

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“FERTIRRIEGO EN ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosum* L) cv.
VENTURA CULTIVADO EN SUELO, EN VIRÚ, LA LIBERTAD”**

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

ELENA MARILÚ VEGA FARJE

LIMA – PERÚ

2022

Document Information

Analyzed document	TSP ELENA VEGA (1).docx (D144247039)
Submitted	9/17/2022 2:58:00 AM
Submitted by	Pedro Pablo Gutierrez Vilchex
Submitter email	pgutierrez@lamolina.edu.pe
Similarity	5%
Analysis address	pgutierrez.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / TICLAYAURI SP UNALM_HTR Sarita.docx Document TICLAYAURI SP UNALM_HTR Sarita.docx (D142615858) Submitted by: saritamoreno@lamolina.edu.pe Receiver: saritamoreno.unalm@analysis.arkund.com	6
SA	Determinación y ajustes del Kc mediante lisimetría en fréjol-Vanessa Vizuete.pdf Document Determinación y ajustes del Kc mediante lisimetría en fréjol-Vanessa Vizuete.pdf (D134435843)	1
W	URL: https://www.hdhuacho.gob.pe/WEB/descargas_epi/sala_covid/2021/sala_situacional_covid/Octubre/Sala_Situacional_05_10_2021.pdf Fetched: 5/18/2022 12:10:50 AM	24
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / RIEGO Y FERTILIZACIÓN-ESPÁRRAGO.docx Document RIEGO Y FERTILIZACIÓN-ESPÁRRAGO.docx (D138161991) Submitted by: clivia@lamolina.edu.pe Receiver: clivia.unalm@analysis.arkund.com	4
SA	TESIS_LAURA_VALLEJO_arkund.docx Document TESIS_LAURA_VALLEJO_arkund.docx (D111762123)	5

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
"FERTIRRIEGO Y CRITERIOS DE RIEGO EN EL CULTIVO DE ARÁNDANO (*Vaccinium Corymbosum* L.) EN SUELO, EN CONDICIONES DE VIRÚ, LA LIBERTAD".
Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título de: INGENIERA AGRÓNOMA
ELENA MARILU VEGA FARJE Lima – Perú 2022 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE AGRONOMÍA
"FERTIRRIEGO Y CRITERIOS DE RIEGO EN EL CULTIVO DE ARÁNDANO (*Vaccinium Corymbosum* L.) EN SUELO, EN CONDICIONES DE VIRÚ, LA LIBERTAD".
Presentada por: ELENA MARILU VEGA FARJE Trabajo de Suficiencia para optar el Título de: INGENIERA AGRÓNOMA Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:
----- Dra. Marlene Gladys Aguilar Hernández Mg. Sc. Pedro Pablo
Gutiérrez Vilchex PRESIDENTE ASESOR
----- Dr. Oscar Oswaldo Loli Figueroa Mg. Sc. Ruby Antonieta Vega
Ravello MIEMBRO MIEMBRO
Lima – Perú 2022
DEDICATORIA A mis padres Ángela y Napoleón, por los valores inculcados y por su entrega para formarme como una buena persona y profesional. A mis hermanos Alen, Rosa, Jorge, David y Liza que me apoyaron desde siempre y sin reparos en la búsqueda de mis sueños. A Marlon, por sus ánimos y fuerza para terminar este paso juntos. AGRADECIMIENTO
Al profesor Pedro Pablo, por su asesoramiento durante el desarrollo de este trabajo. A la empresa Danper Trujillo S.A.C., por permitir compartir la información. Al Ing. Juan Valdivia, Gerente de la operación Arándano, por sus conocimientos y apoyo en este trabajo de titulación. A mi familia, por ser mi inspiración y fuerza.
ÍNDICE GENERAL
I. INTRODUCCIÓN 1 II. OBJETIVOS 2 III. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA 3 3.1. CULTIVO DE ARÁNDANO 3 3.2. TAXONOMÍA 3 3.3. MORFOLOGÍA 4 3.3.1. Hábito de crecimiento. 4 3.3.2. Hojas 4 3.3.3. Flores 4 3.3.4. Raíces 5 3.3.5. Fruto 7 3.4. REQUERIMIENTO CLIMÁTICO 8 3.4.1. Temperatura 8 3.4.2. Luminosidad 8 3.5. SUELO 9 3.5.1. PH y Conductividad eléctrica 9 3.5.2. Textura de suelo 12 3.6. FENOLOGÍA DEL ARÁNDANO 12 3.7. FERTILIZACIÓN 13 3.7.1. Curva de extracción de nutrientes 14 3.7.2. Nutrientes 15 3.7.3. Fertilizantes 19 3.8. TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL 21 3.9. RIEGO TECNIFICADO 24 3.9.1. Métodos de fertirriego 25 3.9.2. Sistemas de fertirriego tecnificado 25 3.9.3. Capacidad de campo, agua disponible y criterio de riego 26 3.9.4. Tecnologías para monitoreo de humedad del suelo 30 3.10. Programación de riego 33 IV. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL 34 4.1. CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS 34 4.2. CALIDAD DE AGUA DE RIEGO 37 4.3. SISTEMA DE RIEGO E INYECCIÓN DE FERTILIZANTES 39 4.4. CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO Y FENOLOGÍA 39 4.5. FERTILIZACIÓN 42 4.6. DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL 47 V. CONCLUSIONES 57 VI. RECOMENDACIONES 58 VII. BIBLIOGRAFÍA 59 VIII. ANEXOS 61

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“FERTIRRIEGO EN ARÁNDANO (*Vaccinium Corymbosum* L) cv.
VENTURA CULTIVADO EN SUELO, EN VIRÚ, LA LIBERTAD”**

ELENA MARILÚ VEGA FARJE

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título de:

INGENIERA AGRÓNOMA

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

Dra. Marlene Gladys Aguilar Hernández
PRESIDENTE

Mg. Sc. Pedro Pablo Gutiérrez Vílchez
ASESOR

Dr. Oscar Oswaldo Loli Figueroa
MIEMBRO

Mg. Sc. Ruby Antonieta Vega Ravello
MIEMBRO

LIMA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A mis padres Ángela y Napoleón, por los valores inculcados y por su entrega para formarme como una buena persona y profesional.

