíz y el tallo, acompañada de un incremento en los niveles de auxinas.

En el ensayo de Novoa *et al.* (2018), en el cultivar ‘Hass’ encontró que en su tratamiento con 1 g/planta semanal había una mayor cantidad de hojas, las cuales disminuían en relación con el incremento de la dosis; esto se daba probablemente a la presencia de entrenudos más cortos en las plantas deficientes. Además, describen que los síntomas empezaban en las hojas jóvenes, las que se tornaron pequeñas, flácidas y con pérdida de brillo; conforme la

deficiencia avanzó, las puntas se tornaron cloróticas, las hojas maduras, por el contrario, se decoloraron a verde claro ligeramente mate. SQM (2006) menciona que la deficiencia en frutos se aprecia como necrosis y deformaciones en los hombros del fruto del palto.

3.14. DINÁMICA NUTRICIONAL DEL PALTO

Bender *et al.* (2017) encontraron que los rangos óptimos de las concentraciones de nutrientes en la inflorescencia de palto en la etapa de coliflor, para un rendimiento superior a 40 kg/árbol fueron los siguientes: nitrógeno, 2.7 a 3 por ciento; fósforo, 0.4 a 0.45 por ciento; potasio, 1.4 a 1.7 por ciento; magnesio, 0.15 a 2 por ciento, azufre, 0.25 a 0.28 por ciento y zinc, 40 a 44 ppm. Además, ellos indican que las concentraciones de nutrientes en los pedicelos de las frutas tienden a ser bajas en todas las fechas de muestreo, siendo calcio, magnesio, azufre, zinc, manganeso y cobre, los que más resaltan al obtener los menores valores. A su vez, indican que las concentraciones de nitrógeno, fósforo, magnesio, azufre, zinc y cobre afectan el rendimiento; y que las concentraciones de calcio, manganeso y boro no se relacionan con el rendimiento.

Con respecto a las hojas de palto, Embleton *et al.* (1958) encontraron que los porcentajes de nitrógeno aumentan hasta agosto, disminuyen hasta diciembre (pudiendo llegar a febrero) y luego bajan drásticamente; de igual manera, Bingham (1961) indica en sus investigaciones que los niveles de nitrógeno disminuyen con la edad de las hojas.

Koen & du Plessis (1992) encontraron que los rangos de concentraciones óptimos para el nitrógeno son de 2.03 a 2.27 por ciento, nitrógeno que puede ser usado para el rendimiento de la temporada o de la siguiente; rangos óptimos para el fosforo son aquellos que superan al 0.17 por ciento; mientras que para potasio de 0.93 a 1.41 por ciento, para el caso de este mineral este rango solo es válido para una temporada.

En las investigaciones de Gonzáles *et al.* (2015) citado por Bender (s.f.) se encontró que, la concentración inicial de fósforo en las hojas de verano fue de 0.18 por ciento, la cual fue disminuyendo hasta llegar a 0.12 por ciento; mientras que, en las hojas de invierno, el fósforo inicia con 0.15 por ciento y disminuye hasta llegar al 0.15 por ciento, valor que se mantiene hasta la abscisión foliar. Por ende, las concentraciones del fósforo en toda la etapa fenológica son decrecientes.

En los trabajos de Embleton *et al.* (1958) no se observó una tendencia estacional consistente en el nivel de potasio en hojas; sin embargo, las concentraciones aumentaron cuando se realizaron fertilizaciones potásicas. Este hecho fue corroborado por Koen & du Plessis (1992), quienes encontraron que un incremento muy significativo de potasio foliar fue provocado por la mayor aplicación de dicho nutriente. Por otro lado, Lahav *et al.* (1990) indican que las concentraciones de potasio disminuyen con el envejecimiento de la hoja. Respecto a los cambios en las concentraciones de calcio y magnesio, estas también aumentan a medida avanza la edad de las hojas (González *et al.*, 2015, citado por Bender, s.f.).

Bingham (1961) en sus ensayos encontró niveles muy bajos de boro en las hojas viejas muestreadas a principios de primavera; mientras que el nivel encontrado en las muestras tomadas en mayo y julio fue mayor. Este mismo autor encontró que las hojas más jóvenes (recolectadas en mayo) contenían mayores concentraciones de zinc que las de las hojas muestreadas a fines del invierno. Asimismo, González *et al.* (2015) citados por Bender (s.f.) encontraron que la concentración del zinc disminuye en el cuajado y en la etapa 1 del crecimiento del fruto.

Lahav *et al.* (1990) encontraron que el nivel de zinc fue muy variable en ambos tipos de hojas (verano o primavera), por ejemplo, en las hojas de verano, la concentración de este mineral fue relativamente alta; adicionalmente encontró que, en las flores de primavera los niveles de zinc fueron menores a 20 ppm, y que los niveles bajos de zinc se obtienen en otoño (temporada de muestreo recomendada).

Según menciona Bingham (1962), el hierro se acumula en las hojas a medida que estas envejecen. En hojas tiernas, la concentración que encontró fue aproximadamente de 30 ppm; mientras que a finales de invierno los niveles se duplicaron.

3.15. ANÁLISIS DEL MATERIAL VEGETAL

El contenido de nutrientes de una planta refleja la disponibilidad de estos en el suelo; así mismo, también se ve afectado por el tipo de tejido analizado, la edad de la planta y el órgano vegetal en cuestión. Los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio disminuyen con la edad de la planta u órgano; mientras que, los contenidos de calcio, magnesio, manganeso y boro a menudo aumentan. Para la interpretación de los análisis nutricionales, se deben tomar en cuenta las relaciones antagonistas y sinérgicas entre nutrientes. (Mengel & Kirby, 2000).

IV. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL

4.1. CARACTERÍSTICAS DEL HUERTO

4.1.1. Ubicación del huerto

El fundo ‘Don Ricardo’ se encuentra ubicado en la costa central de Perú, en el caserío de Santa Rosa, distrito de Los Molinos, provincia de Ica, departamento de Ica. Las coordenadas geográficas son las siguientes:

| | |
|----------|---------------|
| Latitud | 13°58’36.1’’S |
| Longitud | 75°41’11.4’’O |
| Altitud | 438 m.s.n.m. |

4.1.2. Características climáticas de la zona

El valle de Ica presenta un clima árido, con una precipitación media anual menor a 10 mm; sin embargo, en el 2017 en el primer mes se registró una precipitación de 23 mm (Anexo 30).

La temperatura promedio anual es de 21 °C y con oscilaciones medias mensuales de 15 °C a 30 °C (Anexo 29) y reportes extremos de 6.3 a 33 °C en invierno (julio) y verano (marzo), respectivamente, la humedad relativa media varía entre 38 y 95 por ciento (Anexo 31).

La radiación solar máxima se registra en los meses de enero, febrero y marzo, más de 1000 W/m² (Anexo 34) y durante junio, julio y agosto la radiación solar baja.

Todos los elementos meteorológicos descritos son registrados por la estación meteorológica inalámbrica DAVIS.

4.1.3. Características del suelo

En la Tabla 1 se presentan los resultados del análisis físico – químico del suelo del campo experimental ‘RP2’ que cuenta con seis hectáreas. Esté fue realizado por el laboratorio de AGQ. Se siguió el protocolo de muestreo AQQ labs (2018), el cual indica tomar la muestra de 0 a 40 cm de profundidad, dentro de los límites del solum, zona en la que se encuentran las raíces activas, en 20 puntos abarcando todo el campo, generando una mezcla de 1 kg que fue enviada al laboratorio.

Según el análisis mostrado, el suelo presenta características físicas típicas de la costa. Posee una textura franca, de reacción ligeramente alcalina (pH 7.11), clasificado como ligeramente salino (1.46 dS/m, en pasta saturada) y presencia muy baja de carbonatos (menor a 0.5 %). Presenta contenido bajo de materia orgánica del suelo (M.O.S.) (1.83 %); sin embargo, este suelo ha sufrido un incremento desde el 2016 (1.02 %), probablemente debido a la descomposición de la única fuente de materia orgánica (restos de poda, hoja, fruta, etc.).

Presenta un contenido moderado de fósforo disponible (18.2 ppm) según los parámetros de Olsen; esto es debido a la presencia de fosfatos de calcio y magnesio y un pH ligeramente alcalino que como extractante se usa bicarbonato de sodio (Bazán, 1996). Adicionalmente posee un nivel adecuado de potasio (293.3 ppm) disponible.

Presenta una capacidad de intercambio catiónico media (12.57 meq/100 g) y de acuerdo con su salinidad – sodicidad, está clasificado como un suelo normal (PSI = 0.72 %). Entre las relaciones catiónicas, se puede determinar que este suelo es ligeramente bajo en magnesio y en potasio, en relación con el calcio disponible; además de poseer un alto porcentaje de saturación de bases (100 %).

Cada año se realizaron análisis de suelos para determinar el estado de los suelos, el detalle de estos se puede apreciar en los Anexos 36, 37 y 38.

Tabla 1: Características fisicoquímicas de los suelos del campo del campo “RP2”, fundo Santa Rosa. Ica, 2019

| pH (1:1) | C.E. (1:1) dS/m | CaCO ₃ (%) | M.O. (%) | P (ppm) | K (ppm) | Análisis Mecánico | | | Clase textural | C.I.C. | Cationes Cambiables | | | | | Suma de cationes | Suma de Bases | % Sat. De Bases |
|-------------|-----------------------|--------------------------|-------------|------------|------------|-------------------|------|---------|-------------------|--------|---------------------|------------------|----------------|-----------------|--------------------------------------|---------------------|------------------|--------------------|
| | | | | | | Arena | Limo | Arcilla | | | Ca ⁺² | Mg ⁺² | K ⁺ | Na ⁺ | Al ⁺³ + H ⁺ | | | |
| | | | | | | % | | | meq/100 g | | | | | | | | | |
| 7.11 | 0.73 | <0.5 | 1.83 | 18.2 | 293.3 | 48.6 | 33.6 | 17.8 | Fr. | 12.57 | 10.27 | 1.7 | 0.51 | 0.09 | 0 | 12.57 | 12.57 | 100 |

FUENTE: Laboratorio AGQ, 2019

4.1.4. Características del agua

El fundo cuenta con una fuente de agua subterránea de calidad aceptable. Las características físicas y químicas del agua de riego son determinadas por el laboratorio AGQ, se resumen en el Anexo 35.

El agua de riego muestreada en los tres últimos años es de reacción ligeramente alcalina, con una conductividad eléctrica de 0.79 dS/m (2016), esto es equivalente a 0.47 gramos de sales solubles en un litro de agua; para el 2017, la conductividad eléctrica es de 0.811 dS/m equivale a 0.48 g/l y para el año 2018 con una conductividad de 0.866 dS/m equivalente a 0.51 g/l, predominando en los tres años el calcio y magnesio.

La relación de absorción sódica (RAS) del agua es de 0.66 meq/l (2018), lo que indica un bajo contenido de sodio con respecto a los cationes bivalentes. Este factor reduce el riesgo de sodificación del suelo mediante el riego.

Los contenidos de sodio, cloruro y de boro son bajos y no representan riesgo de toxicidad para el palto. Los contenidos de los microelementos estuvieron por debajo de los límites de detección de los métodos empleados por el laboratorio (AGQ).

4.1.5. Características del sistema riego y fertilización

El sustento hídrico es el uso exclusivo de aguas subterráneas provenientes del acuífero local, extraídas mediante cuatro pozos tubulares cuyos regímenes de explotación están autorizados por la Autoridad Nacional del Agua. El agua es bombeada hacia un reservorio de geomembrana con capacidad de 4000 m³ a través de tuberías PVC y del reservorio es re bombeado hacia los campos de palto. El sistema de rebombeo está conformado por una bomba horizontal y un motor de 50 HP de potencia, una batería de filtrado automático.

Para el control del riego se contó con un caudalímetro, el cual tiene un emisor de pulsos cada 1.0 m³ y para la fertilización se dispuso de fertímetros de 1.0 l/s para la dosificación.

Para la inyección de los fertilizantes se tiene una electrobomba de 1.5 HP marca Salmson® para cada tanque de fertilizantes, que están distribuidas de la siguiente manera:

- Tanque 1, de 5000 l → Sulfato de potasio
- Tanque 2, de 2500 l → Nitrato de amonio
- Tanque 3, de 2500 l → Nitrato de calcio
- Tanque 4, de 2500 l → Sulfato de magnesio
- Tanque 5, de 2500 l → Ácido fosfórico y microelementos.

Para la programación del fertirriego se cuenta con un programador automático DREAM – TALGIL con las siguientes aplicaciones:

- Control de bombas.
- Control de retro lavado automático.
- Control de inyectores de fertilizantes.
- Control de válvulas de riego.

En el campo experimental el agua es controlada por válvulas hidráulicas, las cuales la distribuyen hacia los laterales de riego de manera localizada y homogénea a través de los microaspersores.

Para calcular las horas de riego se toma en cuenta la descarga del sistema de riego del campo, es decir la cantidad de agua que puede entrar, las características del sistema son detalladas en la Tabla 2.

Tabla 2: Características del sistema de riego empleado en el campo “RP2”

| Característica | Valor |
|---|--------------|
| Distancia entre líneas (m) | 6.00 |
| Distancia entre plantas (m) | 6.00 |
| Densidad (plantas/ha) | 278 |
| Nº de microaspersores/línea | 2.00 |
| Caudal del aspersor (L/h) | 35.00 |
| Separación del aspersor (m) | 6.00 |
| Descarga del sistema de riego (m³/ha*h) | 19.44 |

FUENTE: ADR, 2020

Para determinar las cantidades de agua necesarias para el riego, se usaron valores de coeficiente de cultivo (Kc) basados en la experiencia del fundo (no está documentado), éstas variaron dependiendo del estado fenológico del palto (ver Tabla 3).

Se revisaron calicatas constantemente para evaluar la humedad del suelo, la conductividad eléctrica, textura de suelo y presencia de raíces activas. Esto, con el objetivo de controlar el riego.

Tabla3: Coeficiente de cultivo ajustado según etapa fenológica en palto

| Fenología | Kc |
|----------------------|------------|
| Prefloración | 0.8 - 1.2 |
| Floración | 1.3 - 1.35 |
| Cuaja | 1.3 - 1.35 |
| Fruto 1 (10 – 30 mm) | 1.3 - 1.35 |
| Fruto 2 (31 – 50 mm) | 1.1 - 1.3 |
| Fruto 3 (65 – 70 mm) | 1.2 - 1.3 |
| Fruto >70 mm | 1.1 -1.2 |
| Cosecha | 0.9 - 1.1 |

FUENTE: ADR, 2020

El consumo de agua del palto es alrededor de 16000 m³/ha/campaña, tal como lo indica la Tabla 4.

Tabla 4: Consumo de agua del palto (m³/ha/campaña)

| Fenología | 2014-2015 | 2015-2016 | 2016-2017 | 2017-2018 | 2018-2019 |
|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| prefloración | 256.0 | 185.0 | 280.6 | 511.8 | 348.4 |
| Floración | 1926.9 | 1409.1 | 2098.2 | 2318.7 | 1285.8 |
| Cuaja | 717.8 | 434.8 | 706.1 | 1201.0 | 1227 |
| Fruto 1 (10-30 mm) | 1711.1 | 1287.3 | 1433.8 | 1520.1 | 1347.4 |
| Fruto 2 (31-50 mm) | 2010.9 | 1106.9 | 2405.0 | 2112.1 | 2232.3 |
| Fruto 3 (65-70 mm) | 3496.8 | 2511.4 | 2378.8 | 3029.4 | 4248.8 |
| Fruto >70 mm | 2443.5 | 3525.8 | 6650.8 | 5742.1 | 5306.4 |
| cosecha | 194.4 | 138.8 | 138.8 | 300 | 100 |
| TOTAL | 12,757.5 | 10,599.0 | 16,091.9 | 16,735.1 | 16,096.4 |

FUENTE: ADR, 2020

4.1.6. Fertilización del huerto

Al inicio de la campaña se fertilizó con nitrógeno y potasio este último elemento con el fin de activar las enzimas para el proceso de la fotosíntesis (Lao, 2013).

En floración se inicia la fertilización con calcio y magnesio sin dejar el nitrógeno y potasio.

En esta misma etapa se aplica boro y zinc vía foliar, tal como se indica en la Tabla 5.

Tabla 5: Aplicaciones foliares según estado fenológico

| Fenología | Elementos aplicados vía foliar |
|----------------------|--------------------------------|
| Prefloración | Calcio, boro y zinc |
| 10 % Floración | Calcio, boro y zinc |
| 20 % Floración | Calcio, boro y zinc |
| 40 % Floración | Calcio, boro y zinc |
| 60 % Floración | Calcio, boro y zinc |
| 90 % Floración | Calcio, boro y zinc |
| Cuaja | Calcio, boro y zinc |
| Fruto 1 (10 – 30 mm) | Calcio, boro y zinc |
| Fruto 1 (10 – 30 mm) | Calcio, boro y zinc |
| Fruto 3 (50 – 70 mm) | Zinc |

FUENTE: ADR, 2019

Tabla 6: Cantidad de productos utilizados vía foliar por campaña

| Nombre comercial | Ingrediente activo | 2014-2015 | 2015-2016 | 2016-2017 | 2017-2018 | 2018-2019 |
|---------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Aminofer® K | Fósforo (P ₂ O ₅)/(P): 6 % p/v Potasio (K ₂ O)/(K):44 % p/v Aminoácidos totales:10 % p/v | 56 l | -- | 36 l | 72 l | 30.5 l |
| Basfoliar® AKTIV | Fósforo:40 % (P ₂ O ₅) p/p Potasio: 15 % (K ₂ O) p/p Magnesio:5 % (MgO) p/p Boro:0,01 % (B) p/p Hierro * 0,05 % (Fe) p/p *Fe completamente queletizado con EDDHA y EDTA | 42 l | 52.5 l | 18 l | -- | -- |
| Carboxy® Zn | Zinc | -- | -- | -- | 61.1 l | -- |

«continuación»

| | | | | | | |
|---|---|---------|---------|---------|----------|----------|
| | Carbohidratos: 55-65 % Proteínas: 8-12 % Nitrógeno Total: 1-2 % | | | | | |
| Fertimar® (kg) | Fósforo disponible (P ₂ O ₅): 0.5-1.5 % Potasio soluble (K ₂ O): 4-6 % Extracto de algas marinas: 100 % | 9 kg | 34.5 kg | 18 kg | 28.37 kg | 30.66 kg |
| Fx Zinc®Flo- (Alt. Basfoliar Zn Flo) | Zinc (Zn): 750g/l | 50.44 l | 42 l | 12 l | -- | -- |
| Greenfol® Zinc | Zn | -- | -- | -- | 33 l | 118.72 l |
| Packhard® (Carboxy) | Carbono orgánico oxidable.63 g/l Calcio (CaO) 141.1 g/l Boro(B ₂ O ₃) 9.5 g/l | -- | -- | 38.25 l | 69.8 l | 106.52 l |
| Sett-Fix® | Calcio: 8 % Boro: 1 % | 77 l | 99 l | 27 l | -- | -- |

FUENTE: ADR, 2019

Los elementos calcio y zinc se aplicaron vía sistema de riego y por aplicaciones foliares. Desde cuaja hasta fruto 1 (10 – 30 mm) se fertilizó con calcio para facilitar la absorción de dicho elemento por la fruta en desarrollo.

En las primeras etapas (floración y cuaja) no debe faltarle agua ni nitrógeno a la planta, porque las panículas, hojas y brotes están en constante competencia por los nutrientes (Lovatt, 1995).

El potasio se aplica en todas las etapas fenológicas de la planta, incluso semanas antes de la cosecha. Es importante principalmente en las etapas de fruto 1 (10 – 30 mm), fruto 2 (31 – 50 mm), fruto 3 (65 – 70 mm) y fruto > 70 mm; porque es esencial para una adecuada acumulación de materia seca (Salvo, 2017).

La dosis de fertilización por etapa fenológica varió año tras año, esto debido a la cantidad de fruta que presentaron los árboles y, a los resultados de los análisis de hoja y de fruta. En las Tablas 6, 7, 8, 9, 10 y 11 se pueden apreciar en detalle las diferentes dosis usadas por campaña.

Tabla 7: Dosis de fertilización por etapa fenológica (kg/ha), campaña 2014– 2015

| Fenología | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | ZnO | B | Fe |
|--------------------|--------------|-------------------------------|------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| prefloración | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| Floración | 4.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| Cuaja | 10.9 | 1.0 | 10.1 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Fruto 1 (10-30 mm) | 58.5 | 4.1 | 40.5 | 22.4 | 2.7 | 2.3 | -- | -- |
| Fruto 2 (31-50 mm) | 73.4 | 3.1 | 66.5 | 5.9 | -- | -- | -- | -- |
| Fruto 3 (65-70 mm) | 68.0 | -- | 125.2 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Fruto > 70 mm | 52.4 | -- | 110.0 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Cosecha | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| TOTAL | 267.7 | 8.3 | 352.3 | 28.2 | 2.7 | 2.3 | 0.0 | 0.0 |

FUENTE: ADR, 2019

Tabla 8: Dosis de fertilización por etapa fenológica (kg/ha), campaña 2015 – 2016

| Fenología | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | ZnO | B | Fe |
|--------------------|--------------|-------------------------------|------------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| prefloración | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| Floración | 33.7 | 4.9 | -- | 17.8 | 7.0 | 2.3 | -- | -- |
| Cuaja | 18.2 | 4.0 | 8.0 | 11.1 | -- | 2.3 | -- | -- |
| Fruto 1 (10-30 mm) | 45.3 | 9.4 | 25.1 | 16.7 | 18.0 | -- | 1.80 | -- |
| Fruto 2 (31-50 mm) | 38.5 | 10.9 | 18.0 | 16.7 | 16.1 | -- | -- | -- |
| Fruto 3 (65-70 mm) | 102.4 | -- | 112.4 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Fruto > 70 mm | 57.4 | -- | 72.2 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Cosecha | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| TOTAL | 295.5 | 29.2 | 235.7 | 62.3 | 41.1 | 4.5 | 1.8 | 0.0 |

FUENTE: ADR, 2019

Tabla 9: Dosis de fertilización por etapa fenológica (kg/ha), campaña 2016 – 2017

| Fenología | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | ZnO | B | Fe |
|--------------------|--------------|-------------------------------|------------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| prefloración | 14.5 | -- | 15.1 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Floración | 58.7 | -- | 42.1 | -- | 18.0 | -- | -- | 0.1 |
| Cuaja | 10.3 | -- | 7.6 | -- | 7.0 | 2.0 | -- | -- |
| Fruto 1 (10-30 mm) | 25.0 | 4.0 | 8.0 | 8.9 | -- | 3.0 | -- | -- |
| Fruto 2 (31-50 mm) | 76.4 | 8.0 | 61.1 | 8.9 | 12.0 | 4.0 | -- | 0.1 |
| Fruto 3 (65-70 mm) | 74.1 | 19.7 | 58.8 | 26.7 | 30.9 | -- | -- | 0.1 |
| Fruto >70 mm | 109.9 | -- | 179.1 | 17.8 | 10.0 | -- | -- | -- |
| Cosecha | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| TOTAL | 368.9 | 31.6 | 371.7 | 62.2 | 77.9 | 9.0 | 0.0 | 0.4 |

FUENTE: ADR, 2019

Tabla 10: Dosis de fertilización por etapa fenológica (kg/ha), campaña 2017 – 2018

| Fenología | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | ZnO | B | Fe |
|--------------------|--------------|-------------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| prefloración | 6.0 | -- | 20.0 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Floración | 53.5 | 4.9 | 20.0 | 13.3 | 20.3 | 8.0 | -- | -- |
| Cuaja | 35.9 | 4.9 | 20.0 | 6.7 | 6.0 | 8.0 | -- | 0.1 |
| Fruto 1 (10-30 mm) | 48.8 | 9.9 | 29.0 | 12.2 | 9.0 | 4.0 | -- | -- |
| Fruto 2 (31-50 mm) | 65.2 | 2.9 | 77.9 | 5.5 | 6.0 | -- | -- | -- |
| Fruto 3 (65-70 mm) | 98.2 | -- | 109.1 | -- | 12.0 | -- | -- | -- |
| Fruto > 70 mm | 89.6 | -- | 264.8 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Cosecha | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| TOTAL | 397.2 | 22.6 | 540.7 | 37.8 | 53.3 | 20.1 | 0.0 | 0.1 |

FUENTE: ADR, 2019

Tabla 11: Dosis de fertilización por etapa fenológica (kg/ha), campaña 2018 – 2019

| Fenología | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | ZnO | B | Fe |
|--------------------|--------------|-------------------------------|------------------|--------------|-------------|-------------|------------|------------|
| prefloración | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| Floración | 39.8 | 21.9 | 18.0 | 35.5 | 6.0 | 8.0 | -- | -- |
| Cuaja | 39.1 | 13.8 | 10.0 | 53.3 | 10.0 | 4.0 | -- | -- |
| Fruto 1 (10-30 mm) | 52.8 | 13.8 | 29.9 | 48.8 | 18.0 | 4.0 | -- | -- |
| Fruto 2 (31-50 mm) | 83.2 | 24.8 | 92.0 | 6.7 | 16.0 | 4.0 | -- | 0.1 |
| Fruto 3 (65-70 mm) | 110.9 | -- | 168.1 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Fruto > 70 mm | 60.2 | -- | 178.1 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Cosecha | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| TOTAL | 386.1 | 74.3 | 496.0 | 144.3 | 50.0 | 20.1 | 0.0 | 0.1 |

FUENTE: ADR, 2019

Tabla 12: Fuentes de fertilizantes usados por campaña (kg/lote)

| Campaña | 2014-2015 | 2015-2016 | 2016-2017 | 2017-2018 | 2018-2019 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Nitrato de amonio | 2604 kg | 1585 kg | 3128 kg | 3153 kg | 2192 kg |
| Nitrato de potasio | 4697 kg | 3142 kg | 4649 kg | 7209 kg | 6348 kg |
| Nitrato de calcio | 651 kg | 1437 kg | 1435 kg | 872 kg | 3331 kg |
| Nitrato de magnesio | 108 kg | 1644 kg | 2680 kg | 2132 kg | 2000 kg |
| Ácido fosfórico | 96 kg | 338 kg | 366 kg | 262 kg | 860 kg |
| Sulfato de potasio | -- | -- | 150 kg | -- | 230 kg |
| Sulfato de magnesio | -- | -- | 410 kg | -- | -- |
| Sulfato de zinc | 60 kg | 120 kg | 240 kg | 535 kg | 535 kg |
| Ultraferro [®] (quelato de hierro) | 24 kg | 12 kg | 24 kg | 12 kg | -- |
| Rexolín [®] (quelato de hierro) | -- | -- | -- | -- | 12 kg |
| *Ácido sulfúrico al 98% | 1453.28 | 2165.26 | 907.97 | 1741.47 | -- |
| Ácido bórico | -- | 66 kg | -- | -- | -- |

* No se usó como fuente de ningún nutriente, solamente para bajar el pH del suelo.

FUENTE: ADR, 2019

4.2. MATERIAL VEGETAL

El campo denominado “RP2” tuvo una extensión de seis hectáreas, con una densidad de plantación de 278 plantas/ha de la variedad ‘Hass’, injertadas sobre patrones antillanos ‘Zriffin’. Los árboles tuvieron aproximadamente 17 años, además de estar sembrados sobre camellones. En la plantación se incluye un 5 por ciento de variedades polinizantes (3 % de las plantas fue de la variedad ‘Fuerte’ y el 2 por ciento restante, fue ‘Zutano’).

Tabla 13: Producción de palto del lote RP2 (campañas 2014 – 2018)

| Campaña | Rendimiento (kg/ha) |
|-------------|---------------------|
| 2014 - 2015 | 19406 |
| 2015 - 2016 | 10516 |
| 2016 - 2017 | 29567 |
| 2017 - 2018 | 26657 |
| 2018 -2019 | 36208 |

FUENTE: ADR, 2019

4.2.1. Descripción de estados fenológicos

Perú tiene curvas fenológicas similares a las sudafricanas y chilenas, pero el pico de crecimiento radical es algo más temprano en Perú y la floración del palto peruano se da más temprano que en Chile y Sudáfrica. El hecho de que varios eventos sucedan más temprano hace que la cosecha sea también más temprana, esto se ve favorecido por la característica de la palta ‘Hass’ que permite mantenerla en árbol por un largo periodo de tiempo sin que se caiga o se deteriore a nivel de pulpa y piel (Francisco, 2004).

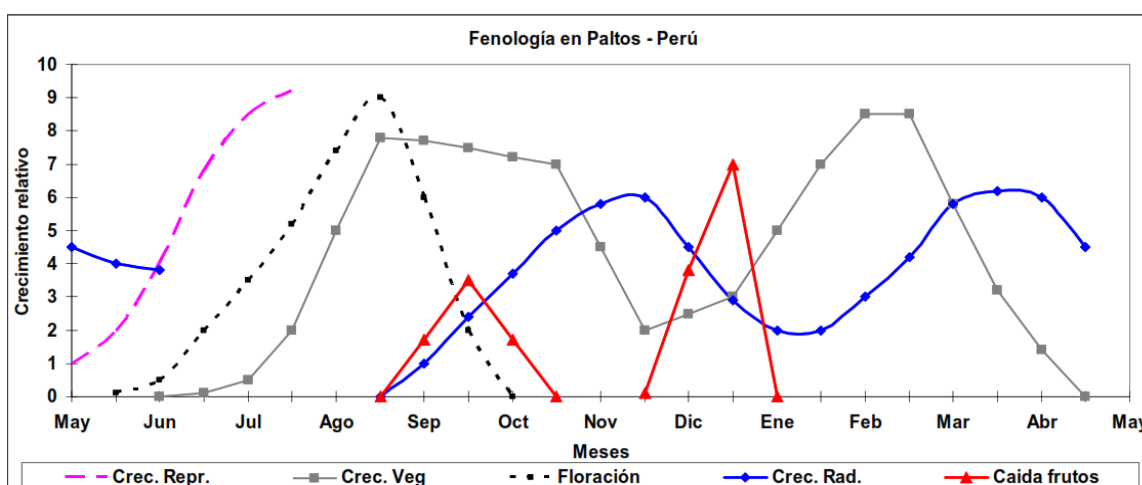


Figura 1: Ciclo fenológico del palto cultivar ‘Hass’ en la costa central del Perú

FUENTE: Vargas (1991) citado por Francisco (2004)

Para el caso de este experimento se distinguieron siete estados fenológicos enfocados en la parte reproductiva, identificados de la siguiente manera: floración (1), cuaja (2), fruto 1 (10 - 30 mm) (3), fruta 2 (31 - 50 mm) (4), fruto 3 (65 - 70 mm) (5), fruto > 70 mm) (6) e inicio de cosecha (7).