A mis hermanos Alen, Rosa, Jorge, David y Liza que me apoyaron desde siempre y sin reparos en la búsqueda de mis sueños.

A Marlon, por sus ánimos y fuerza para terminar este paso juntos.

AGRADECIMIENTO

Al profesor Pedro Pablo, por su asesoramiento durante el desarrollo de este trabajo.

A la empresa Danper Trujillo S.A.C., por permitir compartir la información.

Al Ing. Juan Valdivia, Gerente de la operación Arándano, por sus conocimientos y apoyo en este trabajo de titulación.

A mi familia, por ser mi inspiración y fuerza.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA	3
2.1. CULTIVO DE ARÁNDANO	3
2.2. TAXONOMÍA.....	3
2.3. MORFOLOGÍA	4
2.3.1. Hábito de crecimiento.....	4
2.3.2. Hojas.....	4
2.3.3. Flores	4
2.3.4. Raíces	5
2.3.5. Fruto	7
2.4. REQUERIMIENTO CLIMÁTICO	8
2.4.1. Temperatura.....	8
2.4.2. Luminosidad	8
2.5. SUELO	9
2.5.1. pH y conductividad eléctrica	9
2.5.2. Textura de suelo	11
2.6. FENOLOGÍA DEL ARÁNDANO.....	12
2.7. FERTILIZACIÓN	12
2.7.1. Curva de extracción de nutrientes	12
2.7.2. Nutrientes	14
2.7.3. Fertilizantes	17
2.8. TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL.....	19
2.9. RIEGO TECNIFICADO	22
2.9.1. Métodos de fertirriego	23
2.9.2. Sistemas de fertirriego tecnificado	24
2.9.3. Capacidad de campo, agua disponible y criterio de riego	24
2.9.4. Tecnologías para monitoreo de humedad del suelo.....	27
2.10. Programación de riego.....	30
III. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL	31
3.1. CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS	31
3.2. CALIDAD DE AGUA DE RIEGO.....	33

3.3.	SISTEMA DE RIEGO E INYECCIÓN DE FERTILIZANTES.....	34
3.4.	CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO Y FENOLOGÍA.....	34
3.5.	FERTILIZACIÓN	37
3.6.	DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL.....	43
IV.	CONCLUSIONES	50
V.	RECOMENDACIONES	51
VI.	BIBLIOGRAFÍA	52
VII.	ANEXOS	54

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Efecto del pH en calidad de fruta de arándano.....	9
Tabla 2: Efecto del pH en peso seco total de arándano.....	10
Tabla 3: Efecto del pH en absorción de macronutrientes a nivel foliar de arándano.....	10
Tabla 4: Eficiencia de nutrientes aplicados vía fertirriego, Virú, La Libertad.....	12
Tabla 5: Absorción y remoción de materia y nutrientes para un rendimiento de 18.82 toneladas de arándano cv. Ventura en La Libertad.	13
Tabla 6: Niveles de referencia para el análisis foliar en arándanos	14
Tabla 7: Niveles de referencia para el análisis foliar en arándanos	15
Tabla 8: Concentración de nutrientes de acuerdo a la fuente de fertilización.....	18
Tabla 9: Valores promedio de nutrientes en frutos de algunas especies	21
Tabla 10: Valores de referencia expresados en porcentaje de peso seco de suelo para diferentes texturas de la capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y agua disponible (AD).....	25
Tabla 11: Algunos métodos para medir el agua en el suelo.....	29
Tabla 12: Análisis físico químico de suelo en Virú – La Libertad en 2021.....	32
Tabla 13: Análisis físico químico de agua de riego en Virú – La Libertad en 2021.....	33
Tabla 14: Demanda de nutrientes del cultivo arándano cv. Ventura para un rendimiento de 25 t ha ⁻¹ en Virú – La Libertad	41
Tabla 15: Tipos de fertilización usados en el cultivo de arándano cv. Ventura en La Libertad.....	42
Tabla 16: Cálculo de % de humedad volumétrica a capacidad de campo para suelo arenoso en Virú – La Libertad.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: La inflorescencia del arándano (Retamales y Hancock, 2018).....	5
Figura 2: Ordenes de la estructura de raíces de arándano. (Núñez, 2022).....	6
Figura 3: Porcentaje del sistema radicular según el orden de la raíz de arándano. (Núñez, 2022).....	6
Figura 4: Tasa de absorción de nitrógeno durante los periodos de brote de raíces (fechas enmarcadas). (Núñez, 2022).....	7
Figura 5: Crecimiento del fruto de arándano mostrando una curva doble sigmoide. (Retamales y Hancock, 2018).....	8
Figura 6: Efecto del pH en rendimiento de arándano. (Núñez, 2022)	10
Figura 7: Efecto del pH del suelo en la disponibilidad de nutrientes. (Retamales y Hancock, 2018).....	11
Figura 8: Evolución de la concentración de macronutrientes en hojas de kiwi en Chile temporada 2006 - 2007. (Hirzel, 2014).	20
Figura 9: Evolución de la concentración de macronutrientes en hojas de arándano cv Ventura, cultivados en La Libertad, Perú, 2021.	20
Figura 10: Comportamiento de nutrientes y materia seca durante la cosecha en cv. Ventura en 2021 en Virú – La Libertad.....	22
Figura 11: Producción de arándano en base a distintas láminas de riego (Undurraga y Vargas, 2013)	22
Figura 12: Sistema de fertirriego. Mesa de inyección de soluciones con fertilizantes. (Vidal, 2019).....	24
Figura 13: Curva de contenido de agua relacionado con el potencial mátrico de un suelo franco (Weil y Brady, 2017).....	25
Figura 14: Relación entre la textura del suelo y el agua en el suelo (Weil y Brady, 2017).....	26
Figura 15: Fenología del arándano y maduración de la fruta de cultivar Ventura en Virú – La Libertad	36
Figura 16: Tendencia de CE en SFR y sondas de succión en el año 2019 en Virú – La Libertad.....	38
Figura 17: Tendencia de CE en SFR y sondas de succión en el año 2020 en Virú – La Libertad.....	39
Figura 18: Rango foliares de nitrógeno en cv Ventura en Virú – La Libertad	44