Figura 2: Etapas fenológicas

(A) Floración, (B) cuaja y (C) fructificación

4.3. TOMA DE MUESTRAS DE LAS HOJAS

Se realizó siguiendo el protocolo recomendado por la empresa AQG labs (2018):

- (a) Se seleccionó la zona de muestreo, en este caso el campo “RP2”, que tenía el mismo manejo nutricional.
- (b) Se determinó la época de muestreo tomando los momentos fenológicos ya descritos en el capítulo anterior.
- (c) Se procedió a marcando 50 árboles distribuidos de forma aleatoria (ver Figura 3), a estos se les tomó la muestra durante todas las campañas, se evitaron los árboles de los bordes de la parcela.

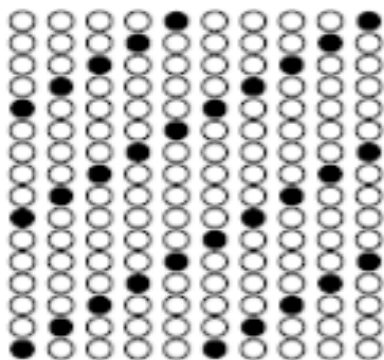


Figura 3: Distribución de árboles muestreados

FUENTE: AQG labs, 2018

- (d) De los árboles marcados, se muestrearon 40 seleccionados al azar, en la zona del tercio medio del árbol, posteriormente se dividió el árbol en cuadrantes (N, S, E y O) y de cada uno extrajo una hoja, es decir cuatro hojas por árbol. Las hojas muestreadas eran del último brote expandido (brotes de primavera), con 3 a 6 meses de edad (contabilizados aproximadamente después del último brotamiento), con un color verde oscuro y sin problemas fitosanitarios. En total se sacaron 72 hojas (4 hojas por árbol de 18 plantas).



Figura 4: Ejemplos de hojas a muestrear

- (e) Todas las muestras fueron enviadas el mismo día del muestreo al laboratorio AGQ, embaladas en sobres de papel e identificadas con el nombre y contacto de la empresa, del fundo, del lote, la fecha de muestreo y tipo de análisis foliar.

4.4. TOMA DE MUESTRAS DE LOS FRUTOS

En este caso para el estado fenológico de floración, se tomó muestras de las panículas.

4.4.1. Toma de muestras de las panículas

Siguiendo las instrucciones recomendadas por la empresa AQC labs (2018), el muestreo se realizó en los mismos árboles marcados para la toma de muestra de las hojas.

Se colectaron las muestras desde que la panícula estaba expuesta hasta cuando tenía 10 por ciento de flores abiertas.

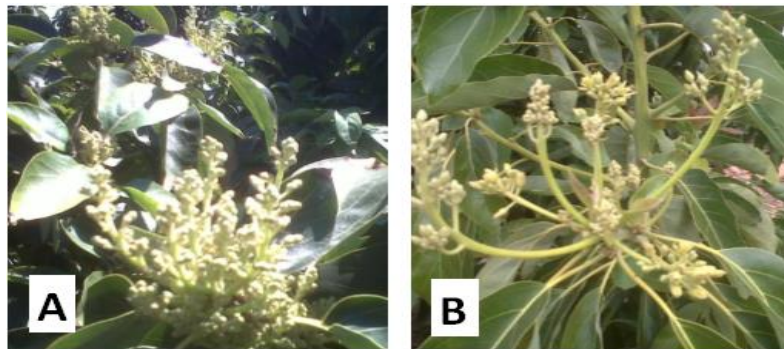


Figura 5: Tipos de panículas muestreadas

(A) panícula expuesta (B) panícula con 10 % de flores abiertas

FUENTE: AQG labs, 2018.

Se seleccionaron pedúnculos con flores o panículas completas, evitando o eliminando los brotes vegetativos. Para este caso se seleccionaron pedúnculos con flores, cuatro por cada árbol marcado de manera aleatoria, hasta colectar entre 400 a 600 gramos de todo el campo “RP2”.

4.4.2. Toma de muestras de los frutos

La colección de muestras se realizó en los mismos árboles marcados para la toma de muestra de las hojas; sin embargo, el objeto de muestreo fueron los frutos según el tamaño indicado por cada etapa fenológica descrita en el capítulo 3.2.1.

4.5. DISEÑO EXPERIMENTAL Y MÉTODOS ESTADÍSTICOS

Para este trabajo se consideraron como tratamientos a las etapas fenológicas del cultivo del palto, las cuales recibieron una denominación correspondiente que va desde la floración hasta la cosecha. Se tomaron siete tratamientos los cuales se detallan a continuación:

Tabla 14: Tratamientos y su relación con la fase fenológica del cultivo

| Fenología | Tratamiento |
|----------------------|--------------------|
| Floración | 1 |
| Cuaja | 2 |
| Fruto 1 (10 – 30 mm) | 3 |
| Fruto 2 (31 – 50 mm) | 4 |
| Fruto 3 (65 – 70 mm) | 5 |
| Fruto >70 mm | 6 |
| Cosecha | 7 |

FUENTE: Elaboración propia.

Las variables por evaluar para este trabajo fueron las respuestas de los nutrientes medidos tanto en frutos como en hojas, a través del análisis foliar; resultan en un total de diez variables respuesta que son: nitrógeno, nitrógeno amoniacal, nitrógeno nítrico, potasio, fósforo, calcio, magnesio, zinc, hierro y boro.

Se consideraron como repeticiones a las mediciones de cada campaña, las que abarcan desde el 2014 hasta el 2018, obteniéndose un total de cinco repeticiones.

Existe una alta variabilidad en los resultados obtenidos; posiblemente debido a que la colecta de las muestras no fue controlada. No se tomó en cuenta si los brotes de los que fueron tomadas las hojas eran de primavera, verano, otoño o invierno. No obstante, la toma de las muestras siguió el protocolo del laboratorio AGQ y el patrón de muestreo de la empresa.

En algunos trabajos de investigación tales como el de Gonzáles *et al.* (2015), citados por Bender (s.f.) encontraron que los cambios en las concentraciones de nitrógeno, fósforo, azufre, hierro, cobre, manganeso, zinc y boro durante el ciclo de crecimiento vegetativo fueron diferentes tanto para las hojas de invierno como para las de verano. Sin embargo, las concentraciones de potasio, calcio y magnesio fueron similares entre ambos tipos de hoja.

Por otro lado, Lahav *et al.* (1990) indican que se pueden diferenciar las hojas de primavera de las hojas de verano analizando las concentraciones de calcio. El nivel de calcio en las hojas de verano nunca supera el 1.6 por ciento; mientras que las hojas de primavera están por encima del 1.8 por ciento y a menudo, por encima del 2 por ciento.

Así mismo, Koen & du Plessis (1992) encontraron que hay demasiada variación de las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio en las hojas de brotes de primavera.

Otra posible causa de la alta variabilidad de los resultados puede deberse al empleo de diversos fertilizantes; por ejemplo, en las campañas 2016 - 2017 y 2018 - 2019, como fuente potásica se utilizaron sulfato y nitrato de potasio, mientras que para las otras campañas solamente se usó nitrato de potasio en altas concentraciones. En la campaña 2015 - 2016 se utilizó ácido bórico por fertirriego; mientras que, en las otras campañas, se aplicó vía foliar. Desde el 2014 al 2017, como fuente de hierro se utilizaron quelatos Fe-EDDHA (bajo el nombre comercial de Ultraferro[®]) y a partir del 2018 se usó hierro bajo la forma de HBED (bajo el nombre de Rexolin[®]).

Cabe mencionar que, las concentraciones de los diferentes elementos utilizados para la fertilización fueron variando año tras año, tal como se puede observar en las Tablas 6, 7, 8, 9, 10 y 11.

Otro factor que pudo influir en la alta variabilidad de los datos es el consumo de agua, en la campaña 2015-2016 se usaron solamente 10599 m³/ha (ver Tabla 4) lo cual afectó la producción.

Por ser un campo en producción, se analizaron los cambios de los elementos a través del tiempo (etapas fenológicas) de las cinco campañas, usando estadística descriptiva con diagramas *box plot* (diagramas de cajas).

Antes de realizar los gráficos se hizo una “limpieza de datos”, tomando como referencia a Bertsch (2009), los datos excluidos están indicados en el Anexo 3.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. NITRÓGENO TOTAL

5.1.1. Nitrógeno total en fruto

Según la Figura 6, se observa una ligera distribución en los datos correspondientes a las etapas 1 y 3 (floración y fruto 1 respectivamente). En la etapa 1, el 25 por ciento de los datos es menor al cuartil 1 (2.17 %); mientras que en la etapa 3, el 50 por ciento es mayor a 2.45 por ciento. Pese a la distribución, la concentración promedio de nitrógeno total alcanzó mayores valores en las etapas 1, 2 y 3 (floración, cuaja y fruto 1 respectivamente), para luego disminuir paulatinamente hasta la cosecha (ver Anexo 5).

Campisi *et al.* (2017) muestran en sus experiencias, rangos óptimos de nitrógeno para las inflorescencias de palto ‘Hass’ en etapa de coliflor, los que van desde 2.7 a 3 por ciento; en consecuencia, la concentración de nitrógeno total obtenida en el presente trabajo (2.7 %) permanece dentro del rango.

Silber *et al.* (2018) encontraron un patrón similar en la variación de concentración del nitrógeno de la fruta en palto ‘Hass’ medido en el mesocarpio y en la semilla; los niveles de este elemento aumentaban desde el inicio de desarrollo de la inflorescencia hasta la cuaja, tras lo cual bajaba con el desarrollo de la fruta. Salvo (2017) indica que después de la cuaja existe una gran demanda de nitrógeno, debido a que se producen nuevos brotes, frutos recién cuajados y frutos antiguos en crecimiento. Por estas razones, la cantidad de nitrógeno aplicado durante esta etapa fue alta.

Hubo variaciones en la fertilización nitrogenada durante las primeras etapas fenológicas en determinadas campañas, debido a las reservas en el suelo y la planta. Lovatt (1995) indica que el momento de mayor demanda de nitrógeno se da cuando hay una competencia entre el

desarrollo de frutos nuevos y el inicio de crecimiento vegetativo; no obstante, si en este periodo existen reservas de nitrógeno disponibles en el suelo y/o en ramas pequeñas, la necesidad de fertilización no sería importante.

Por otra parte, las dosis de fertilización nitrogenada descendieron a partir de la etapa 6 (fruto mayor a 70 mm) hasta el punto de dejar de aplicar al llegar a la cosecha; esto se vio reflejado en la dinámica del nitrógeno, donde la menor concentración fue hallada a inicios de cosecha, y también explicaría las diferencias entre las etapas fenológicas 1, 2 y 3 frente a las 5 y 6. El descenso en las aplicaciones de nitrógeno se debe a su influencia en el desarrollo vegetativo; tal como Montgomery (2019) menciona, el nitrógeno está relacionado con procesos vegetativos y en cierta medida su aporte contribuye a que la madurez del fruto sea más lenta. Vidal (2007) agregó que, al bajar el aporte de nitrógeno favorecía al aporte de potasio.

Respecto a los niveles de nitrógeno durante el desarrollo del fruto, estos variaron desde 2.3 por ciento en cuaja, hasta 0.74 por ciento en cosecha. Granados (2013) encontró niveles de nitrógeno en pulpa similares en el palto variedad 'Lorena', que variaron de 3.1 por ciento al inicio del crecimiento lento de la fruta hasta 1.1 por ciento al final de la maduración. Martínez *et al.* (2014) señalan que la concentración adecuada de nitrógeno varía según la época de muestreo, al citar a Ruiz & Ferreyra (2011), ellos indican que a mediados de enero (inicio de crecimiento de fruta en Chile) el nitrógeno debe ser menor a 2.2 por ciento, disminuyendo el límite máximo hasta 0.8 por ciento para la época de cosecha. Estos datos coinciden con los obtenidos en este trabajo.

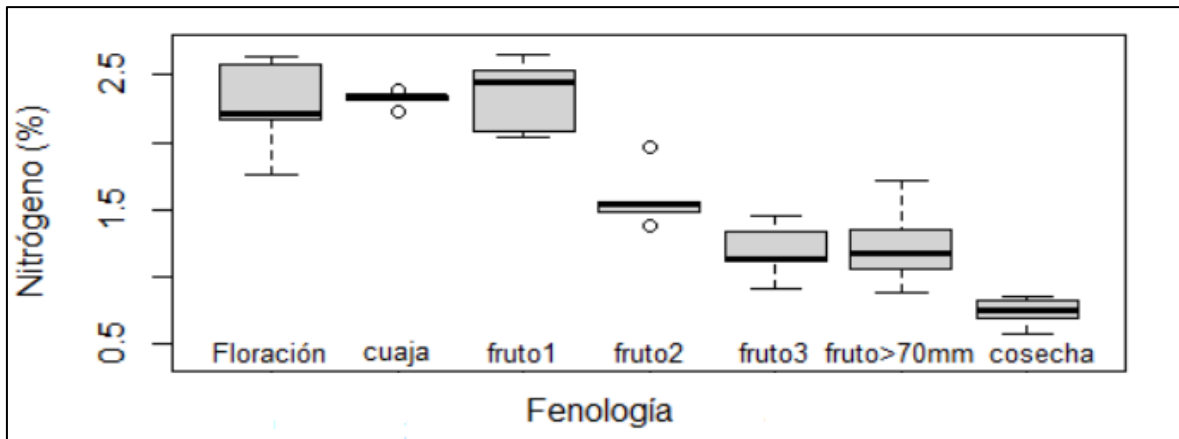


Figura 6: Variación del nitrógeno total en fruto según el estado fenológico del palto ‘Hass’

Nota: La línea horizontal dentro de la caja es la mediana, las barras indican los percentiles 25 y 75 %. Los guiones indican datos extremos que no se consideran atípicos, los círculos representan valores atípicos. Fruto 1 (10 - 30 mm), fruto 2 (31 - 50 mm), fruto 3 (65 - 70 mm) y fruto 4 (> 70 mm).

5.1.2. Nitrógeno total en hoja

En la Figura 7 se observa una alta dispersión de datos en la etapa fenológica de fruto 1 (10 - 30 mm), debido a que el 25 por ciento de los datos no superó al 2.07 por ciento; posiblemente, esto se deba a que la muestra del análisis foliar haya sido una hoja madura; no obstante, el 75 por ciento restante fue mayor. La variación del nitrógeno total en las hojas se mantuvo estable durante todas las etapas fenológicas (ver Anexo 4).

Se observa que los niveles de nitrógeno oscilan entre 1.93 y 2.35 por ciento, con una línea variable que tuvo su menor nivel durante la etapa de floración y dos picos en las etapas 4 y 5 que corresponden a las etapas fruto 2 (frutos de 31 a 50 mm) y fruto 3 (frutos de 65 a 70 mm) respectivamente. En las investigaciones de Maldonado-Torres *et al.* (2007) se muestran rangos de nutrientes en análisis foliares de cultivos con rendimientos mayores a las 20 toneladas por hectárea; en el caso del nitrógeno de 1.73 a 1.93 por ciento es considerado bajo, mientras que de 1.94 a 2.32 por ciento es óptimo, a su vez, de 2.32 a 2.5 por ciento se consideró como alto. En referencia a este trabajo, la concentración promedio de nitrógeno total es considerada óptima; a su vez, la producción del campo “RP2” fue mayor a las 20 t/ha.

Granados (2013) midió el nitrógeno en hojas de brotes vegetativos y brotes reproductivos; en el primero, los resultados variaron en las dos campañas evaluadas encontrando tres picos; mientras que en las hojas de brotes reproductivos, se encontró que este elemento disminuyó

en la fase de crecimiento lento del fruto. En las fases de crecimiento lineal y maduración del fruto, el nitrógeno aumentó llegando hasta 2.1 por ciento, volviendo a disminuir posterior a la cosecha. Podría decirse que esto último es coincidente con estos resultados; ya que después de la cosecha (con el valor de nitrógeno más alto), continúa la floración de la siguiente campaña con los valores más bajos de nitrógeno. Rosecrance *et al.* (2003) hallaron que las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio fueron más altas en hojas jóvenes y disminuyeron con la edad, y esta tasa de disminución se aceleró durante la floración, cuando las hojas estaban con unos diez meses de edad; además hallaron que, durante la caída de hojas solo el nitrógeno y el azufre fueron removidos de las hojas senescentes, mientras que los otros elementos como fósforo, potasio, calcio y magnesio fueron poco o nada reabsorbidos.

Las fuentes de nitrógeno más utilizadas en la fertilización de los paltos del lote “RP2” fueron nitratos de amonio, de potasio, de calcio y de magnesio, siendo el nitrato de potasio el más usado, llegando a consumir un promedio de 5182 kg/lote por campaña; mientras que el nitrato de amonio, un promedio de 2532 kg/lote por campaña (Tabla 12).

El nitrógeno fue utilizado en todas las etapas fenológicas desde la prefloración hasta semanas antes de iniciar la cosecha; sin embargo, se concentran más unidades (kg) de nitrógeno desde floración hasta fruto 6, luego se disminuyen las unidades de nitrógeno de acuerdo con los resultados de los análisis de hoja y fruta .

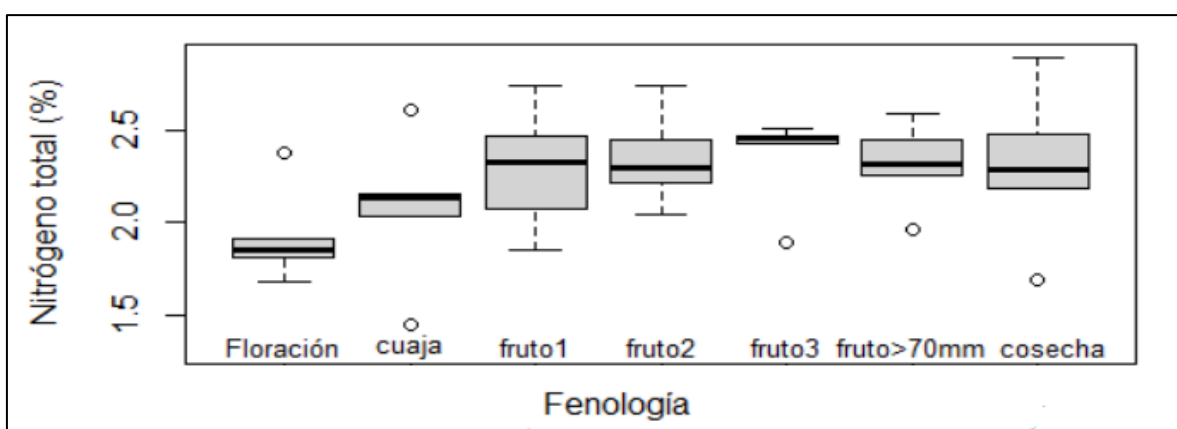


Figura 7: Variación del nitrógeno total en hoja según el estado fenológico del palto ‘Hass’

Nota: La línea horizontal dentro de la caja es la mediana, las barras indican los percentiles 25 y 75 %. Los guiones indican datos extremos que no se consideran atípicos, los círculos representan valores atípicos. Fruto 1 (10 - 30 mm), fruto 2 (31 - 50 mm), fruto 3 (65 - 70 mm) y fruto 4 (> 70 mm).

5.2. NITRÓGENO NÍTRICO

5.2.1. Nitrógeno nítrico en fruto:

Según la Figura 8, en la etapa 2 (cuaja) existe una alta dispersión de datos, el 25 por ciento de ellos fue mayor al cuartil 3 (654 ppm); el 75 por ciento restante fue menor. A su vez, se presentó una alta dispersión de datos en la etapa 6 (fruto mayor a 70 mm), habiendo sido el 25 por ciento al cuartil 1 (252 ppm); mientras que el 75 por ciento restante fue mayor (ver Anexo 7).

La formación de nitrato en el suelo pudo ser favorecida por las altas temperaturas medias que oscilaban entre 23 a 33 °C para los meses de enero, febrero y marzo, fechas que coincidían con la etapa fenológica 4; según Spann (2019), la nitrificación depende de la temperatura y puede ocurrir en tan solo 1 a 2 semanas en suelos cálidos de 75 °F (23.89 °C) o hasta en 2 a 3 meses en suelos fríos. Además de esto, el pH del suelo resultó entre 7 a 8, lo que favorece a la conversión bacteriana de amonio a nitrato (Lovatt, s.f.).

Se observa que la cantidad de nitrógeno nítrico en la hoja durante la floración y la cuaja son bajas; sin embargo, el nitrógeno total y amoniacal de la fruta tienen altos valores para estas etapas (ver capítulo 4.1.1 y 4.1.3 respectivamente), lo que compensaría los requerimientos de nitrógeno.

Durante las etapas fenológicas 5, 6 y 7 que abarcan el crecimiento de fruta, las cantidades de nitrógeno nítrico son bajas, lo que beneficia al fruto: según indica Salvo (2017), un excesivo nivel de nitrógeno en la pulpa puede generar problema de deterioro interno; también se asocia a una reducción en los niveles de calcio, esto haría que lo que menciona Ataucusi (2015), una mayor sensibilidad a enfermedades, debido a que las paredes celulares sean más delgadas y flexibles, por lo que pueden lastimarse más fácilmente.

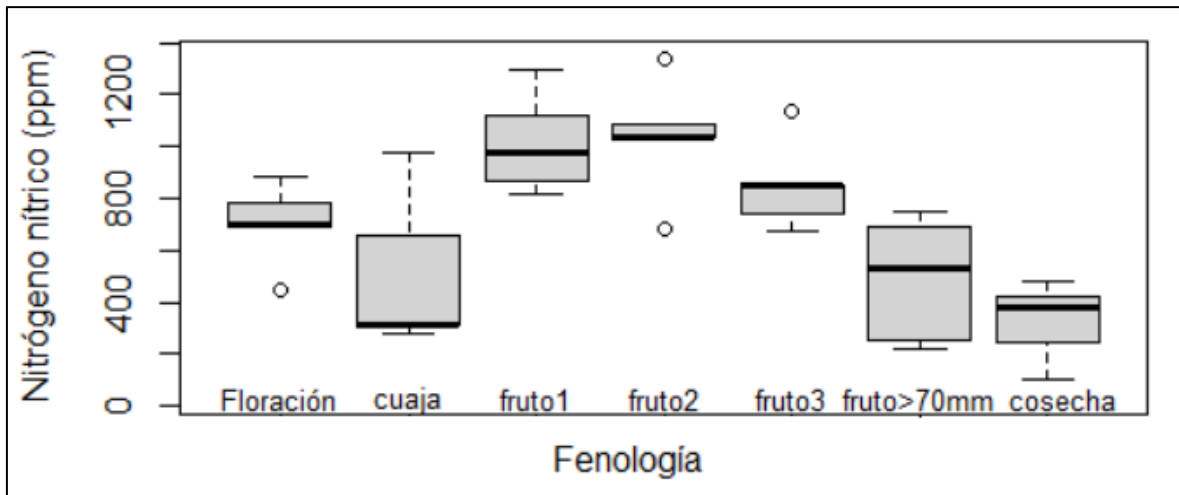


Figura 8: Variación del nitrógeno nítrico en la fruta según el estado fenológico del palto ‘Hass’

Nota: La línea horizontal dentro de la caja es la mediana, las barras indican los percentiles 25 y 75 %. Los guiones indican datos extremos que no se consideran atípicos, los círculos representan valores atípicos. Fruto 1 (10 - 30 mm), fruto 2 (31 - 50 mm), fruto 3 (65 - 70 mm) y fruto 4 (> 70 mm).

5.2.2. Nitrógeno nítrico en hoja

En la Figura 9, se aprecia que la dispersión de los resultados de nitrógeno nítrico en hoja es muy alta en las etapas fenológicas 1, 2, 3, 6 y 7. Entre ellas sobresale la etapa de fruto 1 (10 - 30 mm), puesto que el 50 por ciento de los resultados obtenidos son mayores a 359.3 ppm; mientras que el porcentaje restante no lo es (ver Anexo 6). probablemente sea consecuencia de alguna aplicación foliar, en especial, al producto comercial Fertimar® (Tabla 6).

Además, la concentración media del nitrógeno nítrico varió de 186 a 359 ppm, teniendo sus valores más altos en las etapas 2 y 3, las que coinciden con el aumento de las dosis del nitrógeno y con los aumentos de temperatura, factor que favorece la nitrificación.

Cabe mencionar que las cantidades de nitrógeno nítrico en fruta (de 326 a 1035 ppm) fueron mayores que las obtenidas en hoja. Esto puede deberse a que muchos de los fertilizantes usados contuvieron este tipo de nitrógeno (nitratos de amonio, potasio, calcio y magnesio); además, cabe recordar que los fertilizantes de nitratos producen una rápida respuesta en la planta (Mengel, 2000).

La mayor concentración de nitrógeno como nitrato es mayor que bajo la forma de amonio, tanto en hojas como en frutos, puede ser explicada con la experiencia de Lovatt (1995) quien

menciona que las plantas pueden acumular grandes cantidades de nitrato en sus tejidos sin reducirlos a amonio; esto explicaría la concentración media de 315 ppm a inicios de cosecha. Asimismo, también indica que la actividad de la nitrato reductasa tiende a decrecer tanto en hojas como en raíces, desde los comienzos del verano hasta la caída de hojas; y que la glutamina sintetasa se incrementa en ambos tejidos.

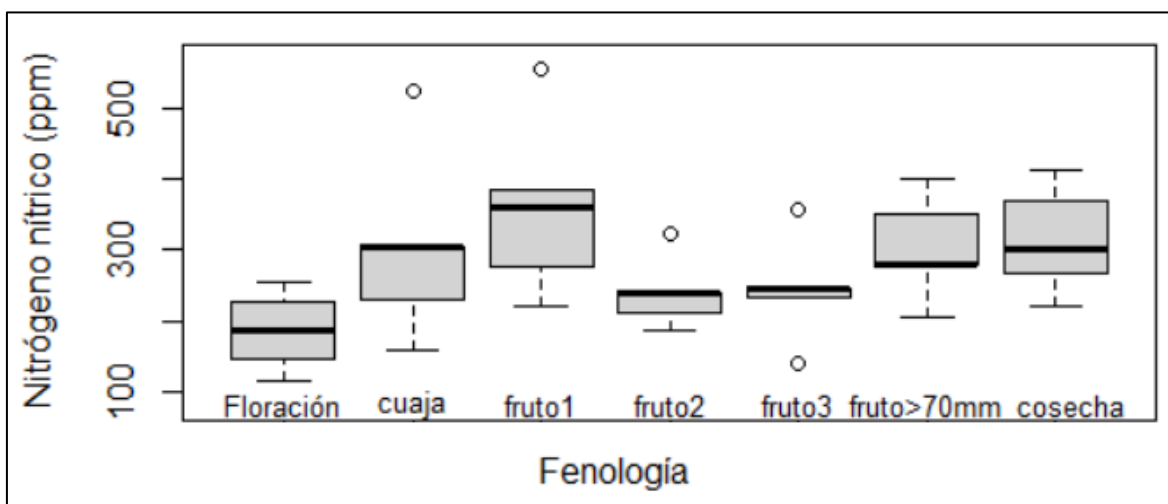


Figura 9: Variación del nitrógeno nítrico en la hoja según el estado fenológico del palto ‘Hass’

Nota: La línea horizontal dentro de la caja es la mediana, las barras indican los percentiles 25 y 75 %. Los guiones indican datos extremos que no se consideran atípicos, los círculos representan valores atípicos. Fruto 1 (10 - 30 mm), fruto 2 (31 - 50 mm), fruto 3 (65 - 70 mm) y fruto 4 (> 70 mm).

5.3. NITRÓGENO AMONIAL

5.3.1. Nitrógeno amoniacal en fruto

Según la Figura 10, la dispersión de los resultados del análisis de nitrógeno amoniacal en fruto durante la etapa 2 (cuaja) es alta, ya que el 75 por ciento de los resultados son mayores al valor del cuartil 1 (208 ppm); mientras que el 25 por ciento restante resultó menor. Sin embargo, se puede notar un pico en esta etapa, correspondiente con la mayor demanda de nitrógeno total del palto (ver Anexo 9).

Además se aprecia que, la dinámica del nitrógeno amoniacal (de forma similar a la del nitrógeno total) tiende a disminuir durante el crecimiento del fruto; observándose incluso niveles aún más bajos que los obtenidos con el nitrógeno nítrico. Esto puede deberse a lo que manifiesta Montgomery (2019), que el ion NH_4^+ al ser tóxico para la planta, debe ser

asimilado rápidamente combinándose con azúcares para formar aminoácidos y proteínas; además, esto hace que se incentive el crecimiento vegetativo, que es algo que se desea evitar durante la etapa de crecimiento del fruto.

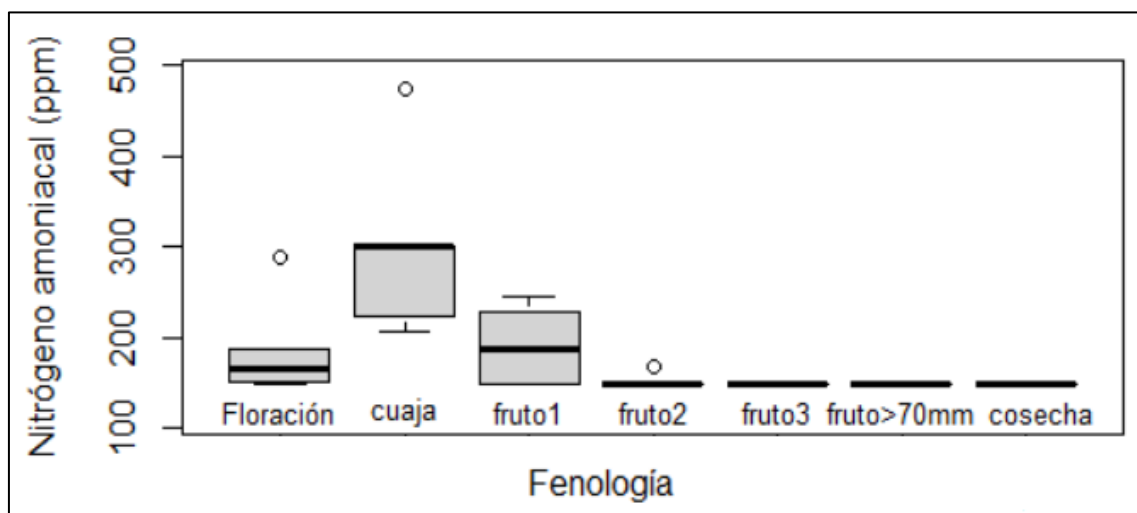


Figura 10: Variación del nitrógeno amoniacal en el fruto según el estado fenológico del palto 'Hass'

Nota: La línea horizontal dentro de la caja es la mediana, las barras indican los percentiles 25 y 75 %. Los guiones indican datos extremos que no se consideran atípicos, los círculos representan valores atípicos. Fruto 1 (10 - 30 mm), fruto 2 (31 - 50 mm), fruto 3 (65 - 70 mm) y fruto 4 (> 70 mm).

5.3.2. Nitrógeno amoniacal en hoja

En la Figura 11 se aprecia que hay una alta dispersión en los resultados del nitrógeno amoniacal en hojas en la etapa de fruto mayor a 70 mm, ya que el 25 por ciento de los resultados fue mayor al cuartil 3 (238.3 ppm); esto pudo deberse a varios factores, entre ellos a la fertilización nitrógenada, al nitrógeno aportado por la descomposición de la hojarasca, etc. Su pico más alto fue en la etapa 3 con 238 ppm y el más bajo 150 ppm (ver Anexo 8).

Si se compara con los valores obtenidos con el nitrógeno nítrico de las hojas (186 a 359 ppm), se pueden notar valores más bajos para el amonio, cabe recordar que la planta puede absorber nitrógeno en forma de amonio y nitrato; sin embargo, para ser asimilado, el nitrato se debe transformar primero en amoníaco, el cual se unirá con los carbohidratos para formar aminoácidos y proteínas, haciendo que la raíz lo asimile con una rapidez mayor a la del nitrato (Navarro, 2003). Adicionalmente, las plantas pueden acumular en sus tejidos grandes cantidades de nitrato sin reducirlos a amonio, las que pueden encontrarse como reservas en la vacuola y en el citoplasma, donde se regula la actividad de la nitrato reductasa. La

actividad de esta enzima tiende a disminuir en hojas y raíces desde inicios de verano hasta dos meses después; contrariamente a lo que sucede con la glutamina sintetasa (que ayuda a la asimilación del amonio), cuya actividad se incrementa en los mismos períodos (Lovatt, 1995); todo esto puede influenciar en qué tipo de nitrógeno es el más abundante dentro de la planta.

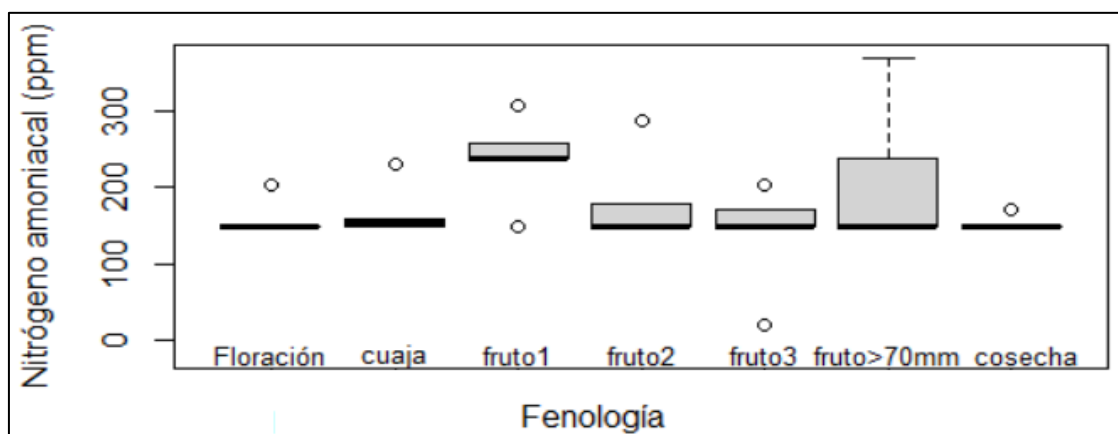


Figura 11: Variación del nitrógeno amoniacal en la hoja según el estado fenológico del palto 'Hass'

Nota: La línea horizontal dentro de la caja es la mediana, las barras indican los percentiles 25 y 75 %. Los guiones indican datos extremos que no se consideran atípicos, los círculos representan valores atípicos. Fruto 1 (10 - 30 mm), fruto 2 (31 - 50 mm), fruto 3 (65 - 70 mm) y fruto 4 (> 70 mm).

5.4. FÓSFORO

5.4.1. Fósforo en fruto

Según la Figura 12, la distribución del fósforo en frutos fue superior en las tres primeras etapas (floración, cuaja y fruto 1); además, conforme el fruto aumenta de tamaño, la concentración de fósforo disminuye (ver Anexo 11).

Se encontró una dinámica similar en la evaluación del fósforo en el palto 'Hass' realizada por Silber *et al.* (2018), en la cual los niveles de este elemento, medidos en flores, pulpa y semilla, aumentaban desde la floración hasta inicios de la cuaja y disminuían durante el crecimiento del fruto. Campisi *et al.* (2017) encontraron que conforme avanzaba el desarrollo de la inflorescencia este elemento aumentaba; además, las concentraciones en la etapa de coliflor de la inflorescencia tuvieron mayor cantidad de fósforo que las obtenidas en plena floración, y ambos estados tenían más fósforo que todas las muestras tomadas de los pedicelos de los frutos durante su desarrollo.

Los resultados mostrados se debieron a que la fertilización fosforada fue realizada principalmente durante la floración, cuaja y fruto 1; ocasionalmente se extendía hasta los estados de fruto 2 y 3, dependiendo de la presencia de raíces activas. Lao (2013) explica que el fósforo influye en el desarrollo de flores y en la cuaja de los frutos, además de ser importante durante la formación de la planta y el desarrollo de raíces. Salvo (2017) recomendó aplicar fósforo después de la cuaja en la primavera de cada año, y según la cosecha esperada.

Crowley (2007) menciona que este elemento se transforma a su estado mineral manteniéndose por largo tiempo en el suelo; además, Navarro (2000) expresa que es poco móvil y no sufre grandes lixiviaciones. Estas características hacen que se encuentre disponible por un largo tiempo, por ende no se requieren aplicaciones constantes. Hay autores como Ibacache & Sierra (1998) que, durante 18 años no detectaron diferencias entre la presencia o ausencia de fertilización fosforada de un huerto de palto ‘Hass’ en España.

El plan de fertilización emplado no contempló una aplicación fosfórica durante la floración; en la campaña 2014 - 2015 y 2016 - 2017 sin embargo, esta etapa presentó una concentración alta, probablemente favorecida por las reservas de fósforo en el suelo de la campaña anterior y de la fertilización con nitrato de amonio en las primeras etapas. Mengel & Kirby (2000) mencionan que las plantas suministradas con amonio absorben más cationes que aniones, a su vez liberan iones H^+ al suelo acidificando la rizósfera. Es posible que el pH relativamente neutro haya mejorado la absorción de fósforo, ya que según Navarro (2007), este mineral suele estar disponible en mayores cantidades con pH 6 a 7, pero puede volverse insoluble a pH muy altos. Los análisis arrojan un pH que varía de 7.52 al 7.69 para el agua; mientras que para el suelo tiene valores similares (entre 7 y 8). Por otro lado, la fuente de fósforo más empleada en el palto del campo “RP2” es el ácido fosfórico en un promedio de 384.4 kg/lote por campaña; cabe resaltar que el ácido sulfúrico fue utilizado para reducir el pH del suelo (Tabla 12).

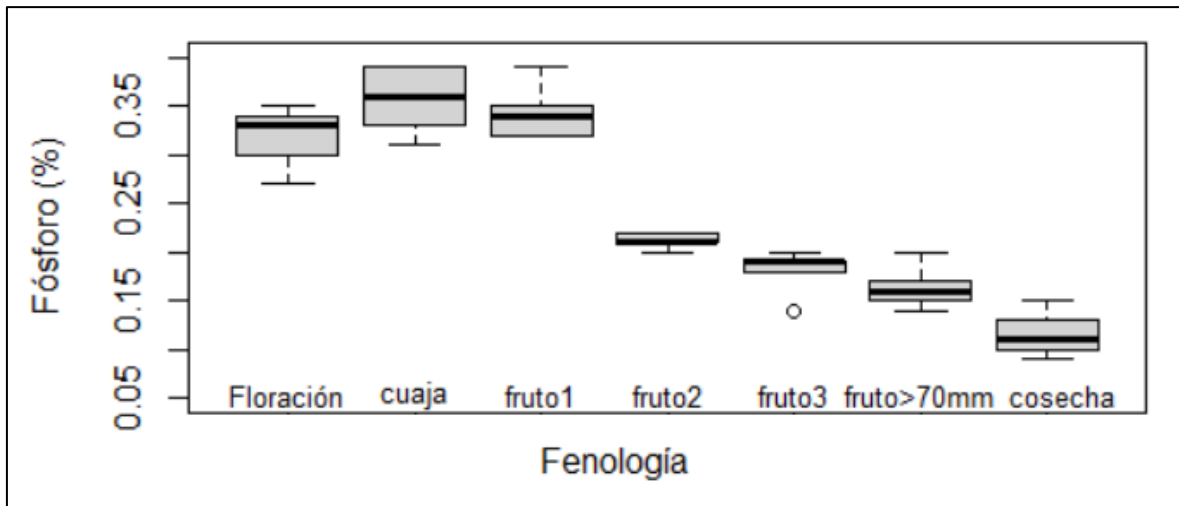


Figura 12: Variación del fósforo en la fruta según el estado fenológico del palto ‘Hass’

Nota: La línea horizontal dentro de la caja es la mediana, las barras indican los percentiles 25 y 75 %. Los guiones indican datos extremos que no se consideran atípicos, los círculos representan valores atípicos. Fruto 1 (10 - 30 mm), fruto 2 (31 - 50 mm), fruto 3 (65 - 70 mm) y fruto 4 (> 70 mm).

5.4.2. Fósforo en hoja

Según la Figura 13, existe una alta dispersión entre los resultados de fósforo en las etapas de floración y cuaja; para la etapa de floración, el 50 por ciento de ellos es menor al 0.12 por ciento, mientras que el porcentaje restante fue mayor. De forma similar, en la etapa 2 (cuaja) el 50 por ciento de los resultados son menores a 0.15 por ciento, mientras que el resto son mayores; posiblemente esta alta dispersión de debió al uso de hojas maduras para el análisis foliar (ver Anexo 10).

Lahav *et al.* (1990) mencionan que los nivel de fósforo en hojas jóvenes es muy alto y que disminuye rápidamente a medida que la hoja envejece; también mencionan que, en primavera, época de crecimiento y actividad metabólica intensiva, el fósforo es translocado de hojas viejas a jóvenes. Esto podría explicar el pico de concentración de fósforo en la etapa 3 (fruto de 10 a 30 mm), coincidente con una de las épocas de aplicación fosfórica, y con las necesidades de la planta mencionadas en el capítulo anterior.

Las concentraciones de fósforo en la hoja variaron de 0.12 a 0.19 por ciento, siendo menores que las halladas en la fruta, este rango es similar al considerado óptimo para palto ‘Hass’ por Maldonado-Torres *et al.* (2007) (0.15 a 0.18 %), quienes además, citan los rangos establecidos por otros autores como Bertin *et al.* (1976) (de 0.1 a 0.3 %). Cabe resaltar que, en fruta se obtuvieron valores que sobrepasaban el 0.3 por ciento durante la floración (0.33

%), cuaja (0.36 %) y estado de fruto 1 (0.34 %), Maldonado-Torres *et al.* (2007) indican que el rango óptimo es variable debido a la localización del cultivo y a otros factores.

Las concentraciones de fósforo en frutos variaron de 0.12 a 0.36 por ciento, valores altos con respecto a los obtenidos en hojas. Esto puede deberse a que los frutos son los sumideros principales de los árboles de palto, por lo que un análisis de estos es una herramienta efectiva para saber el momento de adición de nutrientes (Silber *et al.*, 2018), y así poder beneficiarse de este elemento, que además de beneficiar la floración y la cuaja, también está asociado a los procesos de transporte de la energía química durante la fotosíntesis para la producción de carbohidratos (Salvo, 2017). Su escasez genera poco crecimiento vegetativo e inhibe el crecimiento de brotes y yemas (Ataucusi, 2015), e influye en el crecimiento de las raíces (Lao, 2013). Por ello se debe garantizar una buena disponibilidad de este nutriente.

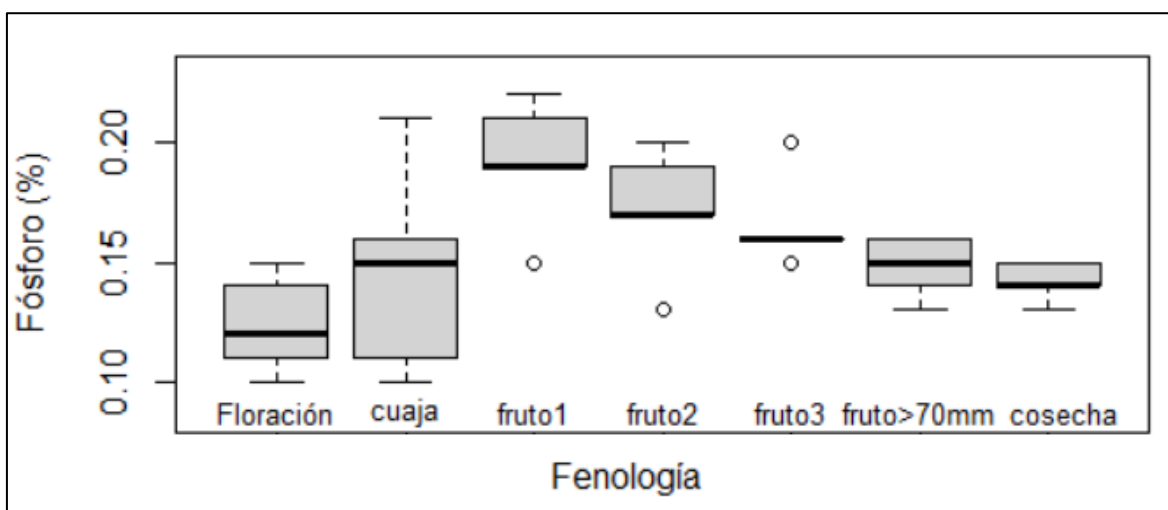


Figura 13: Variación del fósforo en la hoja según el estado fenológico del palto 'Hass'

Nota: La línea horizontal dentro de la caja es la mediana, las barras indican los percentiles 25 y 75 %. Los guiones indican datos extremos que no se consideran atípicos, los círculos representan valores atípicos. Fruto 1 (10 - 30 mm), fruto 2 (31 - 50 mm), fruto 3 (65 - 70 mm) y fruto 4 (> 70 mm).

5.5. POTASIO

5.5.1. Potasio en fruto

Como se aprecia en la Figura 14, existe una alta dispersión en los resultados durante la cuaja, el 25 por ciento de los valores es mayor al cuartil 3 (2.99 %), mientras que el otro 75 por ciento fue menor (ver Anexo 13). Asimismo, se podría afirmar que esta dispersión se vio afectada por la cantidad de fruta en los árboles o por alguna aplicación foliar en especial del Fertimar®, ya que fue usado en todas las campañas (Tabla 6).

Las concentraciones de potasio en la fruta fueron mayores en las etapas de floración y cuaja; mientras que las etapas 4, 5 y 7 (fruto 2, de 31 a 50 mm; fruto 3, de 65 a 70 mm y el inicio de cosecha respectivamente) fueron las que tuvieron las menores concentraciones.

Campisi *et al.* (2017) indican que la concentración de potasio en las panículas (etapa de coliflor) va de 1.4 a 1.7 por ciento. En este campo “RP2”, las muestras tomadas fueron de pedúnculos de flores completamente diferenciadas pero sin aperturarse (denominada etapa 10 por Salazar-García *et al.*, 1998); además, la concentración promedio de potasio en esta etapa fue 2.22 por ciento, la que pudo haberse favorecido por la fertilización potásica vía sistema de riego. En las Tablas 7, 8, 9, 10 y 11 se puede observar la distribución de las unidades (kg) de potasio por cada etapa fenológica y por campaña. La fertilización en la campaña 2014 - 2015 y 2015 - 2016 se inició en cuaja y a partir de la campaña 2016 - 2017, se inició en prefloración y floración. Por otro lado, es posible que las fuentes naturales de potasio del suelo pudieron haber favorecido el contenido de este nutriente en la planta.

El potasio disponible en los análisis de suelos variaban de 0.5 a 0.75 meq/100 g (que equivale a 5 y 7.5 meq/l) y el intercambiable variaba de 0.32 a 0.51 meq/100 g (3.2 y 5.1 meq/l respectivamente); según Montgomery (2019), para el buen desarrollo reproductivo se debe fertilizar con nitrato y sulfato de potasio desde inicio de floración hasta cosecha, elevando la concentración de potasio de la solución nutritiva de 1.25 hasta 2.20 meq/l. Estas cantidades fueron superadas en los análisis de suelo del fundo, por lo que no fue necesaria una fertilización elevada.

Aún con una buena reserva de nutrientes, el programa de fertilización exigía un aporte constante de potasio, pero las cantidades variaron según la etapa fenológica. Durante la floración y la cuaja, las unidades (kg) de potasio aportadas por fertilización fueron bajas debido a que solo bastaba con las reservas del suelo; sin embargo, durante el crecimiento del fruto las dosis fueron más altas, especialmente durante las etapas fenológicas 4, 5 y 6 (fruto de 31 a 50 mm, fruto de 65 a 70 mm y fruto mayor a 70 mm respectivamente). Este incremento en la fertilización promovería una elevación en la concentración de este elemento en la etapa 6.

Este manejo en la fertilización generó una curva similar a la encontrada por Campisi *et al.* (2017), donde las concentraciones de potasio durante la floración fueron mayores a las medidas en los pedicelos de los frutos durante el crecimiento de estos. La forma descendente de la curva de floración a la cosecha puede deberse a que las necesidades de potasio durante el crecimiento del fruto se incrementan. Salvo (2017) indica que el potasio es esencial para una adecuada acumulación de materia seca, ya que facilita el transporte de carbohidratos hacia los frutos en crecimiento. Lao (2013) señala que el potasio es importante en la fructificación, por que favorece la traslocación de las reservas de la planta hacia la fruta y favorece la circulación de la savia; además, Navarro (2003) indica que debido a su movilidad, tiene la propiedad de mantener el pH de las células al neutralizar los ácidos orgánicos, esto es lo que sucede dentro de los cloroplastos cuando este elemento penetra en estos organelos favoreciendo así la fotosíntesis, además de esto, funciona como activador enzimático de los glúcidos, metabolismo del nitrógeno, glucólisis y metabolismo de ácidos grasos, estos dos últimos englobados en la respiración.

Aunque los niveles de potasio descendieron durante el crecimiento del fruto, su rango estuvo entre 1.64 a 2.82 por ciento. Joubert (2016) señala que las cantidades de potasio en fruta no deben ser menores de 1.5 por ciento. Cabe indicar que el exceso de potasio, según Navarro (2003), es lixiviado o consumido por la planta sin ser realmente útil para ella.

La disminución de la curva de potasio en la fruta durante la etapa de crecimiento puede ser favorable, mientras no descienda a niveles de deficiencia; tal como lo recomienda Montgomery (2019), para lograr que los frutos no ganen peso excesivo, se puede aplanar la distribución de potasio durante el crecimiento activo de la fruta. De esta forma, la relación potasio-nitrógeno se torna más favorable para el segundo, siendo menos generativa (Vidal, 2007).

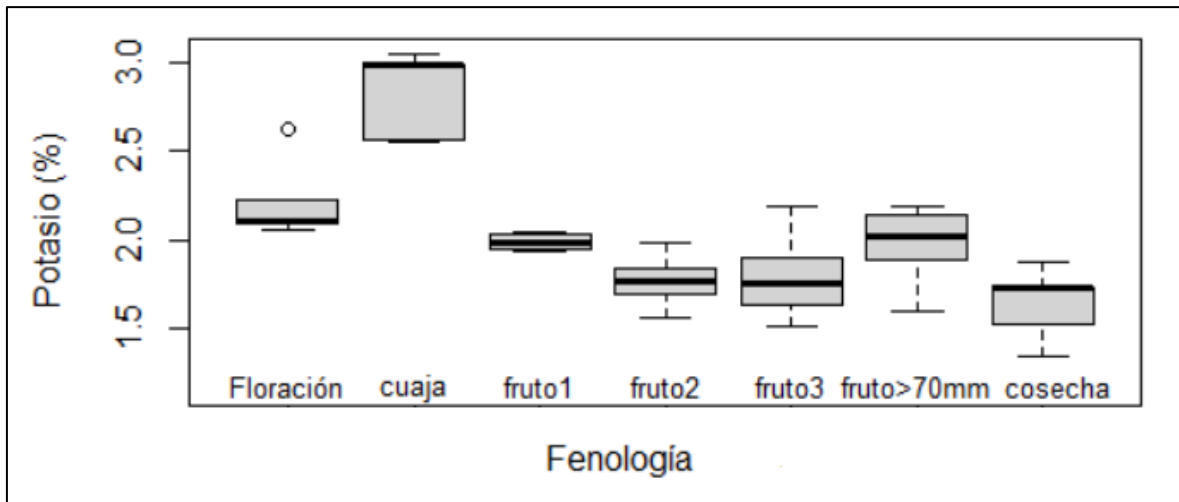


Figura 14: Variación del potasio en la fruta según el estado fenológico del palto ‘Hass’

Nota: La línea horizontal dentro de la caja es la mediana, las barras indican los percentiles 25 y 75 %. Los guiones indican datos extremos que no se consideran atípicos, los círculos representan valores atípicos. Fruto 1 (10 - 30 mm), fruto 2 (31 - 50 mm), fruto 3 (65 - 70 mm) y fruto 4 (> 70 mm).

5.5.2. Potasio en hoja

La Figura 15 muestra los resultados del contenido de potasio foliar, en la época de floración se aprecia una mayor dispersión, puesto que el 50 por ciento de los resultados son menores a 1.12 por ciento, lo que pudo deberse a un mal muestreo de hojas; sin embargo, el 50 por ciento restante fue mayor (ver Anexo 12).

Los macronutrientes primarios (N, P y K) parten de una concentración mayor a una menor, es decir, siguen una dinámica decreciente a medida que aumenta la edad de la hoja; hecho que se relaciona con su movilidad y rehúso de tejidos maduros hacia los jóvenes (Motgomery *et al.*, 2019), probablemente en la época de floración se tomaron hojas maduras para el análisis foliar.

Asimismo la etapa 2 (cuaja) presenta una alta dispersión en sus resultados, el 25 por ciento de estos fue menor a la mediana (1.36 %); probablemente sea consecuencia de la alta demanda del potasio por parte de la fruta, siendo la concentración promedio de este nutriente en frutos de 2.82 por ciento. La alta concentración (1.73 %) de potasio en la etapa 3 (corresponde al fruto 1 de 10 a 30 mm) se debe a las aplicaciones foliares (Tabla 6), como ya se indicó en el capítulo anterior.

Fernández *et al.* (2017) encontraron una variación similar del potasio en hoja de palto ‘Hass’, su concentración se elevó desde la cuaja, teniendo su máximo pico en el fruto denominado “aceituna”, bajando hasta tener su mínimo valor a media cosecha; de la misma forma que los autores, en este proyecto el descenso durante el crecimiento de fruto permaneció dentro del rango recomendado.

Maldonado-Torres *et al.* (2007) encontraron un rango óptimo de potasio en hoja que variaba de 0.8 a 1.1 por ciento; estos autores citaron a Embleton (1972) que indicó un rango de 0.75 a 2.0 por ciento, muy similar al obtenido al promediar las cinco campañas mencionadas en este trabajo. El nivel adecuado de este nutriente contribuye a aumentar la concentración de los solutos en brotes y hojas, lo que es útil reduciendo el punto de congelamiento de sus tejidos (Salvo, 2017); además, contribuye con el balance hídrico al promover la apertura y cierre del estoma (Lao, 2013).

Los niveles de potasio también deben asegurar una buena relación generativa, Montgomery (2019) señala que, durante la etapa de crecimiento rápido del fruto debe haber una adecuada relación N/K en la que un nivel menor a 1.8 favorece el desarrollo de frutos; mientras que una mayor a 2.4, favorece el crecimiento vegetativo. Ataucusi (2015) explica que el potasio puede compensar el efecto negativo del nitrógeno, siempre y cuando no se encuentre en exceso. En esta experiencia, las relaciones N/K en hoja fueron menores a 1.8 en las etapas fenológicas de cuaja (0.95) y en fruto 1 (1.47), lo que favorecía el desarrollo del fruto y no afectaría el rendimiento (ver Tabla 13).

La fertilización se realizó con dos fuentes de potasio: el sulfato y el nitrato, siendo esta última muy ocasional; Lahav *et al.* (1976) encontraron que ambos contribuyen al incremento del tamaño de fruta, pero no afectan significativamente el rendimiento. Al comparar dos fuentes de nitrógeno, Tapia *et al.* (2007) encontraron que la aplicación foliar generó 1.1 por ciento de potasio en las hojas, mientras que el nitrato aplicado al suelo generó 0.9 por ciento. Para el caso de este proyecto, ambos nutrientes se aplicaron al suelo generando concentraciones dentro del rango óptimo.

En el trabajo de investigación de Guerrero *et al.* (2018) indican que, la aplicación con nitrato de potasio incrementa la producción, esto se debe a que los iones nitrato y potasio actúan en sinergia.

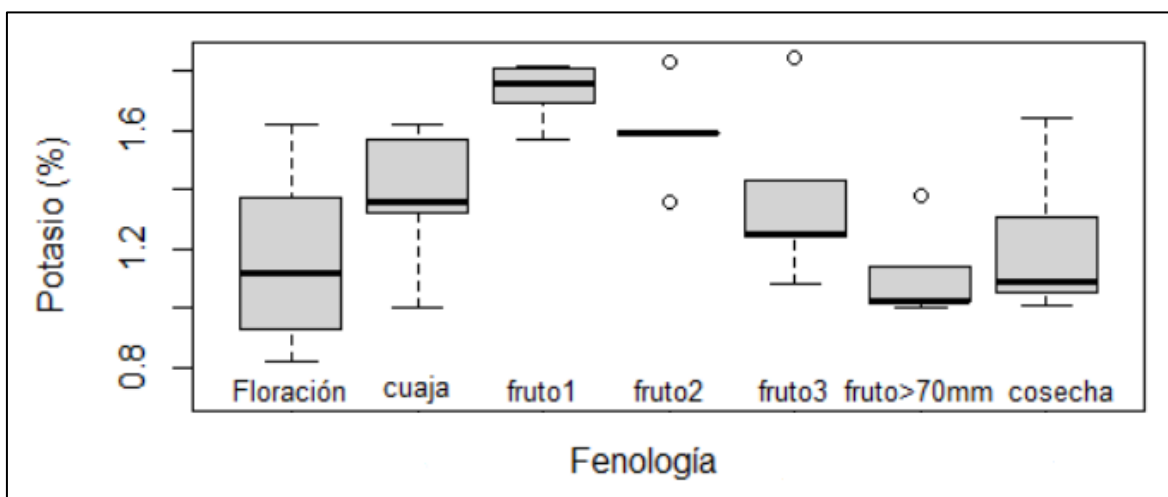


Figura 15: Variación del potasio en la hoja según el estado fenológico del palto ‘Hass’

Nota: La línea horizontal dentro de la caja es la mediana, las barras indican los percentiles 25 y 75 %. Los guiones indican datos extremos que no se consideran atípicos, los círculos representan valores atípicos. Fruto 1 (10 - 30 mm), fruto 2 (31 - 50 mm), fruto 3 (65 - 70 mm) y fruto 4 (> 70 mm).

5.6. CALCIO

5.6.1. Calcio en fruto

En la Figura 16 se puede apreciar que el contenido de calcio en fruto tuvo su pico en la etapa 2 (cuaja), con un promedio de 0.54 por ciento, siendo superior a las etapas fenológicas posteriores 3, 4, 5, 6 y 7. Además se obtuvo que las etapas fenológicas con menores cantidades de calcio en fruto fueron las etapas 5, 6 y 7 (fruto 3, 65 - 70 mm; fruto 4, mayor de 70 mm e inicio de cosecha, respectivamente) (ver Anexo 15).

La tendencia de la curva de calcio es al descenso después de la cuaja, esto se debe a la concentración de aplicaciones durante las etapas de floración, cuaja y fruto 1, y también, a que estas son las épocas en que el fruto tiene mayor capacidad de absorción del calcio; tal como lo señalaron Penter & Stessen (2000) en la variedad ‘Pinkerton’, las aplicaciones fueron más efectivas durante el desarrollo temprano de la fruta que justo antes de la cosecha; y como concluyeron Rosecrance *et al.* (2003), quienes indican que el requerimiento de calcio se cumple temprano en la fruta, ellos encontraron que los niveles de este elemento no

aumentaban después de los primeros tres meses de crecimiento. De similar manera, Salvo (2017) explica que todo el calcio que contiene el fruto se acumula durante los primeros cinco meses de desarrollo inicial, debido a que se mueve a células de crecimiento activo, tal como ocurre en el crecimiento inicial de la semilla; así los frutos antiguos no logran acumular más calcio del que pudieron almacenar durante sus primeros meses de desarrollo. Esto puede explicar por qué las concentraciones de calcio fueron menores desde que los frutos midieron de 65 a 70 mm hasta el inicio de cosecha (etapas 6 y 7).

El programa de fertilización incluyó aplicaciones foliares y por sistema de riego, ambas durante las etapas de floración, cuaja y fruto 1. Aunque factores como la cantidad de calcio disponible (valores entre 12.2 y 13.5 meq/100 g), el pH básico de los suelos y del agua favorecieron la absorción de calcio, la capacidad de intercambio catiónico fue relativamente baja (12.6 y 13.7 meq/100 g). Hofman *et al.* (2005) explican que la baja capacidad de intercambio catiónico resulta en una rápida lixiviación del calcio, lo que hace difícil que las aplicaciones al suelo incrementen la concentración de este elemento en la fruta. Además de que Spann (2019) menciona que una vez absorbido e integrado a la planta, el calcio puede volverse inmóvil; por ello, hace que una aplicación foliar directa a frutos y hojas sea considerada como necesaria.

Una de las principales funciones del calcio en la planta es la de formar parte de la protopectina de la lámina media y de la pared celular primaria; esto ayuda a que los compuestos orgánicos y sales minerales sean retenidos por las membranas celulares de forma conveniente (Navarro, 2003). También mejora la firmeza de la fruta, reduce desórdenes fisiológicos internos y externo (Penter & Stessen, 2000); además, los bajos niveles de calcio y altos niveles de nitrógeno en el exocarpo de la fruta se asocian a la mayor gravedad de antracnosis en poscosecha y la calidad inferior de la fruta (Dann *et al.*, 2016).

A si mismo la relacion N/Ca es usada como un indicador de vida poscosecha de la fruta, en sus trabajos de investigacion Herrera *et al.* (2007) indican que la proporción de N/Ca es mayor en la pulpa y mínima en la hoja, se espera una proporción preferentemente alta en la fruta del palto, por niveles bajos de nitrogeno y altos de calcio, debido a lo explicado la relación N/Ca en la etapa de floración es 5.27 y en cosecha fue de 14.8.