Figura 19: Rango foliares de fósforo en cv. Ventura en Virú – La Libertad	44
Figura 20: Rango foliares de potasio en cv. Ventura en Virú – La Libertad	45
Figura 21: Rango foliares de calcio en cv. Ventura en Virú – La Libertad	45
Figura 22: Rango foliares de magnesio en cv. Ventura en Virú – La Libertad.....	46
Figura 23: Comportamiento del % de humedad volumétrica en suelo arenoso medido a diferentes profundidades en Virú – La Libertad.....	49

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Curva comparativa anual de temperatura máxima en Virú. La Libertad.....	60
Anexo 2: Curva comparativa anual de evapotranspiración en Virú. La Libertad	61
Anexo 3: Tanques de premezcla de fertilizantes. En la izquierda de ácido sulfuroso, del centro de microelementos y de la derecha de calcio.	62
Anexo 4: Mesa de inyección de soluciones madre o fertikit	62
Anexo 5: Tabla de conversión de elemento a molécula	63
Anexo 6: Sistema radicular de arándano “Ventura”	63

RESUMEN

En la actualidad, la agricultura de precisión busca herramientas y tecnologías que permitan el uso eficiente de los recursos como agua y fertilizantes en un campo agrícola, es por eso, que resulta importante para los profesionales de Agronomía implementar monitoreos nutricionales y equipos que permitan determinar criterios de riego para así orientar los cultivos a tener mejores resultados en rendimiento y calidad de fruta en base a un diagnóstico oportuno y preciso. En ese sentido, describir el criterio de riego y establecer rangos foliares en arándano cv. Ventura, uno de los cultivares con más sembrados a nivel nacional, garantiza la buena o mala respuesta de la planta al manejo agronómico y de ser necesario hacer los ajustes inmediatos para no impactar en la productividad.

Palabras clave: arándano, sondas de capacitancia, monitoreo nutricional, rangos foliares.

ABSTRACT

Currently, precision agriculture seeks tools and technologies that allow the efficient use of resources such as water and fertilizers in an agricultural field, which is why it is important for Agronomy professionals to implement nutritional monitoring and equipment that allow determining criteria of irrigation in order to guide the crops to have better results in yield and fruit quality based on a timely and accurate diagnosis. In this sense, describe the irrigation criteria and establish foliar ranges in blueberry cv. Ventura, one of the most planted cultivars nationwide, guarantees the good or bad response of the plant to agronomic management and, if necessary, make immediate adjustments so as not to impact productivity.

Key words: blueberry, capacitance probes, nutritional monitoring, leaf ranges.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMATICA

La Libertad es la región con mayor volumen exportado de arándanos durante el año 2022, llegando a cubrir el 53% del total a nivel nacional. Danper, por otro lado, se encuentra en el puesto 07 de agroexportadoras de arándano en todo el Perú (Proarándanos, 2021), lo que conlleva a desarrollar e implementar metodologías y equipos para ser más eficientes en todo el proceso productivo.

En el año 2021, “Ventura” pasó a ser el cultivar más sembrado en el Perú, con más de 5 mil hectáreas, desplazando a “Biloxi” a un segundo lugar (Proarándanos, 2021). Dentro de la empresa, más del 70% del área está cubierta por “Ventura”, por ello fue necesario establecer criterios agronómicos de poda, despuntes, programaciones fitosanitarias preventivas, monitoreo del riego, nutrición e implementación de nuevas tecnologías son de vital importancia para lograr productividad y fruta de calidad.

Para las importantes labores de riego y nutrición en el cultivo de arándano se han establecido rangos foliares para prevenir deficiencias o toxicidades de algún elemento, además con la implementación de sensores de humedad FDR, ha permitido establecer parámetros de riego donde se puede observar mediante un aplicativo cómo se encuentra la humedad del suelo y si ésta es la óptima para el cultivo.

En el presente trabajo se describe el proceso de fertirriego y los criterios considerados a tener en cuenta al momento de hacer los planes de nutrición y riego. Sin embargo, quedan aún puntos por resolver, pero se irán desarrollando en adelante.

1.2 OBJETIVOS

- Describir el criterio de riego en base a nuevas tecnologías en el cultivo de arándano “Ventura” cultivado en suelo.
- Describir la utilidad del monitoreo nutricional para el cultivo de arándano “Ventura” cultivado en suelo.

II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA

2.1. CULTIVO DE ARÁNDANO

Vaccinium corymbosum L, es originario de la costa este de América del Norte, del este de Canadá y del noroeste de América del Norte. (García *et al.*, 2018). La gran mayoría de cultivares son derivados de esta especie, que a su vez fue separada en base a su requerimiento de frío en *Northern Highbush* y *Southern Highbush*; siendo estos últimos, de menor requerimiento de horas frío y adaptadas condiciones de Perú (Retamales y Hancock, 2018).

2.2. TAXONOMÍA

Según Retamales y Hancock (2018) y Cronquist (1981) citado por Maticorena (2017), la taxonomía del arándano se clasifica en:

Reino: Plantae
División: Magnoliophytas
Subdivisión: Angiosperma
Clase: Dicotiledóneas
Subclase: Dillenniidae
Orden: Ericales
Familia: Ericaceae
Subfamilia: Vaccinoideae
Tribu: Vaccinieae
Género: *Vaccinium*
Especie: *Vaccinium Corymbosum* L.

2.3. MORFOLOGÍA

2.3.1. Hábito de crecimiento.

Todas las especies del género *Vaccinium* son plantas perennes, los *Southern Highbush* o arbustos altos del sur tiene requerimiento de frío menor a 200 horas, es por eso que se han adaptado a condiciones de Perú y México y pueden alcanzar de 1.8 a 4.0 metros de altura (Retamales y Hancock, 2018); sin embargo, se las mantiene en una altura menor a 2.0 m para facilitar las distintas labores del cultivo (García *et al.*, 2018).

2.3.2. Hojas

Las hojas son simples y aserradas, dispuestas alternadamente en el tallo, para condiciones de Perú, con cultivares de bajo requerimiento de frío, las hojas no caducan por efecto de que las temperaturas se mantienen sobre los 0°C. La forma de la hoja varía de elíptica, lanceolada u ovalada con presencia de pubescencia en el envés de la hoja (Retamales y Hancock, 2018). El color es un verde pálido a muy intenso dependiendo de los cultivares, mostrando algunas coloraciones rojizas o amarillentas en brotes tiernos (García *et al.*, 2018).

2.3.3. Flores

Las flores son axilares o terminales agrupadas en inflorescencias, de colores blancos con tonos rosa. De forma acampanada con 4 o 5 sépalos fusionados, con 8 u 10 estambres, pistilo simple, ovario ínfero de 4 a 10 lóculos (García *et al.*, 2018). El número de flores a lo largo del brote es inversamente proporcional a la distancia del ápice; es así que, las yemas apicales pueden tener de 9 a 10 flores, mientras que las yemas terciarias solo tienen 8 y las cuaternarias 7 (Figura 1). El número de flores por brote, está muy relacionado con el grosor del brote, cultivar y exposición del brote hacia la luz (Retamales y Hancock, 2018).



Figura 1: La inflorescencia del arándano (Retamales y Hancock, 2018).

2.3.4. Raíces

Los arándanos Highbush tienen dos principales tipos de raíces: las de almacenamiento con un diámetro hasta 11 mm y raíces finas con 1 mm de diámetro (Retamales y Hancock, 2018). Así mismo, Núñez (2022) menciona que la estructura del sistema radicular del arándano (Figura 2) va desde raíces de quinto orden, que vienen a ser las que salen de la corona y tienen mayor diámetro, de ahí nacen las de cuarto orden, luego salen las de tercer orden, luego las de segundo orden y finaliza con raíces de primer orden; estos dos últimos órdenes vienen a ser las raíces finas con diámetro menor a 1 mm, además como se observa en la Figura 3, las raíces de primer y segundo orden abarcan más del 75% del sistema radicular indicando la importancia de tener estas raíces.

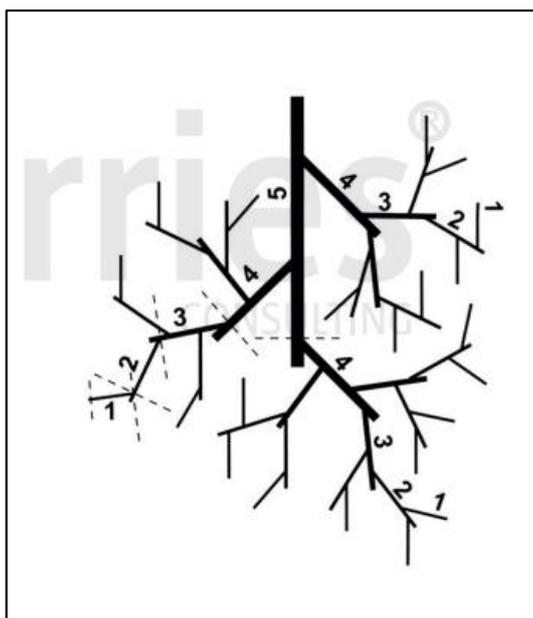


Figura 2: Ordenes de la estructura de raíces de arándano. (Núñez, 2022)