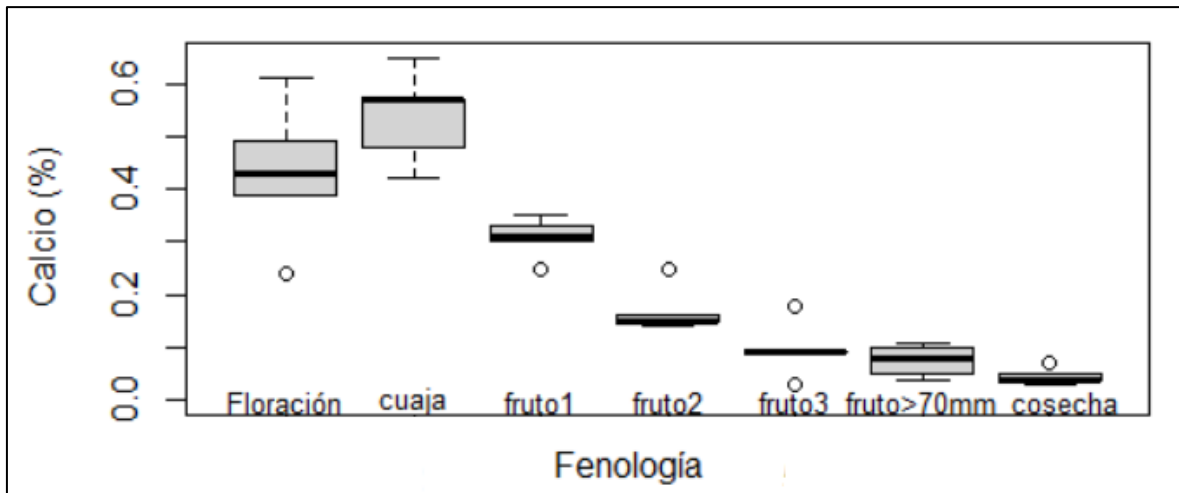


Figura 16: Variación del calcio en la fruta según el estado fenológico del palto ‘Hass’
 Nota: La línea horizontal dentro de la caja es la mediana, las barras indican los percentiles 25 y 75 %. Los guiones indican datos extremos que no se consideran atípicos, los círculos representan valores atípicos. Fruto 1 (10-30 mm), Fruto 2 (31-50 mm), Fruto 3 (65-70 mm) Fruto 4 (> 70 mm).

5.6.2. Calcio en hoja

Como se aprecia en la Figura 17, las dos etapas con mayores concentraciones de calcio fueron la floración (con 2.65 %) y la cuaja (con 2.2 %). Salazar-García *et al.* (2015) mencionan que las variaciones en las concentraciones de calcio en las hojas de los brotes vegetativos (de invierno y de verano) son muy similares y que estas aumentan con la edad de las hojas. Asimismo Lahav *et al.* (1990) encontraron en sus estudios que, la concentración de calcio en las hojas del año anterior fue más alta que la obtenida en las hojas de verano; además mencionan que, el nivel de calcio en hojas de verano no logró superar al valor 1.6 por ciento, mientras que el nivel de calcio de las hojas de primavera siempre fue superior a 1.8 por ciento (a menudo, por encima del 2 %) (ver Anexo 14).

En base a lo anteriormente expresado se puede concluir que, es posible distinguir entre las hojas de verano y las de primavera. Adicionalmente, se aprecia que los resultados del calcio para la etapa de floración (oscilan entre 2.65 a 2.70 %), hecho que hace pensar que se utilizaron hojas maduras; por otro lado, las aplicaciones foliares a base de calcio inician desde la floración y son alrededor de nueve en toda la campaña, lo que pudo haber afectado en algún modo las concentraciones de calcio en hojas muestreadas durante la cuaja.

Respecto a la época y dosis de fertilización con calcio, estas fueron variables (ver Tablas 7, 8, 9, 10 y 11). Es decir, en la campaña 2014-2015, la fertilización se inició en la etapa de

fruto 1 (10 - 30 mm) con 22.4 kg; mientras que las aplicaciones foliares fueron hechas a partir del 10 por ciento de la floración, empleándose en toda la campaña una cantidad de 77 litros de calcio foliar (bajo el nombre comercial Sett-Fix[®]) (ver Tabla 6). En las dos últimas campañas (2017 - 2018 y 2018 - 2019) la fertilización por sistema de riego se inició a partir de la floración con dosis de 20.3 y 35.5 kg respectivamente; además, las aplicaciones foliares se realizaron con el mismo criterio, con la única diferencia fue el producto, el cual fue cambiado por Packhard[®], empleándose en total 69.8 y 106.53 litros por campaña respectivamente (Tabla 6). Esto quizá podría explicar las altas concentraciones encontradas en las dos primeras etapas, que correspondería con lo que manifiesta Gardiazabal (2004), que el nivel foliar del nutriente es afectado favorablemente por aplicaciones foliares o por pesticidas. De todas formas debe tenerse cuidado, muchos productos pueden quedar fijados en la cutícula de la hoja.

El aumento en el contenido de calcio después de la etapa 3, cuando los frutos llegan a medir de 10 a 30 mm (fruto 1) probablemente haya sido favorecido por las temperaturas y la evapotranspiración que aumentan por las fechas en la que estas etapas fenológicas se dan (enero, febrero, marzo, abril), ver Anexos 29 y 31.

La forma de la curva de dinámica en la hoja difiere mucho de la observada en fruto. El primer pico puede atribuirse a las aplicaciones de calcio durante la floración, mientras que su posterior descenso podría deberse a la mayor exigencia de la fruta durante estas etapas como ya se explicó anteriormente (ver 4.3.1.); una vez terminada la demanda de los frutos, el calcio queda almacenado en los otros órganos. Witney *et al.* (1990a) hallaron que en los paltos, la concentración de calcio fue alta en hojas, cortezas, ramas pequeñas; mientras que en órganos reproductivos inmaduros fue baja, y muy baja en frutos y madera; explicaron que esto era debido a que la distribución del calcio estaba gobernada por órganos de transpiración y por la exportación de auxinas.

Se puede observar que los niveles de calcio en la fruta (entre 0.05 y 0.54 %) fueron menores a los observados en la hoja (entre 1.5 y 2.65 %), debido a que la transpiración es un factor importante en la absorción y traslado del calcio; una vez en la planta, este elemento se mueve a zonas de alta tasa de transpiratoria (Azcón-Bieto & Talón, 2008, citados por Bonilla, 2008), como las hojas (Montgomery, 2019). Esto podría explicar las bajas concentraciones en el

fruto respecto a las obtenidas en las hojas; dependiendo del rango óptimo con el que se compare, sería normal o presentaría un exceso, algunos de estos rangos reportados son los de Goodall *et al.* (1979) de 0.75 a 2 por ciento, y Bertin *et al.* (1976) de 0.5 a 2.4 por ciento citados por Maldonado-Torres *et al.* (2007); mientras que Martínez *et al.* (2014) menciona el rango de 1 a 3 por ciento, en este último se encuentran las concentraciones obtenidas en este trabajo.

Otra de las razones del comportamiento del calcio se deben el antagonismo con otros elementos, Montgomery (2019) cita a Ferreyra *et al.* (2012) y Vidal (2007), quienes señalan que el calcio puede ser afectado por los cationes como el amonio y potasio por competencia antagonica; Hernández *et al.* (2016) indican que la concentración de nitrógeno afecta la calidad de la fruta debido a que disminuye la asimilación de calcio cuando está en el suelo.

Para el caso de este proyecto se puede observar que el potasio y el amonio tienen sus concentraciones más altas en la etapa 3, tras esto, los niveles de estos nutrientes disminuyen; en el caso del calcio ocurre lo contrario, su punto más bajo se da en la etapa 3, tras esto, empieza a incrementar su concentración.

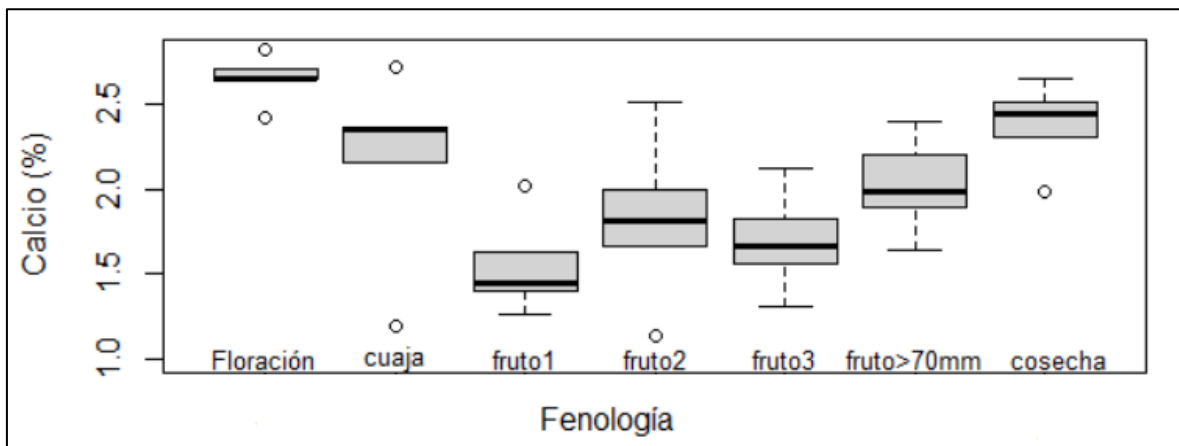


Figura 17: Variación del calcio en la hoja según el estado fenológico del palto ‘Hass’

Nota: La línea horizontal dentro de la caja es la mediana, las barras indican los percentiles 25 y 75 %. Los guiones indican datos extremos que no se consideran atípicos, los círculos representan valores atípicos. Fruto 1 (10 - 30 mm), fruto 2 (31 - 50 mm), fruto 3 (65 - 70 mm) y fruto 4 (> 70 mm).

5.7. MAGNESIO

5.7.1. Magnesio en fruta

El magnesio en la fruta tuvo su valor máximo en la etapa 2 (cuaja) con un nivel promedio de 0.2 por ciento; mientras que la menor concentración se dio en la etapa de inicio de cosecha (7) con un nivel promedio de 0.07 por ciento. En forma general, las etapas 1, 2 y 3 (floración, cuaja y fruto 1) presentaron niveles relativamente altos de magnesio (ver Anexo 17).

El pico de la curva se debe a que la fertilización se concentró en floración, cuaja y fruto 1, ya que en estas etapas se acumula el 50 por ciento de los requerimientos totales del fruto en crecimiento (Salvo, 2017); además, el magnesio disminuye el número de abortos naturales, mejora el tamaño del fruto, proporciona brotes nuevos y floración temprana (Ataucusi, 2015); hay autores que recomiendan las aplicaciones durante los brotes tempranos de primavera, además de la floración y crecimiento de frutas (Joubert, 2016), y otros como Rosecrance *et al.* (2012) que recomiendan que el magnesio se suministre cada año después de la floración (Selladurai & Madhav, 2019).

Se puede observar que la mayor concentración del magnesio se da durante la cuaja, al igual que el calcio, si se analizan las dos curvas se puede apreciar que son similares. Martínez *et al.* (2014) mencionan que, en un estudio realizado por el INIA Chile hallaron que, a mayor cantidad de calcio en la fruta mayor cantidad de magnesio, concluyeron que existía una relación positiva entre ambos nutrientes, además el incremento de estos componentes mejoraba la condición de la fruta. Witney *et al.* (1990) encontraron que la concentración del magnesio tendía a disminuir con la maduración del fruto al igual que el calcio, esto también se pudo apreciar en nuestra dinámica, donde los menores valores se hallaron durante la cosecha.

Si se comparan las concentraciones del fruto y la hoja, se observa que esta última contiene más magnesio que el fruto, Campisi *et al.* (2017) encontraron la misma relación cuando comparó las concentraciones de la hoja y el tejido del pedúnculo, llegando a ser tres veces mayor en las hojas. Rosecrance *et al.* (2003) mencionan que los primeras reservas de macronutrientes como el magnesio son las ramas y las hojas. Martínez *et al.* (2014) señalan

que el magnesio juega un rol fundamental en la fotosíntesis al ser un componente esencial en la estructura de la clorofila (Marschner, 2012), según explica Ataucusi (2015), el magnesio es un activador de la eficiencia de este organelo, es decir, permite que las hojas tengan mayor capacidad de almacenaje de almidón.

La fertilización se realizó principalmente con nitrato de magnesio y en menor medida con sulfato de magnesio (Tabla 12). Montgomery (2019) recomienda aplicar sulfato de magnesio cuando el suelo es alcalino y existe deficiencia, mientras que Martínez *et al.* (2014) indican que el nitrato de magnesio es la fuente ideal debido a que el magnesio se absorbe mejor con el ion nitrato.

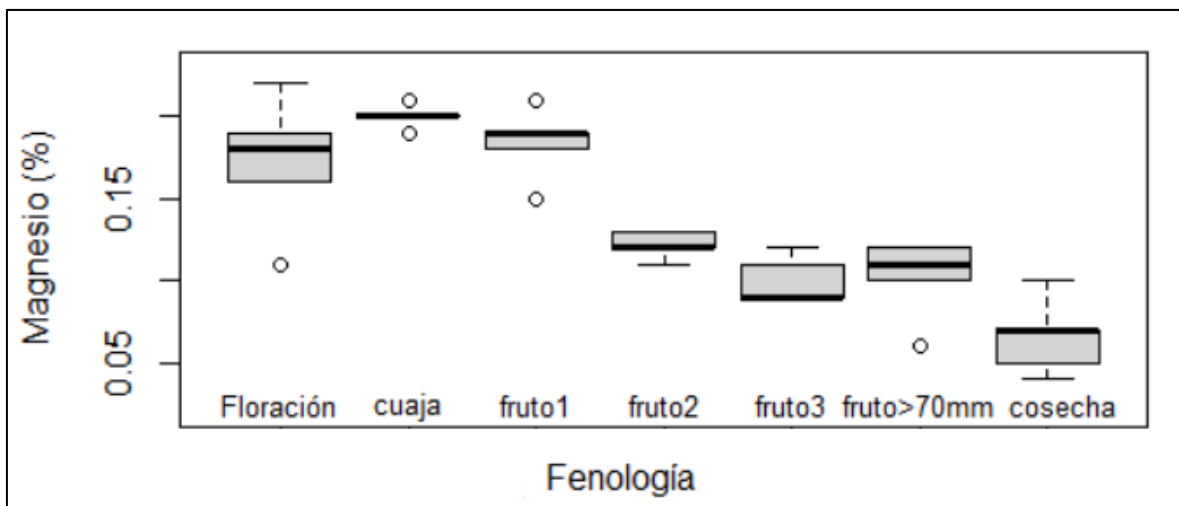


Figura 18: Variación del magnesio en la fruta según el estado fenológico del palto 'Hass'

Nota: La línea horizontal dentro de la caja es la mediana, las barras indican los percentiles 25 y 75 %. Los guiones indican datos extremos que no se consideran atípicos, los círculos representan valores atípicos. Fruto 1 (10 - 30 mm), fruto 2 (31 - 50 mm), fruto 3 (65 - 70 mm) y fruto 4 (> 70 mm).

5.7.2. Magnesio en hoja

Según la Figura 19, en las etapas 5 y 6 correspondientes a frutos de 65 a 70 mm y fruto mayor a 70 mm respectivamente, los datos fueron muy dispersos. Para la primera en mención, el 25 por ciento de los resultados fue menor al cuartil 1 (0.40 %); mientras que para la segunda, el 50 por ciento fue mayor a 0.49 por ciento (ver Anexo 16).

La concentración de magnesio en la etapa de floración en promedio fue de 0.52 por ciento, la que disminuye durante la cuaja, para luego volver a subir; sin embargo, Montgomery

(2019) en sus estudios demostró que las concentraciones de calcio y magnesio tuvieron una dinámica creciente directamente relacionada al avance en la edad de la hoja, por lo que se concluiría que la muestra tomada (en la floración) pudo haber sido de hojas maduras.

La fertilización con magnesio en el campo “RP2” se inició desde floración hasta fruto 3 (65 - 70 mm); sin embargo, las unidades (kg) fueron variando año tras año (Tablas 7, 8, 9, 10 y 11) de acuerdo a la producción. Además, en las primeras campañas (2014 - 2015, 2015 - 2016 y 2016 - 2017) se realizaron aplicaciones foliares con productos (Tabla 6) que contenían un 5 por ciento de MgO en proporción p/p.

La dinámica del magnesio en la hoja fue similar a la encontrada en el calcio, coincidiendo con lo explicado en el capítulo anterior (4.3.1); sin embargo, durante la etapa de inicio de cosecha la tendencia de ambos elementos se vuelven opuestas, es posible que sea resultado de un antagonismo. Montgomery (2019) menciona que el magnesio y el potasio son potencialmente antagonistas al calcio (Azcón-Bieto & Talón, 2008, citados por Bonilla, 2008), por ello en condiciones tropicales es necesario llevar la concentración de este nutriente a niveles similares a los de calcio, evitando coincidir la aplicación con los cationes bloqueadores.

Navarro (2003) explica que cuando la relación calcio/magnesio es superior a 10, la deficiencia del magnesio ya puede ser visible. Una relación alta sucede debido a que el calcio desplaza al magnesio adsorbido en el complejo coloidal, en este caso la relación Ca/Mg variaba de 5.91 a 6.34, lo que hacía improbable una deficiencia causada por el desequilibrio del suelo.

Los valores de magnesio variaron entre 0.4 y 0.52 por ciento, algunos autores señalan que se pueden hallar problemas con estas concentraciones; Bingham (1960) encontró que, en árboles deficientes, el magnesio podía bajar rápidamente de una concentración de 0.3 o 0.4 por ciento hasta 0.1 por ciento en la hoja, pero hay otros autores como Bender (s.f.) cuyo margen óptimo está limitado entre 0.25 a 0.80 por ciento. Para Maldonado-Torres *et al.* (2017), la concentración óptima de magnesio para un rendimiento superior a 20 toneladas por hectárea va de 0.62 a 0.77 por ciento, mientras que Gardiazabal (2004) toma como

referente a SAAGA – SAAKV (South African Avocado Grower's Association) quienes mencionan que el nivel normal de magnesio está en el rango de 0.4 a 0.8 por ciento; finalmente, en relación con todos los casos mencionados, los rangos obtenidos en el experimento estarían dentro de lo aceptable. Adicionalmente Gardiazabal (2004) señala que, los árboles injertados sobre porta injertos antillanos tienen altos niveles foliares de potasio, magnesio, hierro y zinc.

Otro factor que influye en los niveles de magnesio es el potasio, si se comparan las curvas generadas por el magnesio en la hoja con la del potasio, se aprecia que el mínimo nivel magnesio se halló en la etapa fenológica 3 (0.41 %), etapa en la que el potasio tuvo su mayor absorción (1.73 %). Navarro (2003) indica que la posibilidad de un antagonismo entre potasio y magnesio es alta, una relación K/Mg (en miliequivalentes) no debe exceder a la unidad, ya que las plantas que crecen en estos suelos tendrán preferencia a tomar el potasio sobre el magnesio, llegando a generar una deficiencia; para este caso, la relación estaba entre 0.2 y 0.3, lo que indica que el equilibrio en el suelo era bueno, por otro lado dentro de la planta los niveles medidos de potasio en la hoja variaban de 1.11 a 1.73 por ciento (valores mucho mayores al magnesio), esto debido a una alta fertilización de potasio. Navarro (2003) explica que las cantidades de magnesio y calcio disminuyen en la planta al aumentar en el medio la concentración de potasio, también es posible que el potasio aumente el rendimiento generando mayor necesidad de magnesio. En sus investigaciones, Hofman *et al.* (2002) encontraron que el magnesio y el calcio tenían una relación positiva con el rendimiento y número de frutos.

Además, existe la relación $(Ca + Mg) / K$ que se correlaciona positivamente con el magnesio y calcio de la pulpa, estos tres parámetros se correlacionan negativamente con la antracnosis (Hofman *et al.*, 2002).

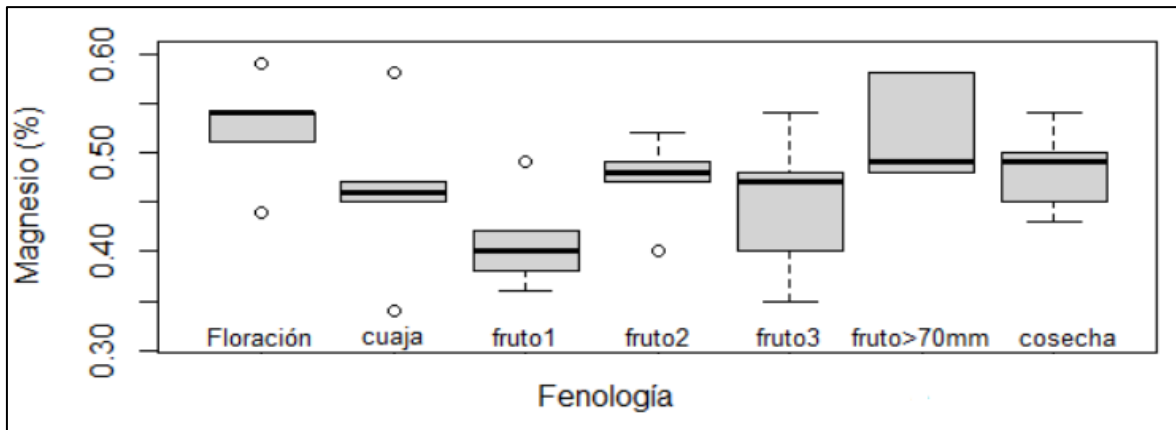


Figura 19: Variación del magnesio en la hoja según el estado fenológico del palto ‘Hass’

Nota: La línea horizontal dentro de la caja es la mediana, las barras indican los percentiles 25 y 75 %. Los guiones indican datos extremos que no se consideran atípicos, los círculos representan valores atípicos. Fruto 1 (10 - 30 mm), fruto 2 (31 - 50 mm), fruto 3 (65 - 70 mm) y fruto 4 (> 70 mm).

5.8. ZINC

5.8.1. Zinc en fruto

Como se aprecia en la Figura 20, en la etapa fenológica de cuaja los datos obtenidos fueron muy dispersos, además, el 50 por ciento de ellos fue mayor a 66 ppm y el porcentaje restante fue menor (ver Anexo 19).

La variación pudo deberse a que en algunas campañas las fechas en que se tomó la muestra fueron antes de la aplicación, y en otras después, de esta forma en las etapas donde se efectuó la fertilización (floración, cuaja y fruto 1) hubo mayor variación entre las campañas, mientras que las etapas fenológicas que no recibieron fertilización tenían concentraciones similares entre campañas.

Aunque las cifras son muy variables, se puede apreciar que el zinc fue alto en la cuaja, para luego descender durante el crecimiento del fruto. Algo similar encontraron Silber *et al.* (2018), quienes mencionan que la concentración del zinc disminuye desde la floración, siendo esta disminución más acelerada durante el crecimiento del fruto. Campisi *et al.* (2017) observaron que conforme avanzaba las etapas de floración, disminuían los niveles de zinc (primero la inflorescencia en forma de coliflor y luego plena floración), durante el crecimiento del fruto los valores de zinc eran mucho más bajos manteniéndose casi constantes.

Silber *et al.* (2018) explican que la fuerte disminución de la concentración de zinc en los órganos productivos, podría sugerir el final de una intensa actividad metabólica, probablemente debido a su participación junto a otros elementos en la formación de las semillas, además cita a Alloway (2004), quién señala que el zinc esta envuelto en la floración, producción de semillas, formación de almidón y sacarosa, metabolismo de proteínas, integridad de la membrana y en el metabolismo de auxinas. Por otro lado Gardiazabal (2004) menciona que cuando existe deficiencia se reduce el tamaño de los frutos y se vuelven más redondos en algunos casos muestra una coloración rojiza al punto de inserción.

Las épocas de aplicación coincidían principalmente con los meses de octubre, noviembre y diciembre, durante estos meses se da el primer pico de crecimiento radicular. Según Crowley *et al.* (s.f.), el zinc es absorbido con mayor eficiencia durante la primavera y a principios de verano, fechas en las que crecen nuevas raíces; Crowley & Smith (1995) atribuye a la ausencia de la capa de carbonato de calcio en las raíces jóvenes, la cual se forma con la madurez.

Cabe mencionar que las aplicaciones fueron hechas vía sistema de riego y por vía foliar, respecto de esta última, Selladurai & Madhav (2019) citan la investigación de Whiley & Pegg (1990), en la que usaron al isótopo Zn-65 para determinar la absorción de este elemento, la cual fue menor al 1 por ciento. Crowley *et al.* (1996) compararon diferentes tipos de aplicaciones de ZnSO₄ por riego y vía foliar; los resultados mostraron que la primera fue más efectiva, aumentando la concentración de zinc, mientras que la fertilización foliar absorbió menos del 1 por ciento de lo aplicado.

Debe resaltarse que el suelo del campo experimental fue alcalino y esta característica puede afectar las aplicaciones al suelo, hecho que es reforzado por Malo (1976), quien señala que las aplicaciones de este mineral son inefectivas en suelos alcalinos o calcáreos. Para Bender (s.f.), algunos suelos pueden tener zinc pero al ser un metal traza se vuelve insoluble con el incremento del pH. Crowley *et al.* (s.f.) señalan que una aplicación de 3.17 kg por árbol puede incrementar los valores a 150 ppm, pero estos disminuyen rápidamente debido a que el fertilizante precipita con nuevos minerales; aun así, los niveles permanecen altos por uno o dos años, además menciona que el palto solo requiere de 0.5 a 1 ppm de zinc en el suelo.

En los suelos del experimento, el nivel de zinc en el 2016 fue de 3.15 ppm. En dicha campaña fueron aplicados 9 kilogramos por hectárea (por sistema de riego); el análisis de suelo para el 2017 mostró 25.3 ppm de zinc, lo que confirmaría que una parte de lo aplicado quedaría en el suelo, y debido al pH, posiblemente no esté disponible completamente, ya que los resultados de análisis de hoja son muy variables.

En suelos alcalinos, Bender (s.f.) recomienda aplicar a las hojas cuando éstas están rojas; así mismo, Lahav & Kadman (1980) explican que la penetración ocurre mejor cuando las hojas jóvenes son rociadas, pero solo es efectivo por un periodo de tiempo, por lo que se necesita una repetición cada temporada.

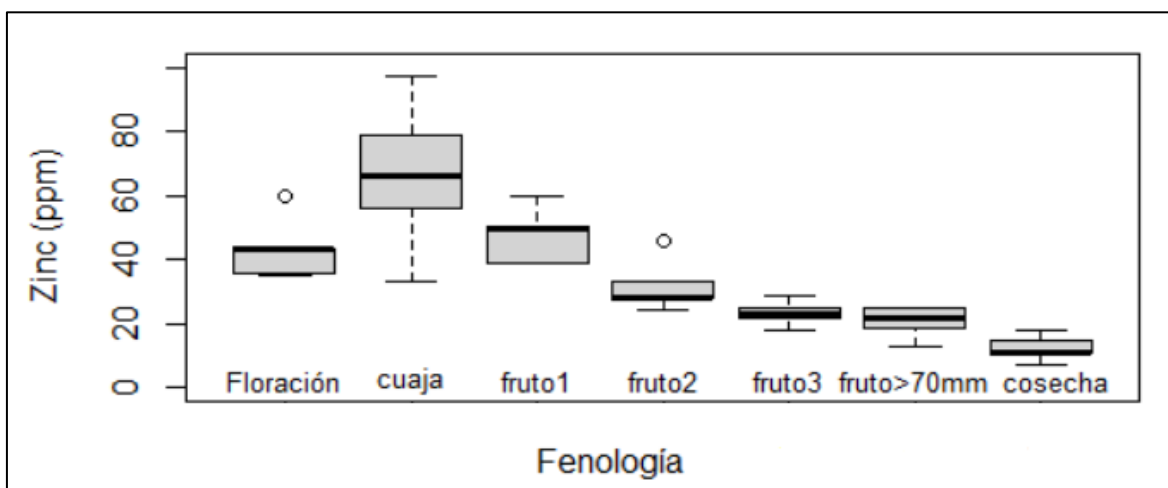


Figura 20: Variación del zinc en la fruta según el estado fenológico del palto 'Hass'

Nota: La línea horizontal dentro de la caja es la mediana, las barras indican los percentiles 25 y 75 %. Los guiones indican datos extremos que no se consideran atípicos, los círculos representan valores atípicos. Fruto 1 (10 - 30 mm), fruto 2 (31 - 50 mm), fruto 3 (65 - 70 mm) y fruto 4 (> 70 mm).

5.8.2. Zinc en hoja

En la Figura 21 se aprecia que los resultados de los análisis fueron muy dispersos en las etapas 1 y 2, el 50 por ciento de los datos en floración fue mayor a 107 ppm, mientras que el 50 por ciento restante fue menor; también se aprecia que en la fenología de cuaja, el 50 por ciento de los datos superó a los 212 ppm (ver Anexo 18). Esta variación de datos sea consecuencia probable de las aplicaciones foliares efectuadas en las cinco campañas evaluadas (Tabla 6) y quizás haya coincidido con la toma de muestra en algunos años. Por otro lado, fueron realizadas fertilizaciones vía sistema de riego con sulfato de zinc desde floración hasta fruto 2 (Tablas 7, 8, 9, 10 y 11).

Además, se observa que hay una alta dispersión de datos en la etapa fenológica de cosecha y que el 25 por ciento de los datos superaron al cuartil 3 (94.6 %). Esta dispersión pudo haber sido causada por el uso de hojas maduras para el análisis foliar, hecho que se refuerza en el estudio de Montgomery *et al.* (2019), quienes indican que la concentración de zinc incrementa a medida que avanza la edad de la hoja.

Una dinámica del zinc similar en hojas fue encontrada por Silber *et al.* (2018) en la que, la concentración de la hoja fue casi constante, sin embargo; mostraba una ligera tendencia a incrementarse; además, halló que los niveles encontrados en las estructuras productivas eran muy superiores al de las hojas durante floración; pero conforme crecía el fruto, los niveles de zinc llegaban a ser inferiores al de las hojas. Para efectos de este proyecto, la concentración de zinc en fruto en la segunda etapa fenológica fue mayor ya partir de esta, disminuyeron hasta volverse notablemente menores durante el crecimiento del fruto; este hecho es consistente con los resultados de Campisi *et al.* (2017) en los que los niveles de zinc en hojas fueron hasta tres veces mayores que en pedicelos de frutos medidos tres meses después del fin de la cuaja, tiempo equivalente a la etapa de fruto 2 de este trabajo (en este caso, para esta etapa el contenido de zinc en fruto fue de 66.2 ppm y en hoja fue de 212 ppm).