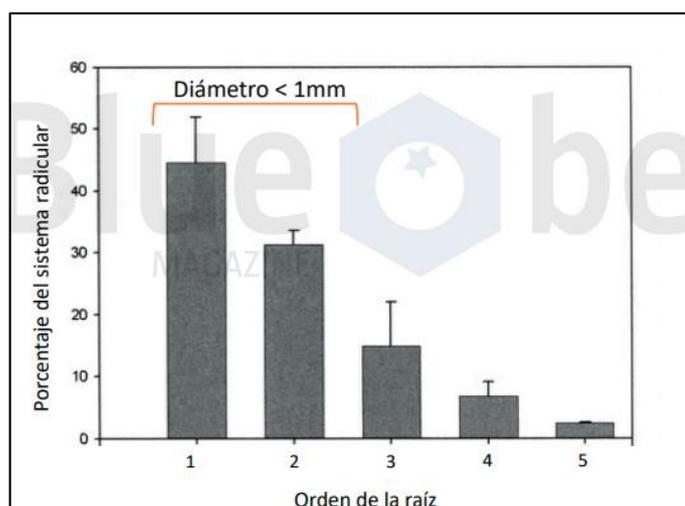


Figura 3: Porcentaje del sistema radicular según el orden de la raíz de arándano. (Núñez, 2022)

Esta condición del sistema radicular hace que el cultivo de arándano se adapte a condiciones de suelo con alta porosidad y baja compactación, además los *flushes* de raíces son los momentos más oportunos para fertilizar (Figura 4) logrando mayores tasas de absorción de nitrógeno en esos momentos (Núñez, 2022).

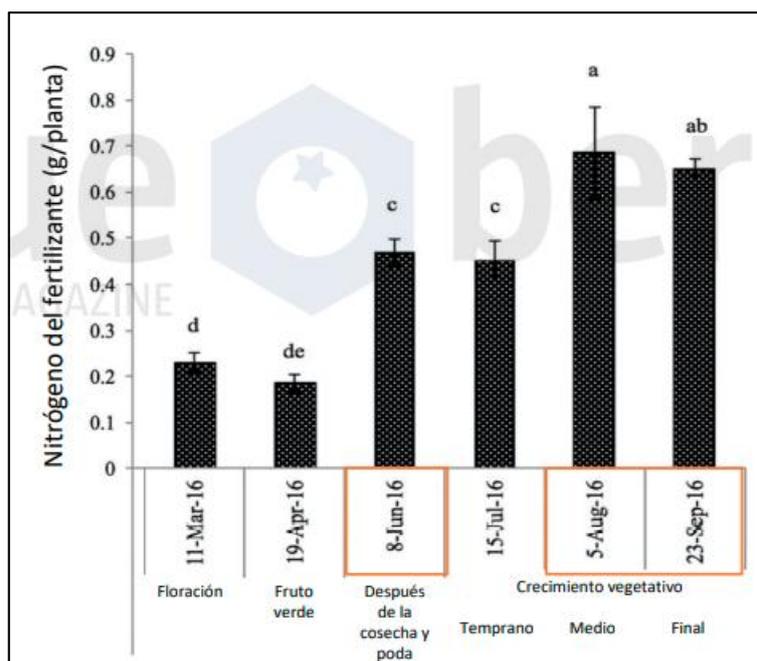


Figura 4: Tasa de absorción de nitrógeno durante los periodos de brote de raíces (fechas enmarcadas). (Núñez, 2022).

Entre las raíces y la parte aérea se encuentra la corona, que tiene la capacidad de emitir brotes y generar la continua renovación de la parte aérea de la planta (García *et al.*, 2018).

2.3.5. Fruto

Es una falsa baya esférica de 1 a 3 centímetros de diámetro y de 0.5 a 4.0 gramos de peso, tiene gran cantidad de semillas en su interior que van de 20 a 100, influyendo de manera proporcional al tamaño del fruto (García *et al.*, 2018). El tamaño del fruto también está influenciado por la ubicación del mismo; así, se tienen mejores calibres en brotes de mayor vigor y de yemas apicales (Ochoa, 2021).

El crecimiento de la baya responde a una curva doble sigmoide (Figura 5), donde en los primeros 35 días se caracteriza por la división celular y ganancia de peso seco, los siguientes 30 – 40 días corresponden al estadio II, se observa un pequeño crecimiento que corresponde a la formación de semillas, en el estadio 3 que puede durar de 30 a 60 días, se caracteriza por un rápido crecimiento celular, donde ocurre la acumulación de azúcares y el color de la baya cambia de verde a azul a medida que se acumulan las antocianinas. En total, el desarrollo del fruto va de 55 a 60 días en los arbustos altos del sur (Retamales y Hancock, 2018).

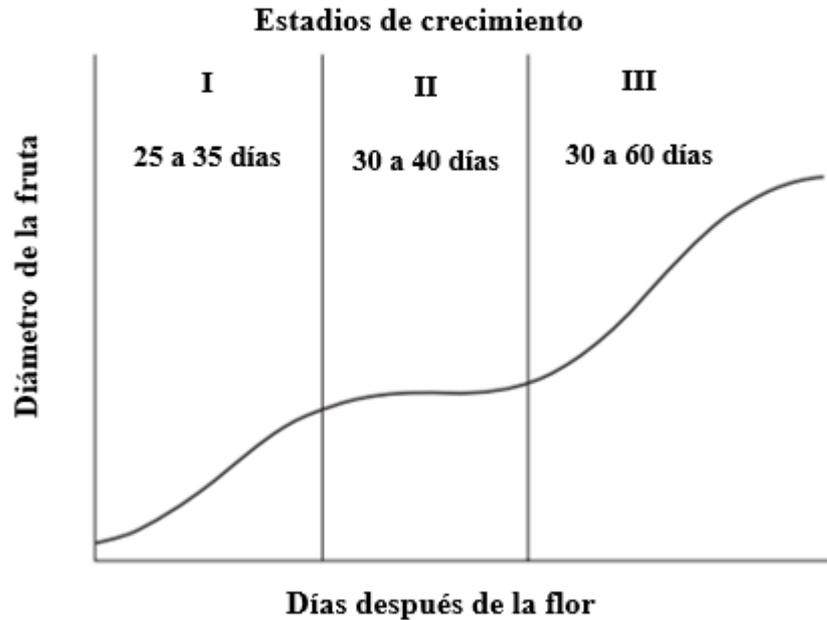


Figura 5: Crecimiento del fruto de arándano mostrando una curva doble sigmoide. (Retamales y Hancock, 2018)

2.4. REQUERIMIENTO CLIMÁTICO

2.4.1. Temperatura

Ochoa (2021), menciona que el arándano tiene un amplio rango de adaptabilidad, debido a que tiene requerimientos de frío van desde los 0 a las 1.100 horas. En la actualidad en zonas tropicales con cultivares de bajo requerimiento de frío (<300 h) se habla de T° promedio de 26°C que optimizan los procesos metabólicos; en momentos de cosecha, menciona que si se sobrepasa los 27°C acompañado de vientos producen deshidratación y calentamiento de las bayas.

Hay mayor número de yemas florales en arbustos altos del sur cuando son expuestos a días cortos, la inducción floral requiere de 5 a 6 semanas de días cortos, además las temperaturas cálidas otoño y verano hacen que, en Perú, se tenga dos *flushes* de floración logrando una cosecha prolongada (Retamales y Hancock, 2018).

2.4.2. Luminosidad

La luz juega un rol importante en toda la fenología del cultivo (Luz PAR), sin embargo, en la inducción floral se centra la atención por para la formación de yemas florales. Si bien, aún

no se ha publicado la necesidad de luz para un arbusto alto del sur, en arándano ojo de conejo, los mínimos niveles de luz están alrededor del 25% a pleno sol para que ocurra la inducción floral, pero los niveles disminuyen dentro del arbusto llegando a ser inferiores al 40% a pleno sol (Retamales y Hancock, 2018).

2.5. SUELO

2.5.1. pH y conductividad eléctrica

El arándano es una especie acidófila (4.5 a 5.2), sin embargo, mantener el pH en esos niveles, podría provocar una toxicidad de manganeso y aluminio. En la actualidad se habla de que los nuevos cultivares ya no requieren niveles tan bajos de pH, sino que se adaptan a pH de 6 a 6.5 donde también influiría en una mejor absorción de nutrientes (Ochoa, 2021). Por otro lado, Nuñez (2022), menciona que el arándano prefiere suelos ácidos, donde en sus investigaciones ha concluido que mientras más bajo sea el pH, se logra mayor peso seco total (Tabla 1), mejor calidad de fruta (Tabla 2), mayores niveles de macronutrientes a nivel foliar (Tabla 3) y mayor rendimiento (Figura 6).

Tabla 1: Efecto del pH en calidad de fruta de arándano

pH del suelo	Peso seco de la raíz (g)	Peso seco del tallo (g)	Peso seco de las hojas (g)	Peso seco total (g)
4.5	41.09	67.08	29.91	138.07
5.3	35.69	46.77	25.02	107.48
6.0	3.13	3.84	6.50	13.47

Fuente: Nuñez (2022).

Tabla 2: Efecto del pH en peso seco total de arándano

pH del suelo	Sólidos solubles (Brix)	Acidez total (%)	SS:AT
4.5	11.9	0.53	22.99
5.3	11.6	0.63	18.72
6.0	9.7	0.98	10.12

Fuente: Núñez (2022).

Tabla 3: Efecto del pH en absorción de macronutrientes a nivel foliar de arándano

Tasa de aplicación de azufre (kg ha ⁻¹)	pH del suelo	N (%)	P (%)	K (%)
0	6.5	1.61	0.069	0.43
280	6.1	1.83	0.071	0.46
560	6.1	1.64	0.070	0.48
1120	5.9	1.99	0.081	0.53

Fuente: Núñez (2022).

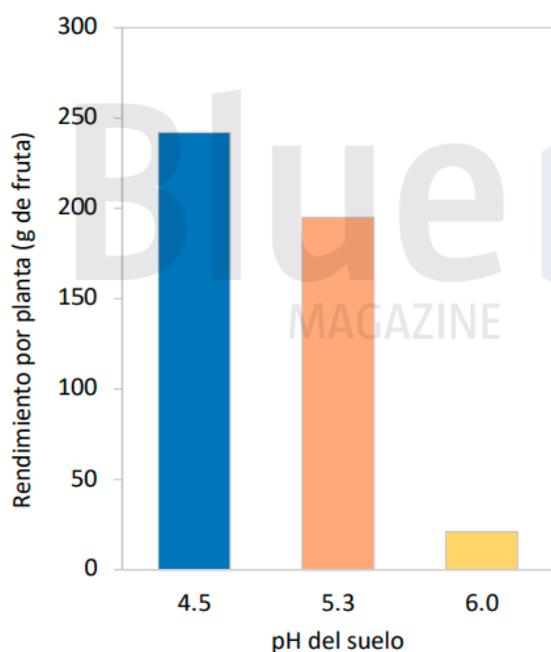


Figura 6: Efecto del pH en rendimiento de arándano. (Núñez, 2022)

Por otro lado, Retamales y Hancock (2018), mencionan que el mejor crecimiento y productividad se obtiene cuando el arándano crece en un pH de 4.5 a 5.5 para arándanos ojo de conejo, aunque la disponibilidad de nutrientes esté limitada (Figura 7).