Silber *et al.* (2018) señalan que un transporte vía floema explicaría las cantidades altas en los frutos, ya que estos tienen menos estomas que las hojas, mientras que un transporte xilemático explicaría una baja concentración en los órganos productivos. Lovatt (s.f.) señala que el zinc es parcialmente móvil en el floema. Esto último explicaría mejor los resultados de las dos curvas. Es posible que las necesidades de la floración y el fruto cuajado con una semilla en pleno crecimiento incentiven el movimiento del zinc por el floema, y después de estas etapas esta vía sea poco usada. Respecto a las necesidades durante estas etapas, Gardiazabal (2004) indica que los niveles de zinc en tejidos florales pueden llegar a ser 80 a 100 por ciento superiores al de las hojas adyacentes durante la antesis.

Los valores promedios por etapa fenológica variaban desde 69 hasta 212 ppm, Bender (s.f.) considera que los niveles óptimos para zinc en la hoja variaban de 30 a 500 ppm, por lo que se presumiría que el palto no presentaba deficiencias; sin embargo, hay que indicar que en varias ocasiones los niveles de zinc bajaron a cerca de 31 ppm.

Malo (1976) indica que los paltos son muy susceptibles a la deficiencia de zinc, Taiz y Zeiger (2010), citados por Lovatt (s.f.) este elemento es requerido para la síntesis de clorofila y funciona como cofactor de enzimas.

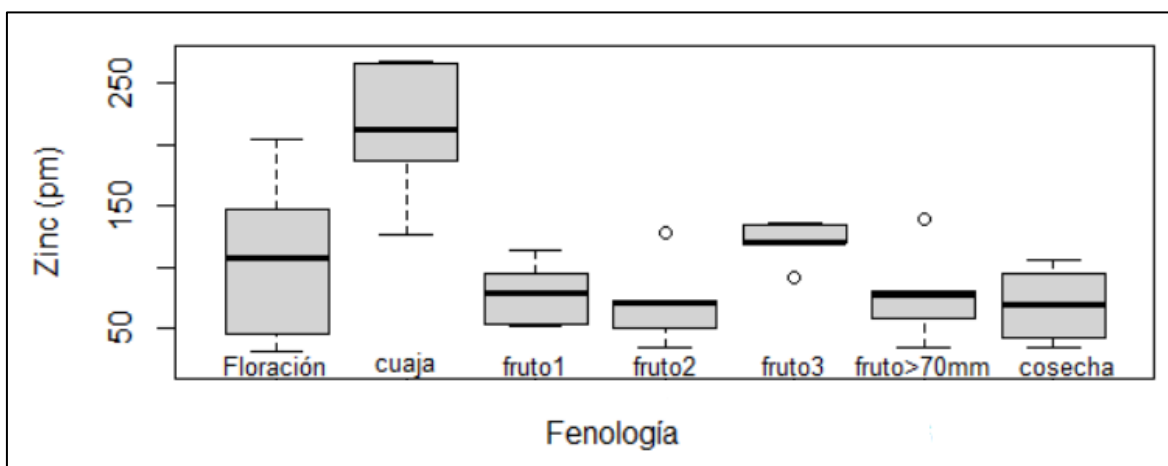


Figura 21: Variación del zinc en la hoja según el estado fenológico del paltó 'Hass'

Nota: La línea horizontal dentro de la caja es la mediana, las barras indican los percentiles 25 y 75 %. Los guiones indican datos extremos que no se consideran atípicos, los círculos representan valores atípicos. Fruto 1 (10 - 30 mm), fruto 2 (31 - 50 mm), fruto 3 (65 - 70 mm) y fruto 4 (> 70 mm).

5.9. HIERRO

5.9.1. Hierro en fruta

En los estudios de Granados (2013) se encontró que todos los elementos tienden a disminuir con el transcurrir de cada etapa fenológica. En la fase de crecimiento lento del fruto, se presentaron niveles de concentración altos, que después disminuyen progresivamente hasta la cosecha (ver Anexo 21).

En la dinámica del elemento, se observa que la absorción durante la floración fue mayor (108.7 ppm), posteriormente, la concentración de estos elementos bajaron enormemente; manteniéndose casi estable durante el crecimiento del fruto. Otros autores como Silber *et al.* (2018) encontraron un patrón similar, determinaron que el hierro disminuyó en los órganos productivos desde botones florales hasta las frutas listas para cosecha. Así mismo, Campisi *et al.* (2017) encontraron que la época de plena floración obtuvo una mayor cantidad de hierro que en la cuaja y todas las etapas de crecimiento del fruto.

Es probable que durante la floración, el hierro provenga totalmente de las reservas del suelo, ya que no se aplicaron fertilizantes. Bender (s.f.) menciona que el hierro rara vez hace falta en el suelo, pero se hace más insoluble y pierde disponibilidad a medida que aumenta el pH, cuando hay alta presencia de cal o el suelo presenta aniegos y poco oxígeno, algo similar señala Lao (2013); este es un problema común en los suelos de la costa peruana. Para el caso de este trabajo, las probabilidades de aniego fueron bajas debido a la ausencia de lluvias y el empleo de riego tecnificado; además, los niveles de carbonatos fueron bajos a muy bajos (menos de 0.5 hasta 0.7 % de carbonato de calcio). Sin embargo, el pH varió de 7.11 a 7.91 por campaña, lo que pudo haberse dado por las aplicaciones constantes de ácido sulfúrico y fosfórico aplicados vía sistema de riego; a su vez, esto pudo generar diferencias en la absorción de hierro durante las dos primeras etapas fenológicas: floración y cuaja.

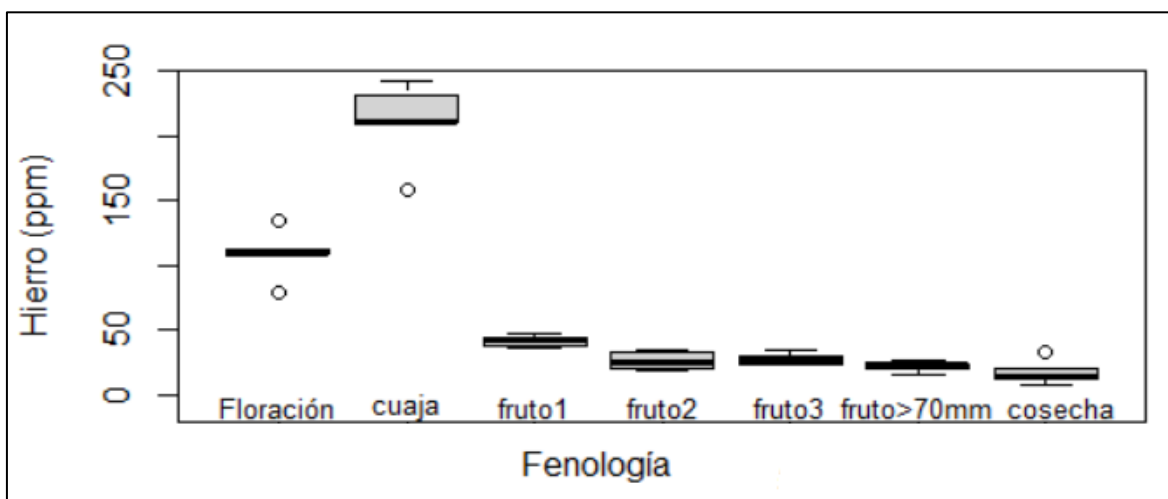


Figura 22: Variación del hierro en la fruta según el estado fenológico del palto 'Hass'

Nota: La línea horizontal dentro de la caja es la mediana, las barras indican los percentiles 25 y 75 %. Los guiones indican datos extremos que no se consideran atípicos, los círculos representan valores atípicos. Fruto 1 (10 - 30 mm), fruto 2 (31 - 50 mm), fruto 3 (65 - 70 mm) y fruto 4 (> 70 mm).

5.9.2. Hierro en hoja

El hierro en hojas ha presentado una variación constante en todos los estados fenológicos; sin embargo, se pudo observar que durante la floración (158 ppm) y la cuaja (220 ppm), hubo en promedio una mayor concentración de hierro. Como ya fue mencionado, los requerimientos de la floración fueron cubiertos por las reservas del suelo, y la cuaja fue la principal etapa de aplicación; en algunas campañas, también se fertilizó durante las etapas 4 y 3 según lo requerido por los análisis foliares, esto debió generar un ligero incremento visible en la dinámica que evitaría una mayor reducción de los niveles de hierro (ver Anexo 20).

Salvo (2017) recomienda aplicar durante la cuaja, después de la floración, que es cuando mayor acumulación de nutrientes en el fruto se tiene. Rosecrance *et al.* (2012) señalan que se debe aplicar después de la plena floración durante la temporada de crecimiento, repitiéndose el segundo año, esta estrategia proporciona nutrientes a las flores recién polinizadas, así como a la fruta en maduración.

Campisi *et al.* (2017) encontraron que la flor tenía más hierro que las hojas; sin embargo, tres meses después de la cuaja la concentración en la hoja era tres veces mayor al de los pedúnculos del fruto. Para el caso de esta monografía, durante todas las etapas el hierro era mayor en hojas que en las estructuras reproductivas, llegando a ser casi igual sólo durante la cuaja cuando se fertilizó. Silber *et al.* (2018) hallaron una baja concentración de hierro transportado por el xilema en los órganos productivos, relacionando con un menor tamaño y frecuencia de estomas en el fruto, que en consecuencia, transpiraban menos que las hojas (Blanke, 1992; Blanke y Lovatt, 1993).

Durante todas las etapas fenológicas, la concentración de este elemento varió de 153 a 220 ppm, Maldonado-Torres *et al.* (2007) citan que un intervalo óptimo para la hoja de palto es de 50 - 200 mg/kg, Goodall *et al.* (1979) menciona que estos niveles hallados en la hoja no generarían deficiencia, a pesar de que el suelo tuvo entre 3 y 9 mg/kg de hierro, cantidad considerada baja por Martínez *et al.* (2014) quien cita a Ruíz (2006), indica que un suelo con menos de 15 mg/kg presenta problemas de deficiencia.

El patrón usado en este trabajo es de raza antilla 'Zriffin', el hierro estuvo más concentrado en el sistema radicular de esta raza en comparación a los patrones mexicanos, al ser eficiente en la toma de este elemento, beneficiaba a sus injertos, los cuales sufrían menos clorosis. Navarro (2003) señala que cuando las dicotiledóneas crecen en suelos con bajas concentraciones de hierro, aumentan en la parte sub-apical de las raíces, tanto el poder de reducción del hierro como la actividad de la ATP-asa que tiende a disminuir el pH del medio y; consecuentemente, acidifica la rizósfera incrementando la solubilidad del ion Fe^{+3} , el cual es reducido a ion ferroso (Fe^{+2}) por medio de la enzima Fe^{+3} -quelato reductasa (FCR).

Salvo (2017) indica que cuando se elevan los niveles de cloro disuelto en la solución suelo, se pueden corregir las deficiencias de hierro y que los altos contenidos de nitratos inducen síntomas de deficiencia de hierro cuando reducen el ingreso de cloro a las raíces. Esto podría

ser un punto a favor para el patrón usado en este trabajo que es de raza antillana. Ben-Ya'acov & Michelson (1995) señalan que las hojas de esta raza pueden contener altos niveles de cloro sin presentar daños, y en condiciones de salinidad toman más nutrientes que los porta injertos mexicanos. Lahav & Aycicegi-Lowengart (2003) encontraron que las hojas de palto 'Hass' injertados sobre un patrón antillano, tenían la tercera parte de cloro que aquellos injertados en patrones mexicanos; además, los niveles de cloro de las plantas con patrones antillanos conducidos en baja salinidad eran iguales a los medidos en los patrones mexicanos conducidos en alta salinidad.

Un factor a favor de la planta fue la fertilización que se realizó con productos comerciales que tenían hierro quelatado; el hierro en presencia de oxígeno se presenta en forma de ion férrico (Fe^{+3}) que tiene solubilidad muy baja a pH neutro; por ello, el transporte de hierro dentro de la planta requiere expresamente que este sea quelatado y unido a un agente quelatante soluble (Navarro, 2003).

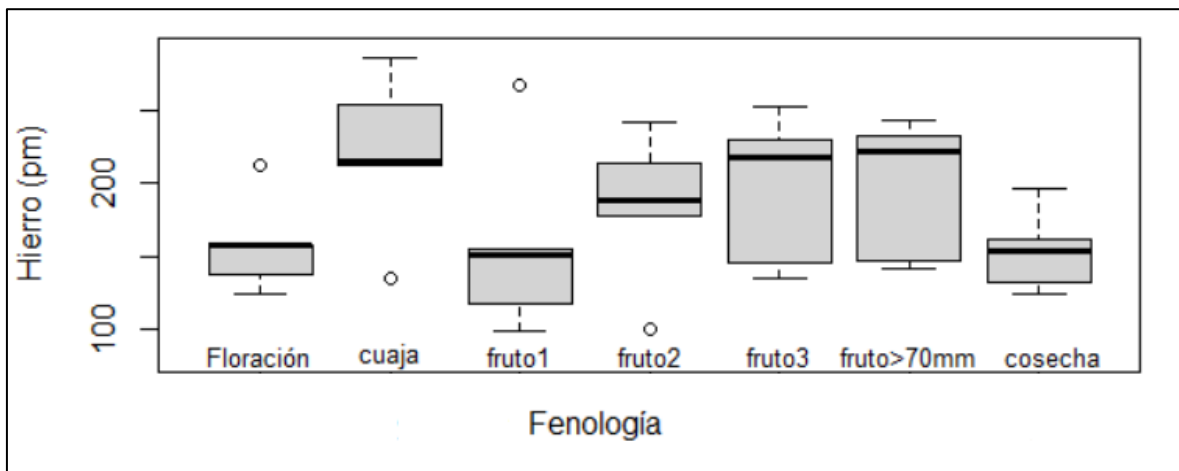


Figura 23: Variación del hierro en la hoja según el estado fenológico del palto 'Hass'

Nota: La línea horizontal dentro de la caja es la mediana, las barras indican los percentiles 25 y 75 %. Los guiones indican datos extremos que no se consideran atípicos, los círculos representan valores atípicos. Fruto 1 (10 - 30 mm), fruto 2 (31 - 50 mm), fruto 3 (65 - 70 mm) y fruto 4 (> 70 mm).

5.10. BORO

5.10.1. Boro en fruto

El boro en fruta tuvo valores que oscilaban entre 57 y 88 ppm, manteniéndose siempre por encima de la concentración foliar; esto debido al requerimiento de los órganos reproductivos y al plan de fertilización.

El programa de fertilización contempló aplicaciones foliares durante las etapas de floración (las que iniciaron en prefloración hasta el 90 % de esta), cuaja y fruto 1.

Algunos autores como Lemus *et al.* (2010) recomiendan su aplicación en prefloración y floración. Gardiazabal (2004) explica que durante el invierno ocurre una removilización intensa y rápida del boro desde las hojas maduras a las panículas en desarrollo; por ello, se debería aprovechar el verano para ajustar las concentraciones de boro del árbol, así se aseguraría un suministro adecuado durante el periodo primaveral.

Selladurai & Madhav (2019) indican que la aplicación foliar fue más eficaz en las etapas iniciales de floración, es decir, antes del desarrollo de la panícula y de la antesis; por ello, se fertilizó en prefloración, en floración al 10 por ciento, incluyendo la etapa de fruto 1 (de 10 a 33 mm de diámetro). Similar a lo recomendado por Montgomery (2019), que nos dice que se debe enfocar la aplicación en los periodos de inducción floral hasta que la fruta alcanza entre 25 a 35 mm de diámetro.

En la Figura 24 se aprecia un ligero incremento en las concentraciones de boro en las etapas 1 (floración) y fruto 2 (fruto de 31 a 50 mm); los diámetros del fruto 2 corresponden, según Granados (2013), a la época final del crecimiento acelerado del fruto. El incremento del boro durante estas etapas posiblemente se deba a la acumulación acelerada que ocurre en la segunda temporada del fruto; por ello, se debe elevar la dosis, si la carga de fruta es alta (Rosecrance *et al.*, 2012). Este incremento probablemente sea consecuencia de las aplicaciones foliares indicadas en la Tabla 6.

Un método recomendable de fertilización con boro es la pulverización foliar repetitiva; ya que, la absorción por raíces es baja debido a que los pelos radiculares del palto están ausentes, además, las micorrizas no son una opción debido a que estos hongos no requieren de boro (Coetzer *et al.*, 1993). Sin embargo, para lograr los máximos beneficios de las aplicaciones de boro, es probable que se requiera una combinación de aplicaciones al suelo y foliares, las aplicaciones foliares tienen la ventaja de ser dirigida a órganos específicos, pero la desventaja de que el boro absorbido por las hojas sea insuficiente para mediar la deficiencia crónica en los árboles. Las aplicaciones en el suelo mejoran drásticamente la salud de los árboles con deficiencia de boro, pero se requiere un manejo cuidadoso para garantizar que no se desarrollen niveles tóxicos (Whiley *et al.*, 1996). Para el caso del campo experimental no hubo deficiencias, por lo que la aplicación foliar dio buenos resultados.

Se ha demostrado que los aerosoles foliares suplementarios durante la floración aumentan la formación de frutos; las concentraciones de boro de 40 a 60 mg/kg en las hojas maduras de verano antes del desarrollo de la inflorescencia se consideran óptimas para un crecimiento y desarrollo normales (Whiley *et al.*, 1996).

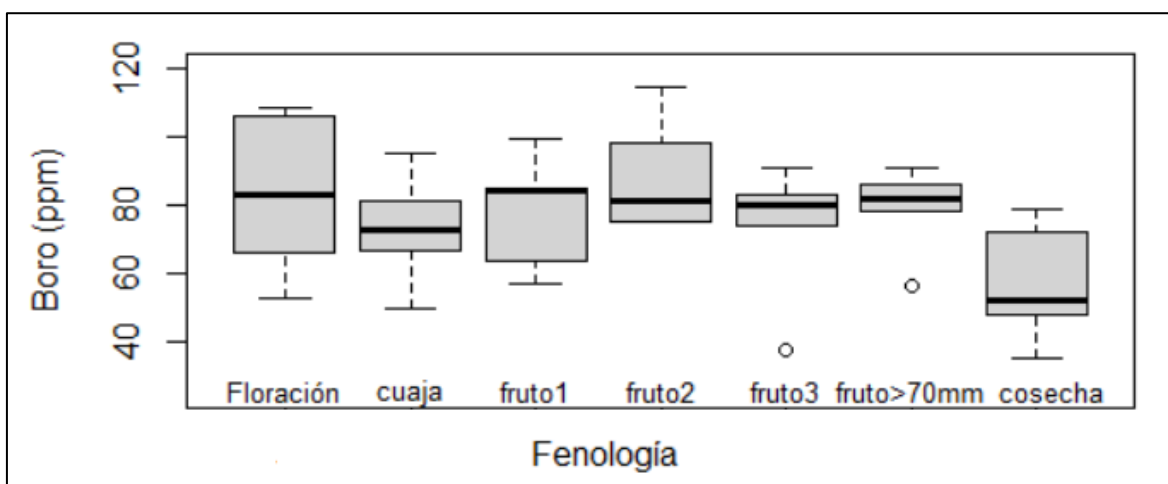


Figura 24: Variación del boro en la fruta según el estado fenológico del palto ‘Hass’

Nota: La línea horizontal dentro de la caja es la mediana, las barras indican los percentiles 25 y 75 %. Los guiones indican datos extremos que no se consideran atípicos, los círculos representan valores atípicos. Fruto 1 (10 - 30 mm), fruto 2 (31 - 50 mm), fruto 3 (65 - 70 mm) y fruto 4 (> 70 mm).

5.10.2. Boro en la hoja

Los valores de la concentración del boro se ubicaron dentro del margen considerado óptimo por Lahav & Kadman (1980), que comprende de 50 a 100 ppm, siendo 100 un exceso en la hoja, con excepción de las etapas fenológicas (floración, cuaja e inicio de cosecha) que tenían

valores por debajo de 50 ppm (45, 40 y 43ppm respectivamente). Gardiazabal (2004) señala que, según la asociación sudafricana de agricultores de aguacate, el boro es deficiente por debajo de 14 ppm y es bajo cuando se encuentra entre 15 y 49 ppm.

Los valores de las hojas variaban entre 37 y 69 ppm, y resultaron menores a los encontrados en los frutos (57 y 84 ppm). Esto puede deberse a que las aplicaciones fueron focalizadas a las estructuras reproductivas directamente o a las hojas maduras cercanas a ellas. Asimismo, Oertli & Richardson (1970), citados por Mengel (2000), mencionan que el boro es traslocado por el floema y que se concentra mayormente en anteras, estigmas y ovarios. Por otro lado, cuando no hubo aplicaciones, el boro absorbido del suelo debió llegar a las hojas maduras y trasladarse a sus estructuras reproductivas, esto pudo haber sido favorecido por las aplicaciones de ácido sulfúrico (ver Tabla 12) vía sistema de riego que fueron realizadas para disminuir el pH del suelo (Mengel, 2000).

Permite mejorar la polinización, sobre todo en climas fríos y nublados (Bender, s.f.), además, es más efectivo si es aplicado directamente sobre las flores (Lovatt, s.f.). Otra razón para realizar aplicaciones foliares es que el pH alcalino genera una dificultad en la absorción del boro relacionado al antagonismo con el calcio, además las raíces del palto tienen pocos pelos radiculares lo que dificulta la absorción desde el suelo y por otro lado las hojas nuevas no pueden reexportar el boro hacia inflorescencia o frutos en cuaja (Lemus *et al.*, 2010). Considerando los bajos valores obtenidos en las hojas, es muy probable que las raíces tengan dificultad en su absorción y posterior transporte vía xilema.

En general, los resultados obtenidos en todas las etapas fenológicas son muy dispersos en ambos órganos estudiados (hoja y fruto), es muy probable que se deba a las aplicaciones constantes de ácido sulfúrico, fosfórico y bórico (solo en la campaña 2015-2016) vía sistema de riego. Otras razones posibles sean debido a que, en los meses de enero, febrero y marzo, las temperaturas máximas llegaron hasta 33°C favoreciendo el movimiento del boro a través de la corriente de transpiración, muy similar a lo que ocurre con el calcio y, sobre todo, a las aplicaciones foliares de boro ya descritas.

Otro posible factor de variabilidad en las hojas pudo haber sido el tipo de muestra tomado; sin embargo, las concentraciones de boro siempre han estado por debajo de 100ppm. Los siguientes autores fueron mencionados por Hue *et al.* (1999): Embleton & Jones (1966) mencionan que la concentración adecuada del nutriente en mención oscila entre 50 y 100 ppm; Whiley *et al.* (1996) indican que, en hojas adultas de verano, su concentración oscila entre 40 y 60 ppm; mientras que Coetzer *et al.* (1993) informaron que, en hojas debajo de la axila la concentración varió de 60 a 80 ppm.

En sus investigaciones, Gonzáles *et al.* (2015), citados por Bender (s.f.) encontraron que en las hojas de invierno se presentaron pequeños cambios en la concentración de boro desde el primer muestreo (40.6 ppm) hasta la abscisión de las hojas (45.2 ppm); mientras que, en las hojas de verano ocurría una tendencia diferente: el valor inicial fue de 42.2 ppm, 57 días después de la brotación aumento entre 62.8 y 64 ppm y luego disminuyó a 19.2 ppm en la fecha de abscisión. En ambos tipos de muestra, las concentraciones de boro disminuyen de forma similar en la etapa 7 (inicio de cosecha), con un nivel mínimo de 22 ppm, máximo de 46 ppm y una mediana de 43 ppm.

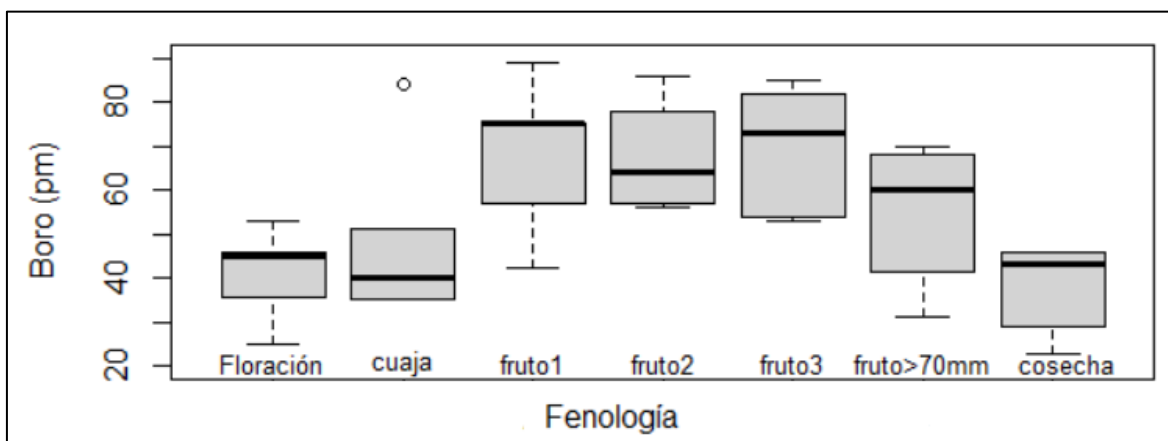


Figura 25: Variación del boro en la hoja según el estado fenológico del palto 'Hass'

Nota: La línea horizontal dentro de la caja es la mediana, las barras indican los percentiles 25 y 75 %. Los guiones indican datos extremos que no se consideran atípicos, los círculos representan valores atípicos. Fruto 1 (10 - 30 mm), fruto 2 (31 - 50 mm), fruto 3 (65 - 70 mm) y fruto 4 (> 70 mm).

VI. CONCLUSIONES

Los requerimientos nutricionales de los elementos nitrógeno, potasio, fósforo, magnesio y calcio son más altos durante la floración, cuaja y fruto 1 (que abarca desde 10 a 30 mm de diámetro). El nitrógeno total medido en frutos logra su máxima absorción durante la cuaja; bajo su forma más abundante el nitrato (más que el amonio), el cual tiende a acumularse en flores y en frutas en crecimiento, mientras que en hojas presenta menores valores. La absorción de fósforo, calcio y magnesio que son destinados a los frutos, son mayores durante la floración, cuaja y fruto 1. Sobre el potasio, su absorción con destino a los frutos es mayor durante la floración y la cuaja. Sobre el calcio, su concentración en hojas es mayor que la del magnesio; además, en las etapas fenológicas de floración y cuaja, los resultados de calcio y magnesio presentaron una alta dispersión, a pesar de eso, las concentraciones medias se mantuvieron dentro de los niveles óptimos mencionados por los investigadores citados. Los niveles de boro en frutos son mayores a los del hierro. Respecto a la dinámica de la concentración nutricional del fósforo y potasio, sigue un patrón que decrece a medida que envejecen las hojas; mientras que el calcio y el magnesio tienen una dinámica creciente. Por otro lado, la dinámica de los micronutrientes (boro, hierro y zinc) no fue tan marcada como la de los macronutrientes. El nitrógeno, potasio, fósforo, calcio, magnesio, zinc y hierro en frutos se mueven de mayor a menor concentración; sin embargo, el boro no siguió ese patrón. Las variaciones en las concentraciones de nutrientes pueden estar relacionadas con la temporada en la que nacieron las hojas, a las condiciones ambientales sometidas, a la fertilización foliar y edáfica, a la edad de la planta, al tipo de poda y en función del riego. Finalmente, el cultivar 'Hass' injertado en el patrón antillano 'Zriffin', requiere de dosis bajas y poco frecuentes de hierro para adquirir una alta concentración en hojas y frutos, a pesar de crecer en un suelo con pH alto (7.11 a 7.91)

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda tener en cuenta al momento de fertilizar, posibles antagonismos del potasio y amonio frente al calcio, ya que las dinámicas foliares de estos elementos fueron opuestas. Del mismo modo se debe tener en cuenta un posible antagonismo entre el magnesio y el potasio especialmente durante la etapa fenológica 3 (fruto de 10 a 30 mm).

Se debería tener en cuenta al momento de fertilizar una posible correlación entre el magnesio y calcio, así como un posible antagonismo durante el inicio de cosecha. Sería bueno realizar experimentos que determinen una relación clara entre los dos elementos, y si esta realmente cambia de un correlación positiva a una negativa.

Debido a que los valores a lo largo de las campañas fueron muy dispersos en los elementos menores como el zinc, hierro y boro, se recomienda evaluar el tiempo y la forma en la que se toman las muestras. También evaluar la influencia de la variación del pH bajo las condiciones climáticas de la zona y su influencia en estos elementos.

Para no generar altas dispersiones en los resultados se recomienda marcar los brotes de primavera, para un muestreo más homogéneo.

Se debe vigilar constantemente los niveles de boro debido a que son muy variables y en varias oportunidades estaba en el límite inferior de lo recomendado.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraham, J.D.; Abraham, J.; Takrama, J.F. (2018). Morphological characteristics of avocado (*Persea americana* Mill.). *African Journal of Plant Science*. Vol. 12(4), pp. 88-97
- Agroline (26 de setiembre del 2020). ProHass: ¿Cuánto crecerán las exportaciones de palta el 2020? Recuperado de <http://www.agronline.pe/noticias/agricultura/prohass-cuanto-creceran-las-exportaciones-de-palta-el-2020/>.
- Alcaraz, M.; Thorp, T.; Hormaza, J. (2013). Phenological growth stages of avocado (*Persea americana*) according to the BBCH scale. *Scientia Horticulturae*, 164, 434-439.
- Aleman, G.; Ledesma, N.; Campbell, R.; Herrera, J. (2005). The introduction of West Indian avocados to South Florida. *Proc. Fla. State Horticulture Society*, 118, 244-246.
- AQG labs. (12 de 9 de 2018). Procedimiento para la toma de muestra de suelo agrícola. Obtenido de AQG agroalimentaria y medio ambiente. Recuperado de <http://www.agq.com.es/article-es/toma-muestras-hojas-paniculas-paltos>
- Armando, C. (2015). La palta: "Producto estrella de exportación". Perú: MINAGRI-DGPA.
- Ataucusi, S. (2015). Manejo técnico del cultivo del palto. Perú: Cáritas del Perú.
- Baíza, V. (2003). *Guía técnica del cultivo del aguacate*. San Salvador: Editorial Maya.
- Barrera, O. & Sáenz, M. (2016). El aprovechamiento del nitrógeno por la planta con tecnología N-HIB. *Revista Ingenio UFPSO*, 12, 85-99.