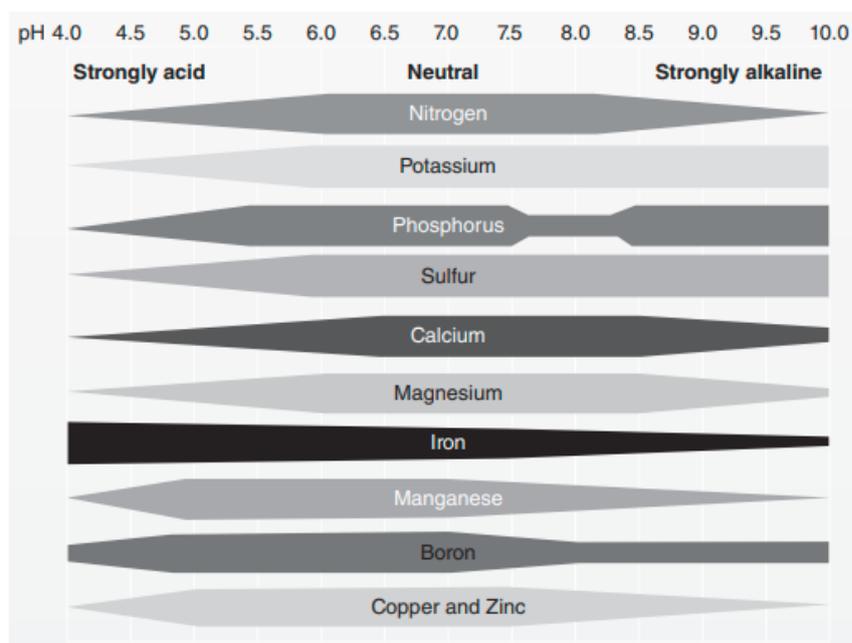


Figura 7: Efecto del pH del suelo en la disponibilidad de nutrientes. (Retamales y Hancock, 2018)

Con respecto a la tolerancia a la conductividad eléctrica (CE), medida en dS/m, Ochoa (2021) indica que cuando se va a instalar un cultivo de arándano, la CE del suelo no debe ser mayor a 0.6 dS m^{-1} en proporción 1:1, para lograr el buen establecimiento y respuesta a la nutrición. Por otro lado, tolerancia del cultivo a la salinidad es de 1.5 dS/m en solución suelo, es por eso que el uso de fertilizante con bajo índice salino es importante al momento de establecer los programas nutricionales.

2.5.2. Textura de suelo

Las raíces de arándano difícilmente logran atravesar superficies compactas y duras, por lo que necesitan de suelos sueltos, porosos y con alto drenaje para explorar (Undurraga y Vargas, 2013). Es así que los suelos de la costa con textura arenosa son ideales para la implementación de arándanos en el Perú.

2.6. FENOLOGÍA DEL ARÁNDANO

La fenología tiene como finalidad estudiar de manera integral los diferentes eventos fenológicos que se dan en las especies vegetales en su interacción con el medio ambiente, de acuerdo a ello permite realizar el uso más eficiente de los recursos y la planificación de actividades con el fin de aumentar la productividad de los cultivos (Díaz, *et al.*, 2011).

2.7. FERTILIZACIÓN

El objetivo de la fertilización es eliminar las limitaciones que comprometan el rendimiento y la calidad del cultivo de arándano aplicando los nutrientes en base a la demanda. La fertilización aplicada, debe sustentarse con análisis de suelo y foliares, teniendo en cuenta también las condiciones climáticas, estructura y desarrollo de la planta y a la experiencia agronómica (Retamales y Hancock, 2018).

La necesidad de fertilización según Retamales y Hancock (2018), se traduce en la siguiente fórmula:

$$\text{Necesidad de fertilizantes} = (\text{Demanda de nutrientes} - \text{oferta de nutrientes}) / \text{eficiencia.}$$

Donde la demanda de nutrientes puede darte la curva de extracción, la oferta proviene de los aportes del suelo y del agua de riego y la eficiencia que depende del nutriente y su estabilidad en el suelo.

Castillo (2018), recomienda la eficiencia de cada nutriente que provienen del agua de riego y del fertilizante para condiciones de La Libertad, en la Tabla 4, que fue validado por Hirzel (2020), con ello se pudo obtener el cálculo de necesidad de nutrientes por campaña que se detallará en el desarrollo de la experiencia laboral.

Tabla 4: Eficiencia de nutrientes aplicados vía fertirriego, Virú, La Libertad

Nutriente	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Zinc	Manganeso	Boro	Hierro
Eficiencia (agua de riego)	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Eficiencia (fertilizante)	67%	50%	50%	80%	80%	10%	60%	50%	80%

Fuente: Castillo (2018).

2.7.1. Curva de extracción de nutrientes

Para conocer la extracción anual de nutrientes es importante realizar muestreos destructivos conocidos como curvas de extracción, donde se extraen plantas completas y se analiza su

materia seca y composición nutricional de cada componente (raíz, tallo, hojas, flores y frutos), logrando así la necesidad de nutrientes de acuerdo a la fenología de la planta. Estos resultados permiten obtener la necesidad en función al rendimiento obtenido en la parcela (Hirzel, 2014).

En la Tabla 5, se puede apreciar la curva de extracción realizada en arándano cv. Ventura el año 2018. Donde para un rendimiento de 18.82 toneladas, el nutriente que más se extrajo en la fruta es potasio (22%), seguido de nitrógeno (12%) y fósforo (10%). Por otro lado, el micronutriente que más se extrajo fue cobre y hierro. La mayor extracción de potasio refleja la cosecha extensa que se tiene en este cultivo y el potasio juega un rol fundamental (Castillo, 2018).