- Barrientos, A.; Martínez, M.; Vargas, H.; Lázaro, M. (2016). Effect of preharvest calcium spraying on ripening and chilling injury in 'Hass' (*Persea americana* Mill.) avocado. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 22(3), 145-159.
- Bazán, R. (1996). Manual para análisis químico de suelos, aguas y plantas. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- Bender, G. (2005). Phosphorous acid in avocado production should it be a cultural recommendation? *Tropics in sub tropics newsletter*, 3(1), 1-3.
- Bender, G. (s.f.). Avocado fertilization. En G. Bender (Ed.), *Avocado production in California* (Segunda ed., págs. 29-54). University of California Cooperative Extensión.
- Ben-Ya'acov, A. & Michelson, E. (1995). Avocado rootstocks. (J. Janick, Ed.) *Horticultural reviews*, 17, 381 - 429.
- Bernal, J. & Cipriano, D. (2008). Generalidades del cultivo. En J. Bernal, & c. Díaz (Edits.), *Tecnología para el cultivo del aguacate* (pp. 11-78). Colombia: Produmedios. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=t_Z7nMjbhCMC&printsec=frontcover&dq=caracteristicas+botanicas+del+palto&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwio2fnh5qLoAhUYGLkGHSnsCh8Q6AEIODAC#v=onepage&q&f=true.
- Bertsch, F. (2009). Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. Recuperado de: <https://doku.pub/documents/absorcion-de-nutrimentos-por-los-cultivos-2009pdf-d0nxknmjjglz>
- Bingham, F.T. (1960). Magnesium deficiency of the 'Hass' avocado tree. *California Avocado Society*, 44, 101-105.
- Bingham, F.T. (1961). Seasonal trends in nutrient composition of 'Hass' avocado leaves. *American Society for Horticultural Science*. 78: 149-160.

- Bonilla, M.I. (2008). Introducción a la nutrición mineral de las plantas. Los elementos minerales. ISBN 978-84-481-5168-3. pp. 103-121
- Bonomelli, C.; Gil, P.; Schaffer, B. (2019). Effect of soil type on calcium absorption and partitioning in young avocado (*Persea americana* Mill.) trees. *Agronomy*, 9, 1-11.
- Boñuelos, J.; Sangabriel, W.; Gavito, M.; Trejo, D.; Camara, S.; Mendel, R.; Carreon, Y. (2017). Efecto de diferentes niveles de fósforo en aguacate inoculado con hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1509-1520.
- Borys, M.; Barrera, J.; Luna, J. (1985). Some root characteristics of avocado (*Persea americana* Mill.) seedlings of the West Indian and Guatemalan races. *California avocado society*, 69, 111-122.
- Campisi, S.; Zheng, Y.; Rolshausen, P.; Crowley, D.; Faber, B.; Bender, G.; Lovatt, C. (2017). Optimal nutrient concentration ranges of 'Hass' avocado cauliflower stage inflorescences-potential diagnostic tool to optimize tree nutrient status and increase yield. *HortScience*, 52(12), 1707-1715.
- Cerdas, M.; Montero, M.; Díaz, E. (2006). *Manual de manejo de pre y post cosecha de aguacate*. (G. Guzmán, Ed.) San José, Costa Rica.
- Coetzer, L.; Robbertse, P.; Janse, B. (1993). The role of boron in avocados: theory, practice and reality. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 16, 2-4.
- Coit, J.E. (1940). Avocado Tree Root Development. *California Avocado association. Yearbook* 2.46-49
- Crowley, D. (2007). Managing soils for avocado production and root health. *California Avocado Society*, 90, 107-130.
- Crowley, D. & Smith, W. (1995). Soil factors associated with zinc deficiency in avocado. *California Avocado Society*, 79, 171-183.

- Crowley, D.; Smith, W.; Faber, B.; Lu, M. (s.f.). Trace metal nutrition of avocado. *AvoResearch*, 5-8.
- Crowley, D.; Smith, W.; Faber, B.; Manthey, J. (1996). Zinc fertilization of avocado trees. *HortScience*, 31(2), 224-229.
- Curzel, V.; Buono, S.; Achem, V. (s.f.). El cultivo de palta.
- Dann, E.; Coates, L.; Pegg, K.; Dean, J.; Cooke, A.; Smith, L.; Stubbings, B. (2016). Rootstock selection, nitrogen and calcium influence postharvest disease in avocado. Proc. Int. Symposia on postharvest Knowledge for the Future and Consumer and Sensory Driven Improvements to Fruits and Nuts. 391-398.
- Embleton, T.W.; Jones, W.W.; Kirkpatrick, J.D.; Gregory-Allen, D. (1958). Influence of sampling date, season, and fertilization on macronutrients in 'Fuerte' avocado leaves. *American Society for Horticultural Science*. 72: 309-320.
- Faber, B. (2007). Leaf analysis. *Topics in subtropics newsletter*, 5(3), 2.
- Faber, B. (2014). Zinc and phosphorus. *Tropics in Subtropics Newsletter*, 12(3), 5-6.
- Faber, B. (3 de agosto de 2018). Tropics in subtropics. Obtenido de Avocado foliar fertilization doesn't work well: <https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=27840>
- Fernández, C.; Villavicencio, Y.; Salazar, S. (2017). Seguimiento y manejo nutrimental de la palta 'Hass' en el desierto del Perú. *Memorias del V congreso latinoamericano, Jalisco*. 255-265.
- Figuroa, M.; Castillo, A.; Avitia, E.; Tirado, J. (2001). Concentración nutrimental en hojas e inflorescencias de tres cultivares de aguacatero. *Terra*, 19(2), 127-132.
- Francisco, V. (2004). Fenología del palto, su uso como base del manejo productivo. 2° Seminario Internacional de Paltos, Quillota. 1-8

- Galindo-Tovar, M. & Arzate-Fernández, A. (2010). West indian avocado: where did it originate? *Revista internacional de botánica experimental international journal of experimental botany*, 97, 203-207.
- Gallo-Llobet, L. & Siverio, F. (1995). Evaluation of west indian avocado seedlings's tolerance-resistance to *Phytophthora cinnammomi* rands compared with clonal resistant rootstocks 'Duke 7', 'Thomas', and 'Toro Canyon', under field conditions. *Proceedings of The World Avocado Congress III* (pp. 396-399). Tenerife, Spain: Instituto Canario de Investigaciones Agrarias.
- Garbanzo, M. (2011). *Manual de aguacate, buenas prácticas de cultivo variedad 'Hass'* (2da. ed.). San José, Costa Rica.
- Guardizábal, F. (s.f.). Requerimientos de clima, suelo y agua para la implantación de paltos.
- Gardiazabal, F. 2004. Riego y Nutrición en palto. 2° Seminario Internacional de palto. Quillota -Chile. p. 21.
- Gardiazabal, F.; Mena, F.; Magdahl, C. (2007). Efecto de la fertilización con inhibidores de la nitrificación (ENTEC SOLUB 21) en paltos (*Persea americana* Mill) cv. 'Hass'. *Proceeding VI World Avocado Congress*. Viña del Mar.
- Gardiazábal, F.; Mena, F.; Magdahl, C. (2007). Efecto de la fertilización en base a N-P-K-Ca-Mg-B-Zn- en palto (*Persea americana* Mill) cv. 'Hass' sobre su desarrollo, productividad y postcosecha de la fruta. *Proceedings VI Avocado Congress*, (pp. 107-113). Viña del Mar, Chile.
- Gestión. (4 de marzo de 2018). Perú se consolida como segundo proveedor mundial de paltas. *Gestión, Economía*. Recuperado de <https://gestion.pe/economia/peru-consolida-segundo-proveedor-mundial-paltas-228551-noticia/?ref=gesr>
- González, F. (2002). Efecto de la fertilización con N-P-K-Ca, en palto (*Persea americana* Mill.) cv. 'Hass' sobre su desarrollo, productividad y postcosecha. (Tesis de Grado). Universidad Católica de Valparaiso. Quillota, Chile.

- González, C.; Castillo, A.; Gómez, F. (2019). Foliar boron fertilization in 'Hass' avocado increases amino acid concentrations and cell wall thickness. *Interciencia*, 44(6), 362-368.
- Goodall, G.; Embleton, T.; Platt, R. (1978). Avocado Fertilization. Division of Agricultural Sciences, University of California, 1-8.
- Granados, A. (2013). Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) Cv. 'Lorena' en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia. (Tesis de Maestría). Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias.
- Granja, F.; Covarrubias, J. (2018). Evaluation of acidifying nitrogen fertilizers in avocado trees with iron deficiency symptoms. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(1), 157-172.
- Guerrero, F.; Alejo, G.; Sánchez, R.; Bugarín, R.; Aburto, C.; Isiordia, N. (2018). Respuesta del cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill) variedad 'Hass' a la aplicación de nitrato de potasio. *Acta de Agronomía*, 67(3), 425-430.
- Henao, J.; Horacio, J.; Walter, N.; Ramírez, J. (2019). Fruit quality in 'Hass' avocado and its relationships with different growing areas under tropical zones. *Revista Ceres*, Vicoso, 66(5), 314-350.
- Herrera, D. (s.f.). Microelementos en palto la importante función del boro (B) en la producción. Empresa y Avance agrícola.
- Herrera, J.; Martínez, M.; Castillo, A.; Barrientos, A.; Colinas, M.; Pérez, C.; Aguilar, J. (2007). Aspersiones de calcio en la concentración nutrimental de hoja, cáscara y fruto de aguacate 'Hass'. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(1), 21-27.
- Hofman, P.; Marques, R.; Searle, C.; Stubbings, B.; Moody, P. (2005). Improving avocado fruit quality through tree nutrition. New Zealand and Australia Avocado Grower's Conference. Tauranga, New Zealand. p. 15.

- Hofman, P.; Vuthapanich, S.; Whiley, A.; Klieber, A.; Simons, D. (2002). Tree yield and fruit minerals concentrations influence 'Hass' avocado fruit quality. *Scientia horticulturae*, 113-123.
- Ibacache, A. & Sierra, C. (1998). Fertilización del palto. Ovalle, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- INIFAP. (Agosto del 2017). El manejo del potasio en el palto. *Revista Redagícola*, Perú. Recuperado de <https://www.redagricola.com/pe/el-manejo-del-potasio-en-el-palto/>
- Joubert, E. (2016). Avocado fertilizing principles. Recuperado de <http://redsunhort.co.za/wp-content/uploads/DOWNLOADS/Avo-general-normsand-fertigation-guidelines.pdf>
- Knight, R. (2007). Historia, Distribución y Usos. En A. Whiley, B. Schaffer, & B. Wolstenholme (Edits.), *El palto botánica, producción y usos*. Valparaiso: Ediciones Universitarias de Valparaiso.
- Koen, T.J. & du Plessis, S.F. (1992). Optimal leaf analysis norms for avocado (cv. Fuerte). *Proc. of Second World Avocado Congress*. 289-299.
- Lahav, E. & Aycicegi-Lowengart, A. (2003). Avocado mineral nutrition the water-nutrients relationship. *Proceedings V World Avocado Congress, Israel*. 349-357.
- Lahav, E. & Kadman, A. (1980). Avocado fertilisation. *Agricultural Research Organization the Volcani Center Bet Dagan*, 1-22.
- Lahav, E.; Bereket, M.; Zamet, D. (1976). Potassium fertilizer experiment with avocado trees on heavy soils. *California Avocado Society*, 60, 181-186.
- Lahav, E.; Bar. Y.; Kalmar, D. (1990). Effect of nitrogenous fertilization on the anual variations in nutrients in avocado leaves. *Community in soil sciencie plant analysis. BetDagan, Israel*. 21: 1353-1365.

- Lao, C. (2013). *Fertilización en el cultivo de palto*. Ancash, Perú.
- Lemus, G.; Ferreyra, R.; Gil, P.; Sepúlveda, P.; Maldonado, P.; Toledo, C.; Celendón, J. (2010). *El cultivo del palto*. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- León, J. (2000). *Botánica de los cultivos tropicales* (3ra. ed.). San José, Costa Rica: Agroamérica.
- Lovatt, C. (1994). Fruit set and yield in 'Hass' can be increasing by shifting the time of bloom or proper timing of nitrogen fertilization. California Avocado Research Symposium, California. 21-22.
- Lovatt, C. (1995). Nutrición nitrogenada del palto 'Hass'. Proceedings of the World Avocado Congress III. California: Universidad de California. 152-159.
- Lovatt, C. (1999). Timing citrus and avocado foliar nutrient applications to increase fruit set and size. HortTechnology, 607-612.
- Lovatt, C. (2010). Alternate bearing of 'Hass' avocado. California Avocado Society 2010, 93, 125-140.
- Lovatt, C. (s.f.). 'Hass' avocado nutrition research in California. California: University of California, Riverside.
- Lovatt, C. & Mikkelsen, R. (2006). Phosphite fertilizers: What are they? Can you use them? What can they do? *Better Crops*, 90(4), 11-13.
- Maldonado-Torres, R.; Álvarez-Sánchez, M.; Almaguer-Vargas, G.; Barrientos-Priego, AF.; García-Mateos, R. (2007). Estándares nutrimentales para aguacatero 'Hass'. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(1), 103-108.
- Malo, S. (1976). Mineral nutrition of avocados. En S.J.R. Phillips, & L. Jackson (Ed.), *Proceeding fo Firt International Tropical Fruit Short Course: The Avocado* (pp. 42-46).

- Martínez, J.; Muena, V.; Ruiz, R. (2014). Nutrición y fertilidad en los paltos. La Cruz, Chile: Centro Regional de Investigación La Cruz. INIA.
- 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'. Actas VI Congreso Mundial del Aguacate. Viña del Mar, Chile. 12-16.
- Mejía, E. (2011). Aguacate *Persea americana* Miller. (C. Arboleda, Ed.) Colombia.
- Mengel, K. & Kirby, E. (2000). *Principios de nutrición vegetal*. Basilea, Suiza: Instituto internacional de potasio.
- Ministerio de agricultura y riego (MINAGRI). (2015). La Palta “Producto Estrella de Exportación”. MINAGRI - DGPA. Lima, Perú. 81: 5-10.
- Ministerio de agricultura y riego (MINAGRI). (29 de marzo de 2020). Ministerio de Agricultura y Riego. Obtenido de Comercio exterior para el agro: <http://sistemas.minagri.gob.pe/siscex/series/capitulosPartidas>
- Ministerio de agricultura y riego (MINAGRI). (29 de marzo de 2020). Ministerio de Agricultura y Riego. Obtenido de Serie de Estadísticas de producción Agrícola: http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/?mod=consulta_cult
- Miranda, O. (15 de mayo de 2015). La República. Recuperado el 3 de septiembre de 2017, de <http://larepublica.pe/10-05-2015/el-negocio-de-las-rosas>
- Montgomery, L. (23-27 de Setiembre de 2019). Consideraciones básicas del manejo nutrimental del aguacate 'Hass' para una óptima poscosecha en zonas tropicales. Obtenido de Worldavocado congress: <https://worldavocadocongress.co/wp-content/uploads/2019/11/FULL-TEXT-CONFERENCISTA-Luis-Jose-Montgomery-Consideraciones-ba%CC%81sicas-del-manejo-nutrimental-del-Aguacate-'Hass'-para-una-o%CC%81ptima-poscosecha-en-zonas-tropicales.pdf>

- Montgomery, L.; Alegre, J.; Cuba, S. (2019). Estándares nutrimentales por edad de la hoja del aguacate 'Hass' (*Persea americana* Mill.) en la costa norte del Perú. IX World Avocado Congress, Medellín. 1-26.
- Navarro, G. (2003). *Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. (2da. ed.). Madrid, España: Ediciones Mundiprensa.
- Novoa, M.; Miranda, D.; Melgarejo, L. (2018). Efecto de las deficiencias y excesos de fósforo, potasio y boro en la fisiología y el crecimiento de plantas de aguacate (*Persea americana* cv. 'Hass'). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 293-307.
- Perdomo, C.; Barbazán, M.; Durán, J. (sf). Nitrógeno Universidad de la Republica. Montevideo, Uruguay. p. 55.
- Pegg, K.; Whiley, A.; Saranah, J.; Glass, R. (1985). Control of phytophthora root rot of avocado with acid phosphorus. *Australasian Plant Pathology*, 14(2), 25-29.
- Penter, M.; Stessen, P. (2000). The effect of pre- and postharvest calcium applications on the postharvest quality of 'Pinkerton' avocados. *South African Avocados Growers' Association*, 23, 1-7.
- Pérez, S.; Ávila, G.; Coto, O. (2015). El aguatero (*Persea americana* MILL). *Cultivos Tropicales*, 36(2), 111-123.
- Prohass. (16 de marzo de 2020). Perú ProHass. Obtenido de <http://www.prohass.com.pe/historia>
- Rosecrance, R.; Faber, B.; Lovatt, C. (2012). Patterns of nutrient accumulation in 'Hass' avocado fruit. *Better Crops*, 96(1), 12-13.
- Rosecrance, R.; Lovatt, C.; Faber, B.; Redeer, D.; Savard, S. (2003). Seasonal patterns of nutrient uptake and partitioning a function of crop load of the 'Hass' avocado. California department of food and agriculture fertilizer research and education program (FREP).

- Salazar-García, S.; Lord, M.E.; Lovatt, J.C. (1998). Inflorescence and flower development of the 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) during "on" and "off" cropyears. *Journal of the American Society of Horticultural Science*. 123(4) 537 – 544.
- Salazar-García, S.; González-Durán, I.J.L.; Ibarra-Estrada, M.E. (2015). Identification of the appropriate leaf sampling period for nutrient analysis in 'Hass' avocado. *HortScience*. 50(1): 130-136.
- Salvo, J. (2017). *Fertilización en huertos de paltos*. En A. Torres (Ed.), Manual de cultivo del palto. Santiago, Chile. 11-23.
- Sánchez, R. (2012). Comportamiento fisiológico del aguacate (*Persea americana* Mill.) Variedad 'Lorena' en la zona de Mariquita, Tolima. (Tesis de Maestría). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Sela, G. (2020). Fertilización y Riego – Teoría y mejores prácticas.
- Selladurai, R. & Madhav, C. (2019). Nutrient management for avocado (*Persea americana* Miller). *Journal of plant nutrition*, 1-10.
- Silber, A.; Naor, A.; Cohen, H.; Bar-Noy, Y.; Yechieli, N.; Levi, M.; Assouline, S. (2018). Avocado fertilization: Matching the periodic demand for nutrients. *Scientia Horticulturae*, 241, 231-240.
- Smith, T.; Asher, C.; Stephenson, R.; Hetherington, S. (1997). Boron deficiency of avocado.2. Effects on fruit size and ripening. En R. Bell, & B. Rerkanssem (Edits.), Boron in soil plants. *Kluwer Academic Publishers*. 135-137.
- SQM. (2006). Fundamentos básicos de nutrición vegetal aplicados a la producción de paltos. (12) 1-13.
- Soto, C. (2004). Evaluación de portainjertos de palto de raza Antillana, mexicana y guatemalteca bajo condiciones de estrés por hipoxia. Quillota, Chile.

Spann, T. (2019). Avocado fertilization: 32-35.

Tapia, L.; Larios, A.; Anguiano, J.V. (2007). Evaluación de fuentes de potasio en aguacate en Tancitaro, Mich. Actas del VI Congreso Mundial del Aguacate. Viña del Mar, Chile.

WAO. (15 de setiembre del 2020). Obtenido de WAO:<https://avocadofruitoflife.com/nutrition/>

Whiley, A.; Hargreaves, P.; Pegg, K.; Doogan, V.; Ruddle, L.; Saranah, J.; Langdon, P. (1995). Changing sink strengths influence translocation of phosphonate in avocado. *Aust. J. Agric. Res.*, 46, 1079-1090.

Whiley, A.; Smith, I.; Wolstenholme, B.; Saranah, J. (1996). Boron nutrition of avocado. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 19, 1-7.

Witney, G.; Hofman, P.; Wolstenholm, B. (1990). Mineral distribution in avocado trees with reference to calcium cycling and fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 44, 279-291.

Witney, G.; Hofman, P.; Wolstenholme, B. (1990). Effect of cultivar, tree vigour and fruit position on calcium accumulation in avocado fruits. *Scientia Horticulturae*, 44, 269-278.

IX. ANEXOS

Anexo 1: Base de datos de los resultados de los análisis de hoja

| Fecha | Campaña | Fenología | N (Total) % | NO ₃ ⁻ (ppm) | NH ₄ ⁺ (ppm) | P (%) | K (%) | Ca (%) | Mg (%) | Zn (ppm) | Fe (ppm) | B (ppm) |
|-----------|-----------|-----------|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------|----------|-----------|-----------|-------------|-------------|------------|
| 10-Oct-14 | 2014-2015 | 1 | 1.91 | 255.8 | 150.0 | 0.11 | 0.82 | 2.65 | 0.51 | 148 | 158 | 53 |
| 28-Oct-14 | 2014-2015 | 2 | 2.61 | 304.6 | 231.0 | 0.21 | 1.57 | 1.20 | 0.34 | 212 | 253 | 84 |
| 2-Dic-14 | 2014-2015 | 3 | 2.74 | 275.2 | 237.7 | 0.22 | 1.57 | 1.40 | 0.42 | 79 | 267 | 89 |
| 28-Ene-15 | 2014-2015 | 4 | 2.04 | 321.6 | 178.4 | 0.13 | 1.59 | 2.51 | 0.52 | 71 | 188 | 56 |
| 29-Abr-15 | 2014-2015 | 5 | 1.89 | 234.0 | 170.6 | 0.20 | 1.43 | 2.12 | 0.47 | 121 | 252 | 85 |
| 6-Jul-15 | 2014-2015 | 6 | 1.96 | 401.5 | 238.3 | 0.14 | 1.00 | 1.89 | 0.49 | 78 | 222 | 31 |
| 31-Jul-15 | 2014-2015 | 7 | 1.69 | 268.7 | 150.0 | 0.13 | 1.31 | 2.65 | 0.54 | 69.15 | 124 | 43 |
| 13-Oct-15 | 2015-2016 | 1 | 1.68 | 227.3 | 150.0 | 0.12 | 1.37 | 2.65 | 0.59 | 107 | 158 | 46 |
| 2-Nov-15 | 2015-2016 | 2 | 1.44 | 160.0 | 154.0 | 0.1 | 1.36 | 2.16 | 0.58 | 268 | 286 | 40 |
| 3-Dic-15 | 2015-2016 | 3 | 2.33 | 221.0 | 306.0 | 0.19 | 1.81 | 1.63 | 0.4 | 95 | 99 | 75 |
| 4-Ene-16 | 2015-2016 | 4 | 2.45 | 187.0 | 150.0 | 0.17 | 1.59 | 1.14 | 0.47 | 72 | 213 | 86 |
| 8-Mar-16 | 2015-2016 | 5 | 2.47 | 244.0 | 190.0 | 0.16 | 1.85 | 1.31 | 0.35 | 136 | 229 | 82 |
| 11-May-16 | 2015-2016 | 6 | 2.45 | 204.0 | 150.0 | 0.16 | 1.38 | 2.39 | 0.58 | 140 | 243 | 68 |
| 25-Jul-16 | 2015-2016 | 7 | 2.19 | 301.0 | 150.0 | 0.15 | 1.64 | 1.98 | 0.43 | 106 | 153.25 | 46 |
| 5-Ago-16 | 2016-2017 | 1 | 1.85 | 114.0 | 150.0 | 0.15 | 1.62 | 2.42 | 0.44 | 204 | 212 | 45 |
| 3-Set-16 | 2016-2017 | 2 | 2.13 | 231.0 | 150.0 | 0.16 | 1.62 | 2.36 | 0.47 | 266 | 212 | 51 |
| 18-Nov-16 | 2016-2017 | 3 | 1.85 | 359.3 | 257.0 | 0.21 | 1.69 | 1.45 | 0.38 | 52 | 118 | 75 |
| 13-Dic-16 | 2016-2017 | 4 | 2.22 | 240.2 | 288.0 | 0.2 | 1.83 | 1.81 | 0.49 | 51 | 100 | 78 |
| 12-Ene-17 | 2016-2017 | 5 | 2.43 | 357.0 | 150.0 | 0.16 | 1.24 | 1.66 | 0.4 | 120.67 | 135 | 53 |
| 17-Feb-17 | 2016-2017 | 6 | 2.26 | 279.0 | 150.0 | 0.13 | 1.02 | 1.64 | 0.48 | 58 | 147 | 60 |
| 10-Jul-17 | 2016-2017 | 7 | 2.9 | 369.0 | 150.0 | 0.15 | 1.09 | 2.44 | 0.49 | 34 | 196 | 46 |
| 13-Set-17 | 2017-2018 | 1 | 2.38 | 146.0 | 150.0 | 0.14 | 1.12 | 2.7 | 0.54 | 31.8 | 124 | 35.6 |
| 27-Oct-17 | 2017-2018 | 2 | 2.15 | 305.4 | 150.0 | 0.11 | 1 | 2.72 | 0.45 | 187 | 215 | 35 |
| 23-Nov-17 | 2017-2018 | 3 | 2.47 | 555.0 | 150.0 | 0.19 | 1.76 | 1.26 | 0.36 | 54 | 155 | 57 |
| 28-Dic-17 | 2017-2018 | 4 | 2.3 | 212.0 | 150.0 | 0.17 | 1.36 | 2 | 0.48 | 34 | 241 | 57 |
| 9-Mar-18 | 2017-2018 | 5 | 2.46 | 141.0 | 202.0 | 0.15 | 1.08 | 1.56 | 0.48 | 92 | 218 | 73 |
| 4-May-18 | 2017-2018 | 6 | 2.315 | 352.0 | 369.0 | 0.16 | 1.02 | 2.2 | 0.58 | 34 | 142 | 70 |
| 22-Ago-18 | 2017-2018 | 7 | 2.48 | 222.0 | 171.0 | 0.14 | 1.05 | 2.3 | 0.45 | 42 | 132 | 29 |
| 2-Oct-18 | 2018-2019 | 1 | 1.81 | 185.8 | 202.0 | 0.1 | 0.93 | 2.82 | 0.54 | 45 | 138 | 25 |
| 8-Nov-18 | 2018-2019 | 2 | 2.03 | 525.8 | 159.8 | 0.15 | 1.32 | 2.35 | 0.46 | 126 | 135 | 35 |
| 30-Nov-18 | 2018-2019 | 3 | 2.07 | 386.0 | 237.7 | 0.15 | 1.82 | 2.02 | 0.49 | 114 | 151 | 42.1 |
| 11-Ene-19 | 2018-2019 | 4 | 2.74 | 240.2 | 150.0 | 0.19 | 1.59 | 1.66 | 0.4 | 128 | 178 | 64.2 |
| 4-Abr-19 | 2018-2019 | 5 | 2.51 | 244.0 | 150.0 | 0.16 | 1.25 | 1.83 | 0.54 | 134 | 145 | 53.9 |
| 8-May-19 | 2018-2019 | 6 | 2.59 | 279.0 | 150.0 | 0.15 | 1.14 | 1.98 | 0.48 | 81.2 | 232 | 41.4 |
| 6-Ago-19 | 2018-2019 | 7 | 2.29 | 412.0 | 150.0 | 0.14 | 1.01 | 2.51 | 0.5 | 94.6 | 161 | 22.9 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2 (31-50mm) (4), Fruto 3 (65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

Anexo 2: Base de datos de los resultados de los análisis en fruto

| Fecha | Campaña | Fenología | N (Total) % | NO ₃ ⁻ (ppm) | NH ₄ ⁺ (ppm) | P (%) | K (%) | Ca (%) | Mg (%) | Zn (ppm) | Fe (ppm) | B (ppm) |
|------------|-----------|-----------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|-------|-------|--------|--------|----------|----------|---------|
| 10/10/2014 | 2014-2015 | 1 | 2.17 | 686.8 | 165.2 | 0.33 | 2.62 | 0.49 | 0.19 | 35.0 | 108.7 | 83 |
| 28/10/2014 | 2014-2015 | 2 | 2.34 | 316.7 | 474.1 | 0.39 | 2.98 | 0.48 | 0.21 | 33 | 210 | 73 |
| 2/12/2014 | 2014-2015 | 3 | 2.08 | 1117.0 | 188.5 | 0.32 | 2.05 | 0.25 | 0.19 | 60 | 48 | 99 |
| 28/01/2015 | 2014-2015 | 4 | 1.56 | 1086.9 | 168.0 | 0.22 | 1.84 | 0.15 | 0.13 | 46 | 19 | 114 |
| 29/04/2015 | 2014-2015 | 5 | 0.92 | 851.3 | 150.0 | 0.19 | 1.90 | 0.03 | 0.09 | 23 | 30 | 83 |
| 6/07/2015 | 2014-2015 | 6 | 1.35 | 220.3 | 150.0 | 0.16 | 2.19 | 0.04 | 0.06 | 22 | 16 | 78 |
| 31/07/2015 | 2014-2015 | 7 | 0.85 | 100.0 | 150.0 | 0.09 | 1.73 | 0.03 | 0.04 | 7 | 14 | 72 |
| 13-Oct-15 | 2015-2016 | 1 | 2.58 | 443.3 | 288.0 | 0.35 | 2.22 | 0.61 | 0.22 | 43.5 | 108.67 | 108 |
| 2-Nov-15 | 2015-2016 | 2 | 2.34 | 283.0 | 301.8 | 0.39 | 2.99 | 0.57 | 0.2 | 97 | 210.33 | 67 |
| 3-Dic-15 | 2015-2016 | 3 | 2.04 | 815.0 | 150.0 | 0.34 | 1.95 | 0.31 | 0.15 | 39 | 36 | 84 |
| 4-Ene-16 | 2015-2016 | 4 | 1.54 | 681.0 | 150.0 | 0.21 | 1.56 | 0.14 | 0.11 | 28 | 25 | 81 |
| 8-Mar-16 | 2015-2016 | 5 | 1.45 | 744.0 | 150.0 | 0.2 | 2.19 | 0.09 | 0.12 | 29 | 35 | 91 |
| 11-May-16 | 2015-2016 | 6 | 1.17 | 252.0 | 150.0 | 0.17 | 2.02 | 0.05 | 0.1 | 25 | 24 | 91 |
| 25-Jul-16 | 2015-2016 | 7 | 0.69 | 244.0 | 150.0 | 0.15 | 1.88 | 0.05 | 0.1 | 18 | 34 | 79 |
| 5-Ago-16 | 2016-2017 | 1 | 1.76 | 785.0 | 151.0 | 0.3 | 2.09 | 0.24 | 0.11 | 43.5 | 79 | 106 |
| 3-Set-16 | 2016-2017 | 2 | 2.32 | 316.0 | 301.8 | 0.36 | 2.56 | 0.65 | 0.2 | 79 | 158 | 95 |
| 18-Nov-16 | 2016-2017 | 3 | 2.54 | 980.0 | 228.0 | 0.39 | 1.98 | 0.33 | 0.21 | 50 | 45 | 85 |
| 13-Dic-16 | 2016-2017 | 4 | 1.38 | 1035.3 | 150.0 | 0.2 | 1.69 | 0.25 | 0.12 | 28 | 20 | 75 |
| 12-Ene-17 | 2016-2017 | 5 | 1.34 | 1133.0 | 150.0 | 0.18 | 1.64 | 0.18 | 0.11 | 18 | 23 | 74 |
| 17-Feb-17 | 2016-2017 | 6 | 1.71 | 528.0 | 150.0 | 0.2 | 2.14 | 0.11 | 0.12 | 25 | 27 | 86 |
| 10-Jul-17 | 2016-2017 | 7 | 0.83 | 422.0 | 150.0 | 0.1 | 1.73 | 0.04 | 0.05 | 15 | 7.6 | 52 |
| 13-Set-17 | 2017-2018 | 1 | 2.64 | 884.0 | 150.0 | 0.34 | 2.11 | 0.39 | 0.16 | 35.6 | 113 | 66.3 |
| 27-Oct-17 | 2017-2018 | 2 | 2.22 | 979 | 223.4 | 0.31 | 2.55 | 0.57 | 0.19 | 66 | 242 | 81 |
| 23-Nov-17 | 2017-2018 | 3 | 2.45 | 870.0 | 150.0 | 0.32 | 2.03 | 0.35 | 0.18 | 39 | 43 | 57 |
| 28-Dic-17 | 2017-2018 | 4 | 1.49 | 1338.0 | 150.0 | 0.21 | 1.77 | 0.16 | 0.12 | 24 | 35 | 75 |
| 9-Mar-18 | 2017-2018 | 5 | 1.12 | 677.0 | 150.0 | 0.19 | 1.75 | 0.09 | 0.09 | 22 | 27 | 80 |
| 4-May-18 | 2017-2018 | 6 | 1.06 | 688.0 | 150.0 | 0.14 | 1.6 | 0.08 | 0.11 | 13 | 20 | 82 |
| 22-Ago-18 | 2017-2018 | 7 | 0.76 | 383.0 | 150.0 | 0.11 | 1.53 | 0.04 | 0.07 | 11 | 12 | 48 |
| 2-Oct-18 | 2018-2019 | 1 | 2.21 | 699.8 | 188.6 | 0.27 | 2.06 | 0.43 | 0.18 | 60 | 134 | 53 |
| 8-Nov-18 | 2018-2019 | 2 | 2.39 | 654.0 | 208.0 | 0.33 | 3.04 | 0.42 | 0.2 | 56 | 231 | 50 |
| 30-Nov-18 | 2018-2019 | 3 | 2.65 | 1298.0 | 245.0 | 0.35 | 1.94 | 0.3 | 0.19 | 49.8 | 38.2 | 63.8 |
| 11-Ene-19 | 2018-2019 | 4 | 1.97 | 1035.3 | 150.0 | 0.22 | 1.99 | 0.15 | 0.13 | 33.3 | 32.7 | 98.2 |
| 4-Abr-19 | 2018-2019 | 5 | 1.13 | 851.3 | 150.0 | 0.14 | 1.52 | 0.09 | 0.09 | 25 | 23 | 38 |
| 8-May-19 | 2018-2019 | 6 | 0.89 | 753.0 | 150.0 | 0.15 | 1.89 | 0.1 | 0.12 | 18.8 | 23.8 | 56.7 |
| 6-Ago-19 | 2018-2019 | 7 | 0.58 | 480.0 | 150.0 | 0.13 | 1.34 | 0.07 | 0.07 | 10.7 | 19.9 | 35.6 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2 (31-50mm) (4), Fruto 3 (65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

Anexo 3: Datos excluido

| Órgano | Fecha | Campaña | Fen. | N | NO ₃ ⁻ | NH ₄ ⁺ | P | K | Ca | Mg | Zn | Fe | B | Motivo | Referencia |
|--------|------------|-----------|------|------|------------------------------|------------------------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|----|--|-------------------------------------|
| Hoja | 4/05/2018 | 2017-2018 | 6 | 2.73 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | Nitrógeno total alto | Koen & du Plessis (1992) |
| Hoja | 18/11/2016 | 2016-2017 | 3 | -- | 990 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | Nitratos altos para la época de muestreo | Lovatt (1995) |
| Hoja | 13/12/2016 | 2016-2017 | 4 | -- | 1698 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| Hoja | 2/12/2014 | 2014-2015 | 3 | -- | -- | 524 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | Nitrógeno amoniacal alto | |
| Hoja | 30/11/2018 | 2018-2019 | 3 | -- | -- | 497 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| Fruta | 3/09/2016 | 2016-2018 | 2 | 3.69 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | Nitrógeno total alto | Ferreira (2011) |
| Fruta | 13/12/2016 | 2016-2017 | 4 | -- | 2254 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | Nitrógeno nítrico muy alto | Lovatt (1995) |
| Fruta | 11/01/2019 | 2018-2019 | 4 | -- | 3665 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| hoja | 3/12/2015 | 2015-2016 | 3 | -- | -- | -- | 0.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | Mayor a 0.22 % de fósforo, está en exceso | Barrientos <i>et al.</i> (2017) |
| Fruta | 3/09/2016 | 2016-2017 | 2 | -- | -- | -- | 0.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | Fósforo en la fruta muy alto, probablemente por alguna aplicación foliar | ver tabla 6 |
| hoja | 28/01/2015 | 2014-2015 | 4 | -- | -- | -- | -- | 1 | -- | -- | -- | -- | -- | probablemente la muestra fue una hoja muy madura | Lahav <i>et al.</i> (1990) |
| Fruta | 13/10/2015 | 2015-2016 | 1 | -- | -- | -- | -- | 3.5 | -- | -- | -- | -- | -- | El potasio es muy alto , para la inflorescencia en etapa de coliflor el potasio va de 1.4 a 1.7% | Bender <i>et al.</i> (2017) |
| | 10/10/2014 | 2014-2015 | 1 | -- | -- | -- | -- | -- | 3 | -- | -- | -- | -- | | |
| Hoja | 13/10/2015 | 2015-2016 | 1 | -- | -- | -- | -- | -- | 3.3 | -- | -- | -- | -- | Probablemente la hoja muestreada fue del año anterior | Bingham (1961) |
| | 2/11/2015 | 2015-2016 | 2 | -- | -- | -- | -- | -- | 3.2 | -- | -- | -- | -- | | |
| Hoja | 4/01/2016 | 2015-2016 | 4 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 0.28 | -- | -- | -- | Probablemente la hoja muestreada es nueva | Salazar-García <i>et al.</i> (2015) |
| Fruta | 3/09/2016 | 2016-2017 | 2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 0.34 | -- | -- | -- | Magnesio muy alto | |
| Hoja | 2/12/2014 | 2014-2015 | 3 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 402 | -- | -- | | |
| Hoja | 28/01/2015 | 2014-2015 | 4 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 439 | -- | -- | | |
| Hoja | 13/10/2015 | 2015-2016 | 1 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 500 | -- | -- | Los niveles de zinc en hojas y frutos son altos probablemente la fecha de muestreo coincido con alguna aplicación foliar | ver tabla 6 |
| Fruta | 13/10/2015 | 2015-2016 | 1 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 149 | -- | -- | | |
| Fruta | 5/08/2016 | 2016-2017 | 1 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 312 | -- | -- | | |
| Fruta | 27/10/2017 | 2017-2018 | 2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 181 | -- | -- | | |
| Hoja | 10/10/2014 | 2014-2015 | 1 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 710 | -- | Las concentraciones de fósforo son muy altos, quizás las muestras tomadas sean hojas muy maduras | Mengel (2000) |
| Hoja | 13/10/2015 | 2015-2016 | 1 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 614 | -- | -- | | |
| Hoja | 25/07/2016 | 2015-2016 | 7 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 430 | -- | -- | | |

FUENTE: Elaboración propia, tomando como referencia a Bertsch (2009).

Anexo 4: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del nitrógeno total en hoja

$$CV(x=N, na.rm=T) = 0.15048$$

| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|
| Media | 1.926 | 2.072 | 2.292 | 2.35 | 2.352 | 2.32 | 2.31 |

Stats

| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| Mínimo | 1.68 | 2.03 | 1.85 | 2.04 | 2.43 | 2.26 | 2.19 |
| Q1 | 1.81 | 2.03 | 2.07 | 2.22 | 2.43 | 2.26 | 2.19 |
| Mediana | 1.85 | 2.13 | 2.33 | 2.3 | 2.46 | 2.31 | 2.29 |
| Q3 | 1.91 | 2.15 | 2.47 | 2.45 | 2.47 | 2.45 | 2.48 |
| Máximo | 1.91 | 2.15 | 2.74 | 2.74 | 2.51 | 2.59 | 2.9 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2(31-50 mm) (4), Fruto 3(65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

| Fenología | 1 | 2 | 2 | 5 | 6 | 7 |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Outliers (valores atípicos) | 2.38 | 2.61 | 1.44 | 1.89 | 1.96 | 1.69 |

Anexo 5: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del nitrógeno total en fruta

$$> CV(x=N, na.rm=T) = 0.388268$$

| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Media | 2.272 | 2.322 | 2.352 | 1.588 | 1.192 | 1.236 | 0.742 |

Stats

| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| Mínimo | 1.76 | 2.32 | 2.04 | 1.49 | 0.92 | 0.89 | 0.58 |
| Q1 | 2.17 | 2.32 | 2.08 | 1.49 | 1.12 | 1.06 | 0.69 |
| Mediana | 2.21 | 2.34 | 2.45 | 1.54 | 1.13 | 1.17 | 0.76 |
| Q3 | 2.58 | 2.34 | 2.54 | 1.56 | 1.34 | 1.35 | 0.83 |
| Máximo | 2.64 | 2.34 | 2.65 | 1.56 | 1.45 | 1.71 | 0.85 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2(31-50mm) (4), Fruto 3(65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

| Fenología | 2 | 2 | 4 | 4 |
|------------------------------|------|------|------|------|
| Outliers (valores atípicos) | 2.22 | 2.39 | 1.38 | 1.97 |

Anexo 6: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del nitrógeno nítrico en hoja

$$CV(x=Nn, na.rm=T) = 0.3564186$$

| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Media | 185.78 | 305.36 | 359.30 | 240.2 | 244.0 | 303.1 | 314.5 |

Stats

| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mínimo | 114 | 160.0 | 221.0 | 187.0 | 234.0 | 204.0 | 222.0 |
| Q1 | 146 | 231.0 | 275.2 | 212.0 | 234.0 | 279.0 | 268.7 |
| Mediana | 185.8 | 304.5 | 359.3 | 240.2 | 244.0 | 279.0 | 301.0 |
| Q3 | 227.3 | 305.4 | 386.0 | 240.2 | 244.0 | 352.0 | 369.0 |
| Máximo | 255.8 | 305.4 | 386.0 | 240.2 | 244.0 | 401.5 | 412.0 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2(31-50mm) (4), Fruto 3(65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

| Fenología | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 |
|------------------------------|-------|-----|-------|-----|-----|
| Outliers (valores atípicos) | 525.8 | 555 | 321.6 | 357 | 141 |

Anexo 7: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del nitrógeno nítrico en fruta

$$CV(x=Nn, na.rm=T) = 0.4612243$$

| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Media | 699.78 | 509.74 | 1016.00 | 1035.3 | 851.32 | 488.26 | 325.80 |

Stats

| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] |
|---------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Mínimo | 686.8 | 283.0 | 815.0 | 1035.3 | 677.0 | 220.3 | 100.0 |
| Q1 | 686.8 | 326.0 | 870.0 | 1035.3 | 744.0 | 252.0 | 244.0 |
| Mediana | 699.8 | 316.7 | 980.0 | 1035.3 | 851.3 | 528.0 | 383.0 |
| Q3 | 785.0 | 654.0 | 1117 | 1086.9 | 851.3 | 688.0 | 422.0 |
| Máximo | 884.0 | 979.0 | 1298 | 1086.9 | 851.3 | 753.0 | 480.0 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2(31-50mm) (4), Fruto 3(65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

| Fenología | 1 | 4 | 4 | 5 |
|------------------------------|-------|-------|--------|--------|
| Outliers (valores atípicos) | 443.3 | 681.0 | 1338.0 | 1133.0 |

Anexo 8: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del nitrógeno amoniacal en hoja

$$CV(x=Na, na.rm=T) = 0.3411765$$

| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Media | 160.40 | 168.96 | 237.68 | 183.28 | 172.52 | 211.46 | 154.2 |

Stats

| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] |
|---------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| Mínimo | 150 | 150 | 237.7 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Q1 | 150 | 150 | 237.7 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Mediana | 150 | 154 | 237.7 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Q3 | 150 | 159 | 257 | 178.4 | 190 | 238 | 150 |
| Máximo | 150 | 159 | 257 | 178.4 | 202 | 369 | 150 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2(31-50mm) (4), Fruto 3(65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

| Fenología | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 7 |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Outliers (valores atípicos) | 202 | 231 | 306 | 150 | 288 | 171 |

Anexo 9: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del nitrógeno amoniacal en fruta

$$> CV(x=Na, na.rm=T) = 0.3706084$$

| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Media | 188.56 | 301.82 | 192.30 | 153.60 | 150.0 | 150.0 | 150.0 |

Stats

| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] |
|---------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| Mínimo | 150.0 | 208.0 | 150.0 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Q1 | 151.0 | 223.4 | 150.0 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Mediana | 165.2 | 301.8 | 188.5 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Q3 | 188.6 | 301.8 | 228.0 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Máximo | 188.6 | 301.8 | 245.0 | 150 | 150 | 150 | 150 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2(31-50mm) (4), Fruto 3(65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

| | | | |
|------------------------------|-----|-------|-----|
| Fenología | 1 | 2 | 4 |
| Outliers (valores atípicos) | 288 | 471.1 | 168 |

Anexo 10: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del fósforo en hoja

$$CV(x=P, na.rm=T) = 0.1996397$$

| | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Media | 0.124 | 0.146 | 0.192 | 0.172 | 0.166 | 0.148 | 0.142 |

Stats

| | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] |
| Mínimo | 0.10 | 0.10 | 0.19 | 0.17 | 0.16 | 0.13 | 0.13 |
| Q1 | 0.11 | 0.11 | 0.19 | 0.17 | 0.16 | 0.14 | 0.14 |
| Mediana | 0.12 | 0.15 | 0.19 | 0.17 | 0.16 | 0.15 | 0.14 |
| Q3 | 0.14 | 0.16 | 0.21 | 0.19 | 0.16 | 0.16 | 0.15 |
| Máximo | 0.15 | 0.21 | 0.22 | 0.20 | 0.16 | 0.16 | 0.15 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2(31-50mm) (4), Fruto 3(65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

| | | | | |
|------------------------------|------|------|------|------|
| Fenología | 3 | 4 | 5 | 5 |
| Outliers (valores atípicos) | 0.15 | 0.13 | 0.20 | 0.15 |

Anexo 11: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del fósforo en fruta

$$> CV(x=P, na.rm=T) = 0.3884438$$

| | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Media | 0.318 | 0.356 | 0.344 | 0.212 | 0.180 | 0.164 | 0.116 |

Stats

| | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] |
| Mínimo | 0.27 | 0.31 | 0.32 | 0.20 | 0.18 | 0.14 | 0.09 |
| Q1 | 0.30 | 0.33 | 0.32 | 0.21 | 0.18 | 0.15 | 0.10 |
| Mediana | 0.33 | 0.36 | 0.34 | 0.21 | 0.19 | 0.16 | 0.11 |
| Q3 | 0.34 | 0.39 | 0.35 | 0.22 | 0.19 | 0.17 | 0.13 |
| Máximo | 0.35 | 0.39 | 0.39 | 0.22 | 0.20 | 0.20 | 0.15 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2(31-50mm) (4), Fruto 3(65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

| | |
|------------------------------|------|
| Fenología | 5 |
| Outliers (valores atípicos) | 0.14 |

Anexo 12: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del potasio en hoja

$>CV(x=K, na.rm=T) = 0.2202058$

| | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Media | 1.172 | 1.374 | 1.730 | 1.592 | 1.370 | 1.112 | 1.220 |

Stats

| | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] |
| Mínimo | 0.82 | 1.0 | 1.57 | 1.59 | 1.08 | 1.0 | 1.01 |
| Q1 | 0.93 | 1.32 | 1.69 | 1.59 | 1.24 | 1.02 | 1.05 |
| Mediana | 1.12 | 1.36 | 1.76 | 1.59 | 1.25 | 1.02 | 1.09 |
| Q3 | 1.37 | 1.57 | 1.81 | 1.59 | 1.43 | 1.14 | 1.31 |
| Máximo | 1.62 | 1.62 | 1.82 | 1.59 | 1.43 | 1.14 | 1.64 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2(31-50mm) (4), Fruto 3(65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

| | | | | |
|------------------------------|------|------|------|------|
| Fenología | 4 | 4 | 5 | 6 |
| Outliers (valores atípicos) | 1.83 | 1.36 | 1.85 | 1.38 |

Anexo 13: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del potasio en fruta

$CV(x=K, na.rm=T) = 0.2060815$

| | | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Media | 2.22 | 2.82 | 1.99 | 1.77 | 1.80 | 1.97 | 1.64 |

Stats

| | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] |
| Mínimo | 2.06 | 2.55 | 1.94 | 1.56 | 1.52 | 1.60 | 1.34 |
| Q1 | 2.09 | 2.56 | 1.95 | 1.69 | 1.64 | 1.89 | 1.53 |
| Mediana | 2.11 | 2.98 | 1.98 | 1.77 | 1.75 | 2.02 | 1.73 |
| Q3 | 2.22 | 2.99 | 2.03 | 1.84 | 1.90 | 2.14 | 1.73 |
| Máximo | 2.22 | 3.04 | 2.05 | 1.99 | 2.19 | 2.19 | 1.88 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2(31-50mm) (4), Fruto 3(65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

| | |
|------------------------------|------|
| Fenología | 1 |
| Outliers (valores atípicos) | 2.62 |

Anexo 14: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del calcio en hoja

$$CV(x=Ca, na.rm=T) = 0.240754$$

| | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Media | 2.648 | 2.158 | 1.552 | 1.824 | 1.696 | 2.020 | 2.376 |

Stats

| | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] |
| Mínimo | 2.65 | 2.16 | 1.26 | 1.66 | 1.31 | 1.64 | 2.30 |
| Q1 | 2.65 | 2.16 | 1.40 | 1.66 | 1.56 | 1.89 | 2.30 |
| Mediana | 2.65 | 2.35 | 1.45 | 1.81 | 1.66 | 1.98 | 2.44 |
| Q3 | 2.70 | 2.36 | 1.63 | 2.00 | 1.83 | 2.20 | 2.51 |
| Máximo | 2.70 | 2.36 | 1.63 | 2.51 | 2.12 | 2.39 | 2.65 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2(31-50mm) (4), Fruto 3(65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

| | | | | | | | |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Fenología | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 7 |
| Outliers (valores atípicos) | 2.42 | 2.82 | 1.20 | 2.72 | 2.02 | 1.14 | 1.98 |

Anexo 15: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del calcio en fruta

$$CV(x=Ca, na.rm=T) = 0.8016814$$

| | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Media | 0.432 | 0.538 | 0.308 | 0.170 | 0.096 | 0.076 | 0.046 |

Stats

| | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] |
| Mínimo | 0.39 | 0.42 | 0.30 | 0.14 | 0.09 | 0.04 | 0.03 |
| Q1 | 0.39 | 0.48 | 0.30 | 0.15 | 0.09 | 0.05 | 0.04 |
| Mediana | 0.43 | 0.57 | 0.31 | 0.15 | 0.09 | 0.08 | 0.04 |
| Q3 | 0.49 | 0.57 | 0.33 | 0.16 | 0.09 | 0.10 | 0.05 |
| Máximo | 0.69 | 0.65 | 0.35 | 0.16 | 0.09 | 0.11 | 0.05 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2(31-50mm) (4), Fruto 3(65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

| | | | | | | |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Fenología | 1 | 3 | 4 | 5 | 5 | 7 |
| Outliers (valores atípicos) | 0.24 | 0.25 | 0.25 | 0.03 | 0.18 | 0.07 |

Anexo 16: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del magnesio en hoja

> CV(x=Mg, na.rm=T) = 0.1395861

| | | | | | | | |
|-----------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Media | 0.524 | 0.46 | 0.41 | 0.472 | 0.448 | 0.522 | 0.482 |

Stats

| | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] |
| Mínimo | 0.51 | 0.45 | 0.36 | 0.47 | 0.35 | 0.48 | 0.43 |
| Q1 | 0.51 | 0.45 | 0.38 | 0.47 | 0.40 | 0.48 | 0.45 |
| Mediana | 0.54 | 0.46 | 0.40 | 0.48 | 0.47 | 0.49 | 0.49 |
| Q3 | 0.54 | 0.47 | 0.42 | 0.49 | 0.48 | 0.58 | 0.50 |
| Máximo | 0.54 | 0.47 | 0.42 | 0.52 | 0.54 | 0.58 | 0.54 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2(31-50mm) (4), Fruto 3 (65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

| | | | | | | |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Fenología | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 |
| Outliers (valores atípicos) | 0.59 | 0.44 | 0.34 | 0.58 | 0.49 | 0.40 |

Anexo 17: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del magnesio en fruta

> CV(x=Mg, na.rm=T) = 0.3821286

| | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Media | 0.172 | 0.200 | 0.184 | 0.122 | 0.100 | 0.102 | 0.066 |

Stats

| | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] |
| Mínimo | 0.16 | 0.2 | 0.18 | 0.11 | 0.09 | 0.10 | 0.04 |
| Q1 | 0.16 | 0.2 | 0.18 | 0.12 | 0.09 | 0.10 | 0.05 |
| Mediana | 0.18 | 0.2 | 0.19 | 0.12 | 0.09 | 0.11 | 0.07 |
| Q3 | 0.19 | 0.2 | 0.19 | 0.13 | 0.11 | 0.12 | 0.07 |
| Máximo | 0.22 | 0.2 | 0.19 | 0.13 | 0.12 | 0.12 | 0.10 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2(31-50mm) (4), Fruto 3(65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

| | | | | | | |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Fenología | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 6 |
| Outliers (valores atípicos) | 0.11 | 0.21 | 0.19 | 0.15 | 0.21 | 0.06 |

Anexo 18: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del zinc en hoja

> CV(x=Zn, na.rm=T) = 0.5902972

| | | | | | | | |
|-----------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Media | 107.16 | 211.80 | 78.80 | 71.20 | 120.73 | 78.24 | 69.15 |

Stats

| | | | | | | | |
|---------|-------|------|------|------|-------|------|------|
| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] |
| Mínimo | 31.8 | 126 | 52 | 34 | 120.7 | 34 | 34 |
| Q1 | 45.0 | 187 | 54 | 51 | 120.7 | 58 | 42 |
| Mediana | 107.0 | 212 | 79 | 71 | 121 | 78 | 69 |
| Q3 | 148.0 | 266 | 95 | 72 | 134 | 81.2 | 94.6 |
| Máximo | 204.0 | 268 | 114 | 72 | 136 | 81.2 | 106 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2(31-50mm) (4), Fruto 3(65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

| | | | |
|------------------------------|-----|----|-----|
| Fenología | 4 | 5 | 6 |
| Outliers (valores atípicos) | 128 | 92 | 140 |

Anexo 19: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del zinc en fruta

CV(x=Zn, na.rm=T) = 0.5760346

| | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Media | 43.52 | 66.20 | 47.56 | 31.86 | 23.40 | 20.76 | 12.34 |

Stats

| | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] |
| Mínimo | 35.0 | 33.0 | 39.0 | 24.0 | 18.0 | 13.0 | 7.0 |
| Q1 | 35.6 | 56.0 | 39.0 | 28.0 | 22.0 | 18.8 | 10.7 |
| Mediana | 43.5 | 66.0 | 49.8 | 28.0 | 23.0 | 22.0 | 11.0 |
| Q3 | 43.5 | 79.0 | 50.0 | 33.3 | 25.0 | 25.0 | 15.0 |
| Máximo | 43.5 | 97.0 | 60.0 | 33.3 | 29.0 | 25.0 | 18.0 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2(31-50mm) (4), Fruto 3(65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

| | | |
|------------------------------|----|----|
| Fenología | 1 | 4 |
| Outliers (valores atípicos) | 60 | 46 |

Anexo 20: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del hierro en hoja

> CV(x=Fe, na.rm=T) = 0.2819012

| | | | | | | | |
|-----------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Media | 158.00 | 220.0 | 158.00 | 184.00 | 195.80 | 197.20 | 153.25 |

Stats

| | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] |
| Mínimo | 124 | 212 | 99 | 178 | 135 | 142 | 124 |
| Q1 | 138 | 212 | 118 | 178 | 145 | 147 | 132 |
| Mediana | 158 | 215 | 151 | 188 | 218 | 222 | 153 |
| Q3 | 158 | 253 | 155 | 213 | 229 | 232 | 161 |
| Máximo | 158 | 286 | 155 | 241 | 252 | 242 | 196 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2(31-50mm) (4), Fruto 3 (65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

| | | | | |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Outliers (valores atípicos) | 212 | 135 | 267 | 100 |

Anexo 21: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del hierro en fruta

> CV(x=Fe, na.rm=T) = 1.05377

| | | | | | | | |
|-----------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Media | 108.67 | 210.27 | 42.04 | 26.34 | 27.60 | 22.16 | 17.50 |

Stats

| | | | | | | | |
|---------|--------|--------|------|------|------|------|------|
| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] |
| Mínimo | 108.67 | 210.00 | 36.0 | 19.0 | 23.0 | 16.0 | 7.6 |
| Q1 | 108.67 | 210.00 | 38.2 | 20.0 | 23.0 | 20.0 | 12.0 |
| Mediana | 108.70 | 210.33 | 43.0 | 25.0 | 27.0 | 23.8 | 14.0 |
| Q3 | 113.00 | 231.00 | 45.0 | 32.7 | 30.0 | 24.8 | 19.9 |
| Máximo | 113.00 | 242.00 | 48.0 | 35.0 | 35.0 | 27.0 | 19.9 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2(31-50mm) (4), Fruto 3 (65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

| | | | | |
|------------------------------|----|-----|-----|----|
| Fenología | 1 | 1 | 2 | 7 |
| Outliers (valores atípicos) | 79 | 134 | 158 | 34 |

Anexo 22: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del boro en hoja

CV(x=B, na.rm=T) = 0.342942

| | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Media | 40.92 | 49.00 | 67.62 | 68.69 | 69.38 | 54.08 | 37.38 |

Stats

| | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] |
| Mínimo | 25.0 | 35.0 | 42.1 | 56.0 | 53.0 | 31.0 | 22.9 |
| Q1 | 35.6 | 35.0 | 57.0 | 57.0 | 53.9 | 41.4 | 29.0 |
| Mediana | 45.0 | 40.0 | 75.0 | 64.2 | 73.0 | 60.0 | 43.0 |
| Q3 | 46.0 | 51.0 | 75.0 | 78.0 | 82.0 | 68.0 | 46.0 |
| Máximo | 53.0 | 51.0 | 89.0 | 86.0 | 85.0 | 70.0 | 46.0 |

Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2(31-50mm) (4), Fruto 3 (65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

| | |
|------------------------------|----|
| Fenología | 2 |
| Outliers (valores atípicos) | 84 |

Anexo 23: Proceso estadístico de la dinámica nutricional del boro en fruta

CV(x=B, na.rm=T) = 0.2511058

| | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Fenología | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Media | 83.26 | 73.20 | 77.76 | 88.64 | 73.20 | 78.74 | 57.32 |

Stats

| | | | | | | | |
|---------|-------|------|------|-------|------|------|------|
| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] |
| Mínimo | 53.0 | 50.0 | 57.0 | 75.0 | 74.0 | 78.0 | 35.6 |
| Q1 | 66.3 | 67.0 | 63.8 | 75.0 | 74.0 | 78.0 | 48.0 |
| Mediana | 83.0 | 73.0 | 84.0 | 81.0 | 80.0 | 82.0 | 52.0 |
| Q3 | 106.0 | 81.0 | 85.0 | 98.0 | 83.0 | 86.0 | 72.0 |
| Máximo | 108.0 | 95.0 | 99.0 | 114.0 | 91.0 | 91.0 | 79.0 |

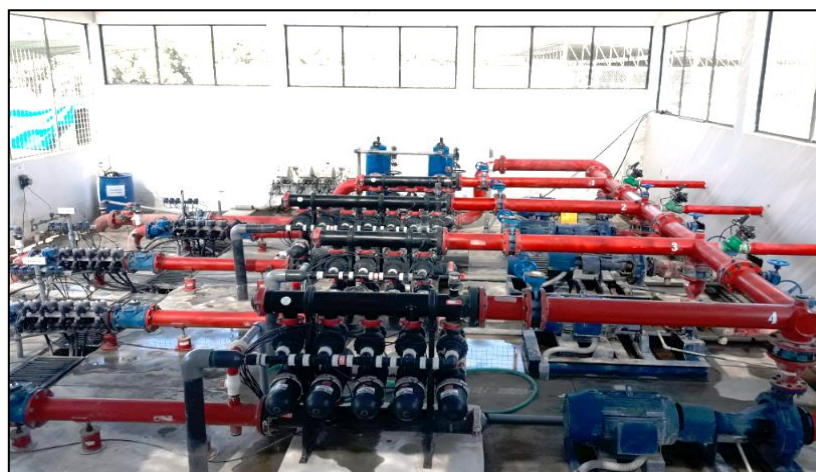
Etapas fenológicas: Floración (1), cuaja (2), Fruto 1(10-30mm) (3), Fruta 2(31-50mm) (4), Fruto 3 (65-70mm) (5), Fruto (>70mm) (6), Inicio de cosecha (7).

| | | |
|------------------------------|------|------|
| Fenología | 5 | 6 |
| Outliers (valores atípicos) | 38.0 | 56.7 |

Anexo 24: Tanques de fertilización



Anexo 25: Zona de rebombeo



Anexo 26: Válvulas hidráulicas Dorot (1), piloto regulador de presión Dorot (2), válvula Sagit de tres vías (3), relay de mando hidráulico



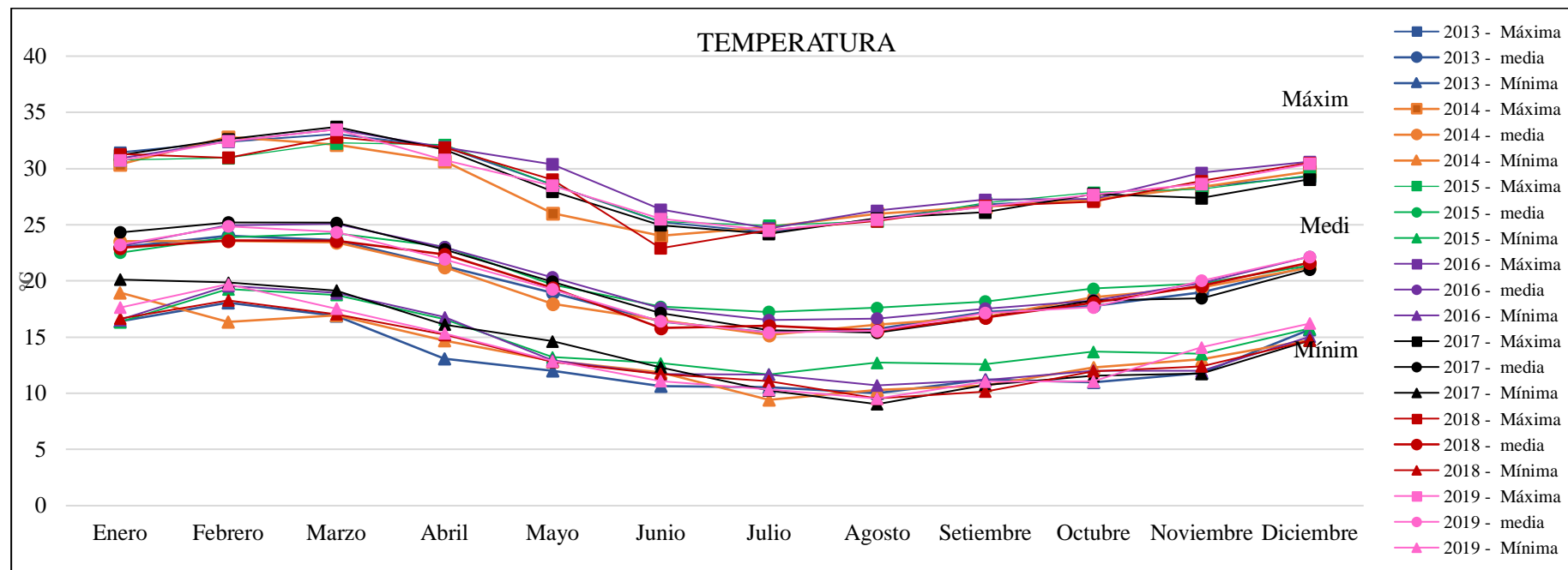
Anexo 27: Dream



Anexo 28: Caudalímetro con pulsos de 1 m³ para control de riego (1) y fertímetros de 1.0 l/s para dosificación de fertilizantes (2)

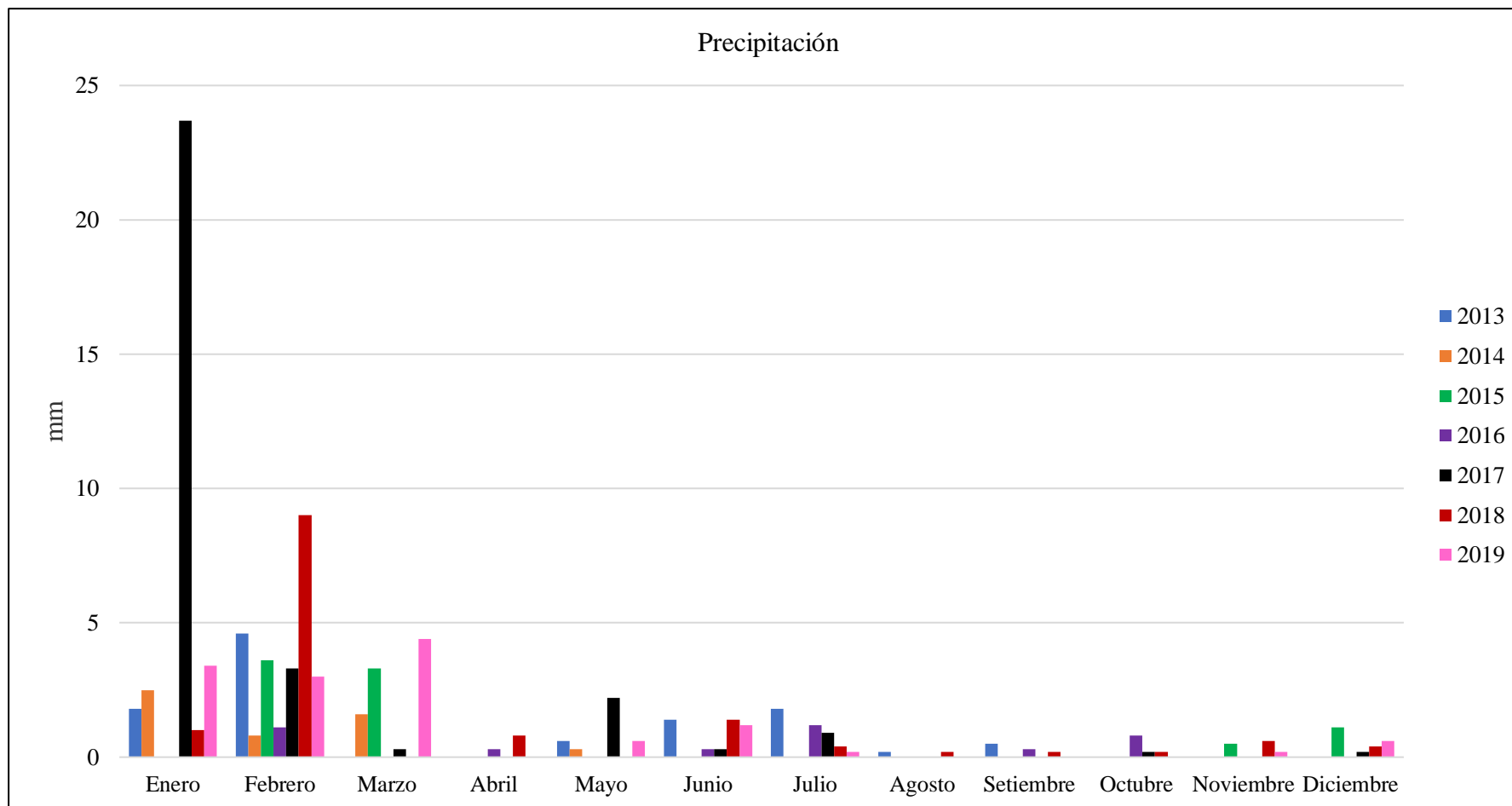


Anexo 29: Variación de la temperatura durante los años 2013 al 2019



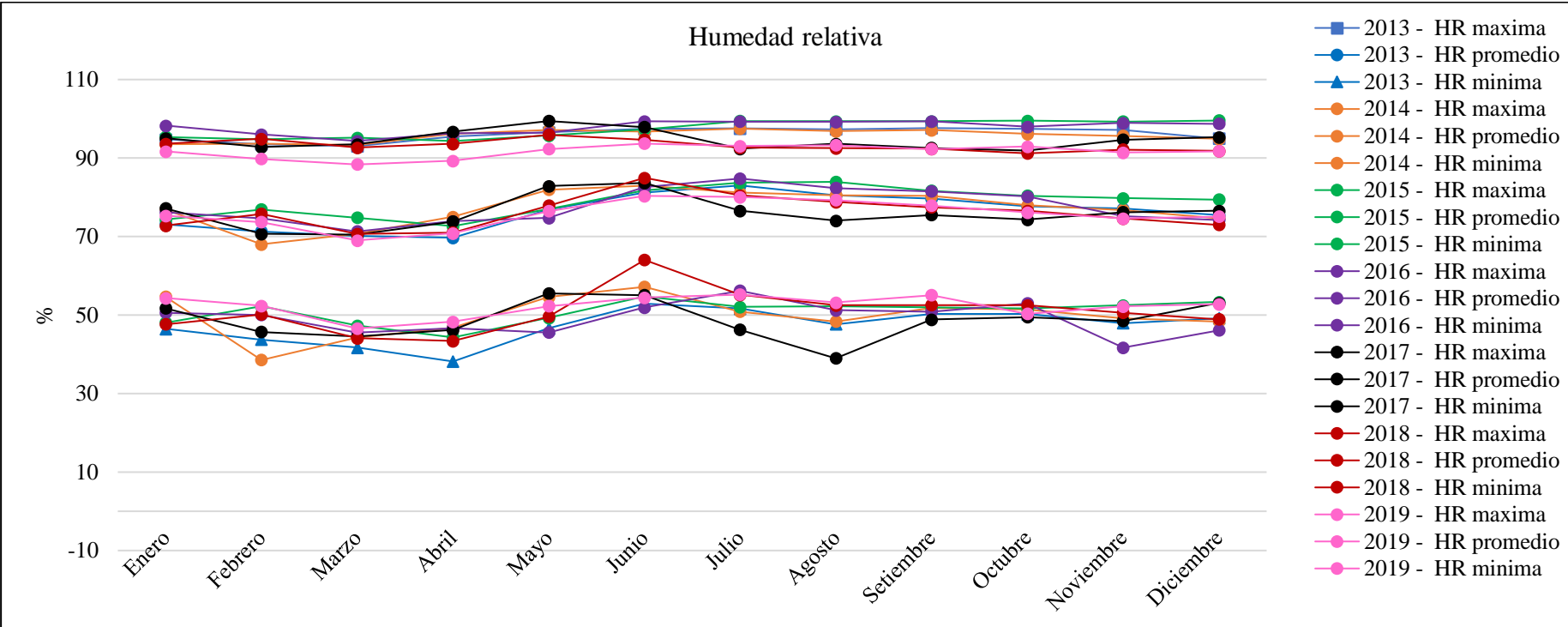
FUENTE: Estación meteorológica Santa Rosa- Don Ricardo

Anexo 30: variación de la precipitaciones durante los años 2013 al 2019



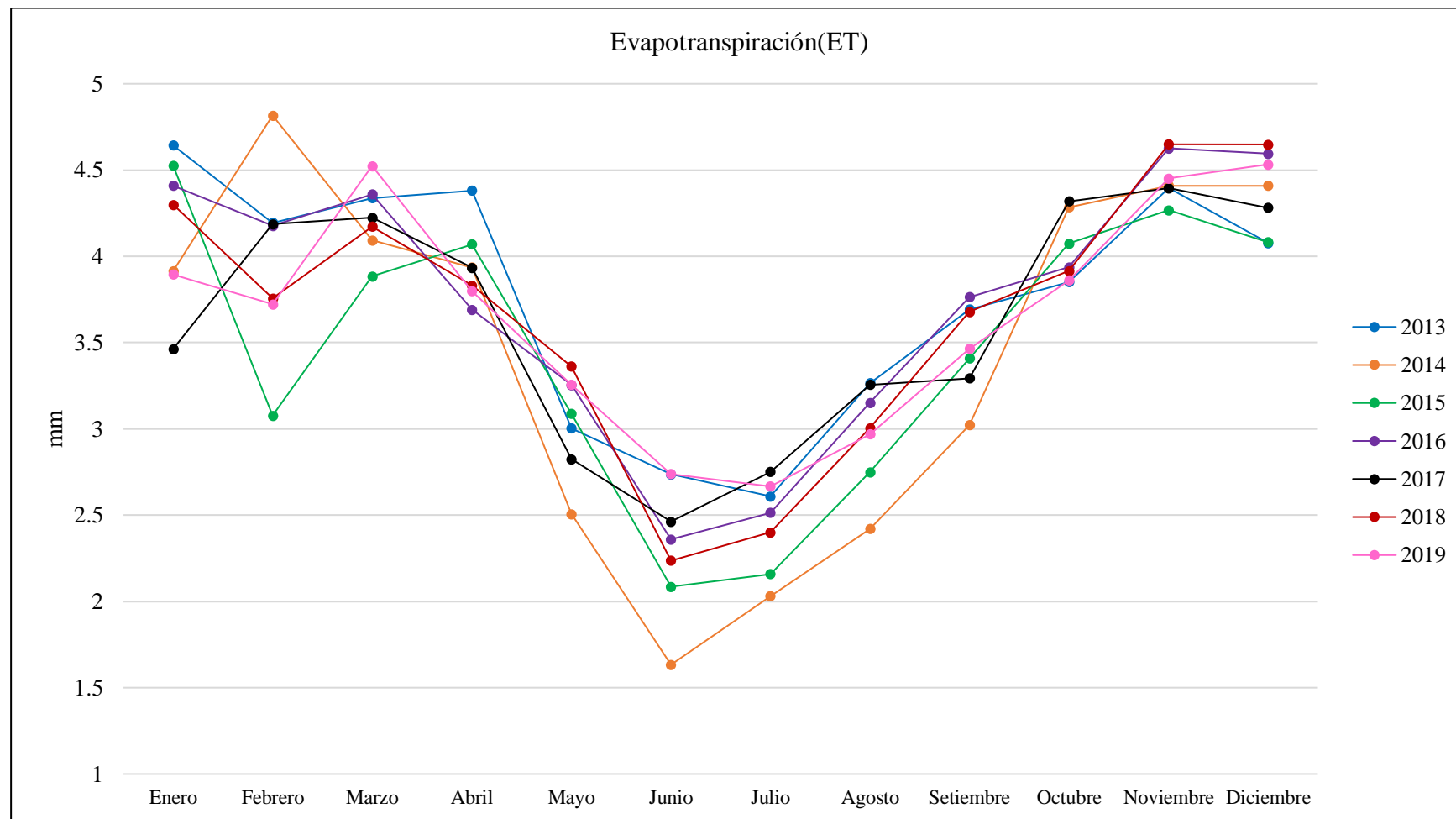
FUENTE: Estación meteorológica Santa Rosa- Don Ricardo

Anexo 31: Variación de la humedad relativa durante los años 2013 al 2019



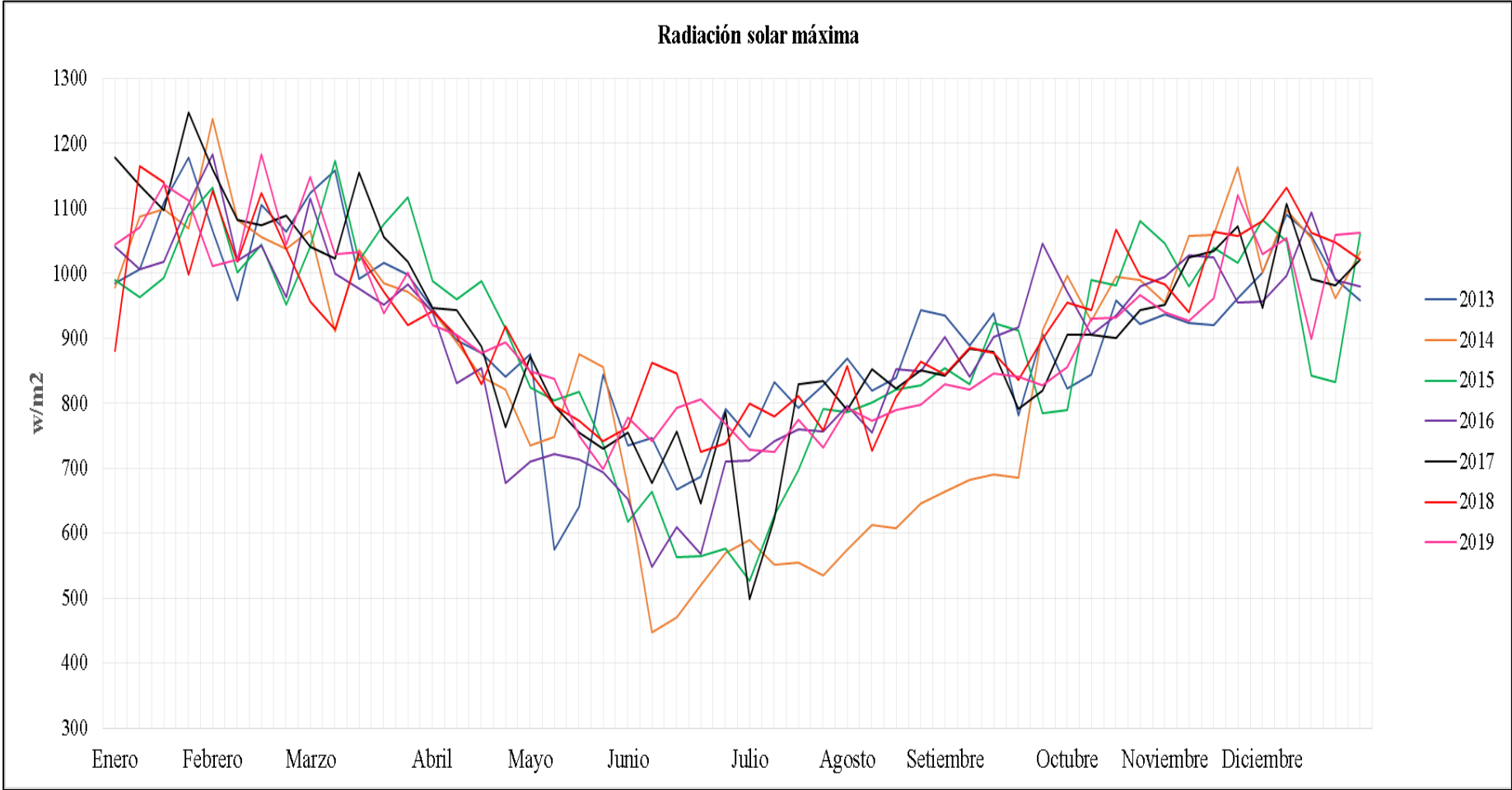
FUENTE: Estación meteorológica Santa Rosa- Don Ricardo

Anexo 32: Variación de la evapotranspiración durante los años 2013 al 2019



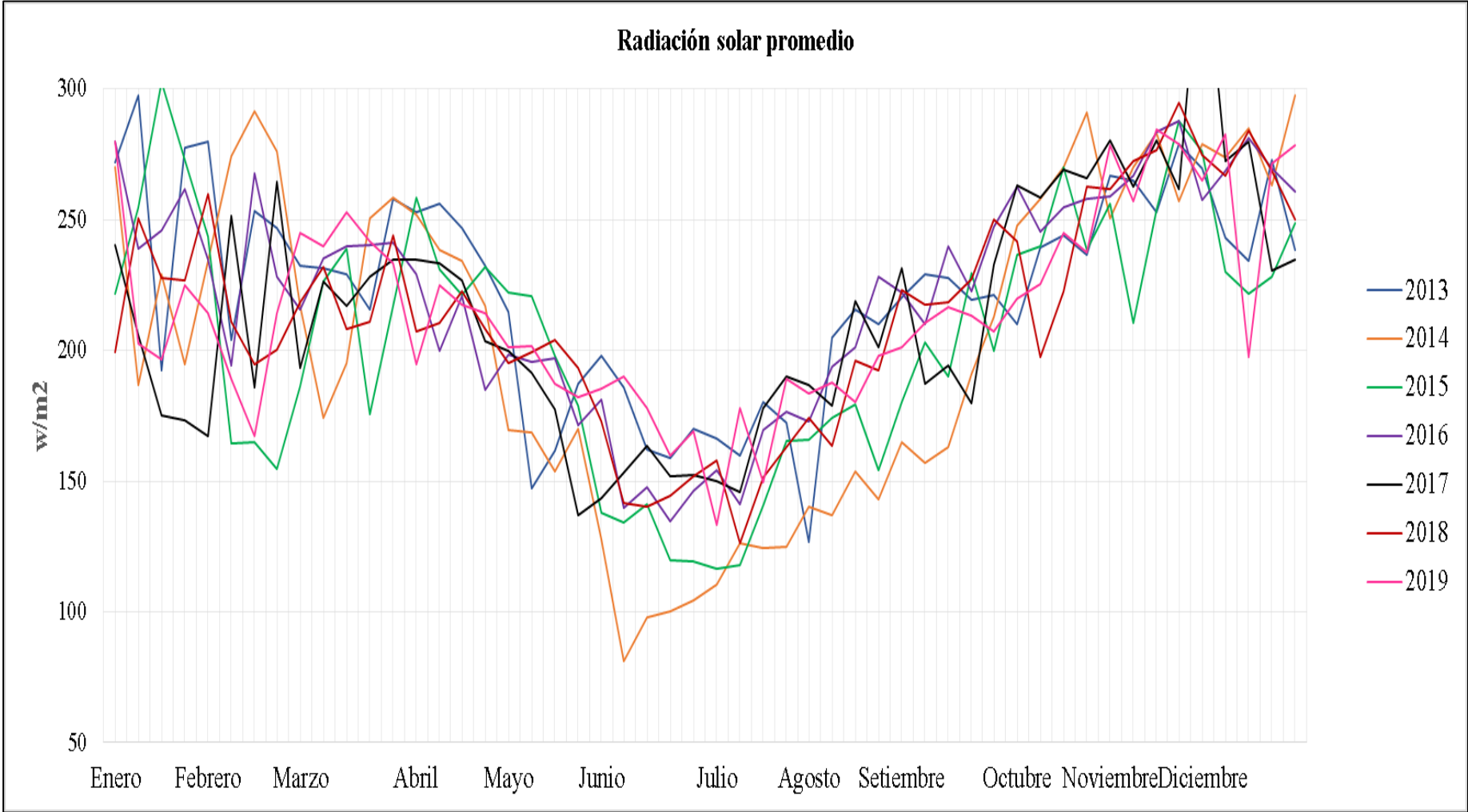
FUENTE: Estación meteorológica Santa Rosa- Don Ricardo

Anexo 33: Variación de la radiación solar máxima durante los años 2013 al 2019



FUENTE: Estación meteorológica Santa Rosa- Don Ricardo

Anexo 34: Variación de la radiación solar promedio durante los años 2013 al 2019



FUENTE: Estación meteorológica Santa Rosa- Don Ricardo

Anexo 35: Características físico –químicas del agua de riego del fundo “Santa Rosa”

| PARÁMETROS | UNID. | 2016 | | 2017 | | 2018 | | 2019 | |
|--------------------|--------|---------|----------------------|---------|----------------------|---------|----------------------|---------|----------------------|
| | | VALORES | CALIFICACIÓN | VALORES | CALIFICACIÓN | VALORES | CALIFICACIÓN | VALORES | CALIFICACIÓN |
| C.E | (dS/m) | 0.79 | Bajo | 0.811 | Bajo | 0.866 | Bajo | 0.845 | Bajo |
| pH | (--) | 7.69 | ligeramente Alcalino | 7.73 | ligeramente Alcalino | 7.52 | ligeramente Alcalino | 7.7 | ligeramente Alcalino |
| CATIONES + | | | | | | | | | |
| Calcio | meq/l | 6.63 | Alto | 5.27 | Bajo | 5.1 | Bajo | 4.99 | Bajo |
| Magnesio | meq/l | 1.71 | Alto | 1.57 | Alto | 1.47 | Alto | 1.41 | Alto |
| Potasio | meq/l | 0.12 | Bajo | 0.11 | Bajo | 0.11 | Bajo | 0.09 | Bajo |
| Sodio | meq/l | 1.17 | Bajo | 1.49 | Bajo | 1.19 | Bajo | 1.33 | Bajo |
| ANIONES - | | | | | | | | | |
| Alcalinidad | meq/l | 3.58 | Alto | 3.94 | Alto | 3.13 | Alto | 4.4 | Muy alto |
| Cloruros | meq/l | 0.85 | Bajo | 0.6 | Bajo | 0.7 | Bajo | 1 | Bajo |
| Nitratos | meq/l | 0.51 | Bajo | 0.41 | Bajo | 0.58 | Bajo | 0.45 | Bajo |
| Sulfatos | meq/l | 3.03 | Bajo | 2.93 | Bajo | 2.83 | Bajo | 2.52 | Bajo |
| METALES | | | | | | | | | |
| Hierro | mg/l | <0.05 | No detectable | <0.05 | No detectable | <0.05 | No detectable | <0.05 | No detectable |
| Manganeso | mg/l | <0.05 | No detectable | <0.05 | No detectable | <0.05 | No detectable | <0.05 | No detectable |
| Cobre | mg/l | <0.05 | No detectable | <0.05 | No detectable | <0.05 | No detectable | <0.05 | No detectable |
| Zinc | mg/l | 0.15 | Bajo | <0.05 | Bajo | 0.05 | Bajo | <0.05 | Bajo |
| Boro | mg/l | 0.18 | Bajo | 0.17 | Bajo | 0.16 | Bajo | 0.15 | Bajo |

FUENTE: Fundo Santa Rosa- Agrícola San Ricardo S.A.C

Anexo 36: Análisis de suelo del año 2016, entre los 0 a 30 cm y los 30 a 60 cm.

| Características | 2016 | | | Método |
|----------------------------------|----------------|----------------|----------|--------------------|
| | 0-30cm | 30-60cm | unidades | |
| Arcilla | 15 | 10 | % | |
| Limo | 20 | 20 | % | |
| Arena | 65 | 70 | % | |
| clasificación textural | Franco Arenosa | Franco Arenosa | | |
| Fósforo Disponible | 11.8 | 7.4 | mg/kg | Olsen |
| Materia Orgánica | 1.02 | 0.57 | % | |
| Caliza Activa | 0.7 | 0.5 | %CaCO3 | Oxalato Amónico O. |
| Nitrógeno duma | 969 | 534 | mg/kg | |
| Ca disponible | 13.5 | 9.3 | meq/100g | Ac NH4 |
| Magnesio Disponible | 2.27 | 1.41 | meq/100g | Ac NH4 |
| Potasio Disponible | 0.5 | 0.27 | meq/100g | Ac NH4 |
| Sodio Disponible | 0.7 | 0.43 | meq/100g | Ac NH4 |
| pH(Extracto 1/1) | 7.91 | 7.82 | | Extracto acuoso |
| Suma de bases disponibles | 17 | 11.4 | meq/100g | |
| Hierro | 5 | 6.91 | mg/kg | DTPA |
| Manganeso | 3.38 | 2.98 | mg/kg | DTPA |
| Cobre | 2.77 | 1.89 | mg/kg | DTPA |
| Zinc | 3.15 | 1.3 | mg/kg | DTPA |
| CIC Efectiva | 13.7 | 8.4 | meq/100g | |
| Ca cambio | 11.4 | 7.17 | meq/100g | Ac NH4 |
| Magnesio de cambio | 1.82 | 1.05 | meq/100g | Ac NH4 |
| Sodio cambio | 0.09 | 0.05 | meq/100g | Ac NH4 |
| Potasio cambio | 0.37 | 0.18 | meq/100g | Ac NH4 |
| Bases de cambio | 13.7 | 8.4 | meq/100g | Ac NH4 |
| Relación C/N | 6.09 | 6.22 | | |
| Ca/Mg disponible | 5.97 | 6.6 | | |
| Mg/K disponible | 4.5 | 5.28 | | |
| Boro | 1.33 | 0.74 | meq/100g | Extracto acuoso |
| C.E | 0.7 | 0.76 | dS/m | |

FUENTE: Fundo Santa Rosa- Agrícola San Ricardo S.A.C

Anexo 37: Análisis de suelo del año 2017 entre los 0 y 40 cm.

| Características | 2017 | | |
|----------------------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| | 0-40cm | unidades | Método |
| Arcilla | 17 | % | |
| Limo | 56 | % | |
| Arena | 27 | % | |
| clasificación textural | Franco Limosa | | |
| Fósforo Disponible | 18.2 | mg/kg | Olsen |
| Materia Orgánica | 1.5 | % | |
| Caliza Activa | 0.5 | %CaCO ₃ | Oxalato Amónico O. |
| Nitrógeno duma | 683 | mg/kg | |
| Ca disponible | 12.2 | meq/100g | Ac NH ₄ |
| Magnesio Disponible | 1.93 | meq/100g | Ac NH ₄ |
| Potasio Disponible | 0.5 | meq/100g | Ac NH ₄ |
| Sodio Disponible | 0.32 | meq/100g | Ac NH ₄ |
| pH(Extracto 1/1) | 7.54 | | Extracto acuoso |
| Suma de bases disponibles | 15 | meq/100g | |
| Hierro | 13 | mg/kg | DTPA |
| Manganeso | 51.5 | mg/kg | DTPA |
| Cobre | 6.22 | mg/kg | DTPA |
| Zinc | 25.3 | mg/kg | DTPA |
| CIC Efectiva | | meq/100g | |
| Ca cambio | 9.69 | meq/100g | Ac NH ₄ |
| Magnesio de cambio | 1.43 | meq/100g | Ac NH ₄ |
| Sodio cambio | 0.05 | meq/100g | Ac NH ₄ |
| Potasio cambio | 0.32 | meq/100g | Ac NH ₄ |
| Bases de cambio | 11.4 | meq/100g | Ac NH ₄ |
| Relación C/N | 12.7 | | |
| Ca/Mg disponible | 6.34 | | |
| Mg/K disponible | 3.87 | | |
| (Ca+Mg)/k disponible | 28.4 | | |
| C.E | 0.69 | dS/m | |
| Boro | 0.72 | mg/kg | Extracto acuoso |

FUENTE: Fundo Santa Rosa- Agrícola San Ricardo S.A.C

Anexo 38: Análisis de suelo del año 2019 entre los 0 y 40 cm.

| Características | 2019 | | |
|----------------------------------|--------|----------|--------------------|
| | 0-40cm | unidades | Método |
| Arcilla | 17.8 | % | |
| Limo | 33.6 | % | |
| Arena | 48.6 | % | |
| clasificación textural | Franco | | |
| Fósforo Disponible | 18.2 | mg/kg | Olsen |
| Materia Orgánica | 1.83 | % | |
| Caliza Activa | <0.500 | %CaCO3 | Oxalato Amónico O. |
| Nitrógeno duma | 908 | mg/kg | |
| Ca disponible | 12.6 | meq/100g | Ac NH4 |
| Magnesio Disponible | 2.13 | meq/100g | Ac NH4 |
| Potasio Disponible | 0.75 | meq/100g | Ac NH4 |
| Sodio Disponible | 0.45 | meq/100g | Ac NH4 |
| pH(Extracto 1/1) | 7.11 | | Extracto acuoso |
| Suma de bases disponibles | 15.9 | meq/100g | |
| Hierro | 9.3 | mg/kg | DTPA |
| Manganeso | 19.2 | mg/kg | DTPA |
| Cobre | 4.87 | mg/kg | DTPA |
| Zinc | 28.1 | mg/kg | DTPA |
| CIC Efectiva | 12.6 | meq/100g | |
| Ca cambio | 10.267 | meq/100g | Ac NH4 |
| Magnesio de cambio | 1.7 | meq/100g | Ac NH4 |
| Sodio cambio | 0.09 | meq/100g | Ac NH4 |
| Potasio cambio | 0.51 | meq/100g | Ac NH4 |
| Bases de cambio | | meq/100g | Ac NH4 |
| Relación C/N | 11.68 | | |
| Ca/Mg disponible | 5.91 | | |
| Mg/K disponible | 2.84 | | |
| (Ca+Mg)/k disponible | 19.6 | | |
| C.E | 0.727 | dS/m | |
| Boro | 0.75 | mg/kg | Extracto acuoso |

FUENTE: Fundo Santa Rosa- Agrícola San Ricardo S.A.C