El índice de cosecha expresa la cantidad de nutrientes removidos en flores y frutos respecto a la absorción total, que incluye todas las partes de la planta (raíz, tallos hojas).

Tabla 5: Absorción y remoción de materia y nutrientes para un rendimiento de 18.82 toneladas de arándano cv. Ventura en La Libertad.

Materia - Nutriente	Absorción total (kg/ha)	Remoción de flores y frutos (kg/ha)	Índice de cosecha (%)
Materia fresca	41961	19130.2	46%
Materia seca	17114.2	2875.9	17%
Nitrógeno	166.77	19.27	12%
Fósforo	20.65	2.03	10%
Potasio	61.52	13.39	22%
Calcio	54.31	3.26	6%
Magnesio	14.21	0.8	6%
Azufre	22.35	0.71	3%
Hierro	3.56	0.24	7%
Manganeso	2.96	0.06	2%
Zinc	1.05	0.01	1%
Cobre	0.1	0.01	9%
Boro	0.56	0.03	0.5%
Molibdeno	0.0128	0.0003	0.5%

2.7.2. Nutrientes

Los nutrientes conocidos como esenciales, son los que su ausencia impide completar el ciclo vital de la planta, debe tener al menos una determinada función fisiológica irremplazable y debe formar parte de una molécula esencial requerida para una reacción enzimática (Arnon y Stout, 1939). Según Sela (2019), son dieciséis nutrientes considerados esenciales, distribuidos en:

- Macronutrientes: carbono (C), oxígeno (O), hidrógeno (H), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K).
- Nutrientes secundarios: calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S),
- Micronutrientes: hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl).

La capacidad de aporte de nutrientes de suelo y del agua de riego son premisas que se deben tener en cuenta antes de la elaboración de un plan de fertilización, en general, los campos recién sembrados, tienen gran capacidad de extracción de nitrógeno y calcio, mientras conforme avanza en los años, se observa un notable incremento de absorción de potasio (Hirzel, 2014).

Hirzel (2014), menciona que los rangos foliares son aquellas concentraciones de nutrientes donde la planta no tiene limitaciones al crecimiento normal, interacción negativa con otros nutrientes o desórdenes fisiológicos.

Para arándano se han establecidos los siguientes rangos según Hirzel (Tabla 6) y Retamales y Hancock (Tabla 7):

Tabla 6: Niveles de referencia para el análisis foliar en arándanos

Nutriente	Unidad de medida	Nivel deficiente	Nivel adecuado	Nivel excesivo
N	%	< 1.7	1.8 – 2.1	> 2.5
P	%	< 0.1	0.12 – 0.4	> 0.8
K	%	< 0.3	0.35 – 0.65	> 1.0
Ca	%	< 0.13	0.4 – 0.8	> 1.0
Mg	%	< 0.08	0.12 – 0.25	> 0.45
Fe	mg kg ⁻¹	< 60	60 – 120	> 400
Mn	mg kg ⁻¹	< 23	50 – 350	> 450
Zn	mg kg ⁻¹	< 8	8 – 30	> 50
Cu	mg kg ⁻¹	< 5	5 – 20	> 80
B	mg kg ⁻¹	< 20	30 - 70	> 200

Fuente: Hirzel (2014).

Tabla 7: Niveles de referencia para el análisis foliar en arándanos

NUTRIENTE	Highbush			Rabbiteye	
	Oregon	Michigan	Missouri	Sur este USA	Georgia
Macroelementos					
(%)					
N	1.76 – 2.00	1.70 – 2.10	1.50 – 2.10	1.20 – 1.70	1.20 – 1.70
P	0.10 – 0.40	0.08 – 0.40	0.07 – 0.12	0.08 – 0.20	0.08 – 0.17
K	0.41 – 0.70	0.40 – 0.65	0.40 – 0.80	0.35 – 0.60	0.28 – 0.60
Ca	0.41 – 0.80	0.30 – 0.80	0.40 – 0.90	0.25 – 0.70	0.24 – 0.70
Mg	0.13 – 0.25	0.15 – 0.30	0.10 – 0.30	0.14 – 0.20	0.14 – 0.20
S	0.11 – 0.16	0.12 – 0.20	0.10 – 0.20	0.11 – 0.25	-
Microelementos					
(ppm)					
B	31 – 80	25 – 70	20 – 50	12 – 35	12 – 35
Cu	5 – 15	5 – 20	-	2 – 10	2 – 10
Fe	61 – 200	60 – 200	40 – 70	25 – 70	25 – 70
Mn	30 – 250	50 – 350	40 – 250	25 – 100	25 – 100
Zn	8 - 30	8 - 30	-	10 - 25	10 - 25

Fuente: Retamales y Hancock (2018).

a) Nitrógeno

El N, es el componente estructural de las plantas, presente en la clorofila, ácidos nucleicos, enzimas y proteínas; es por eso su importancia en el crecimiento, producción y renovación de la planta (García *et al.*, 2018). Debido a que el origen del arándano es de suelos ácidos, donde hay baja presencia de nitratos, la enzima nitrato reductasa tiene escasa actividad interna, por lo que la absorción de amonio predomina (Román, 2013).

Los problemas por exceso de nitrógeno pueden reflejarse con exceso de vigor, mucho sombreamiento, fruta blanda, mayor ataque a enfermedades, mala maduración de madera a

la entrada a la poda (Undurraga y Vargas, 2013). También puede provocar alargamiento del periodo vegetativo, escasa formación de yemas florales (García *et. al.*, 2018).

Por otro lado, la deficiencia de nitrógeno se refleja con una palidez y un amarillamiento uniforme en hojas viejas, menor cantidad de brotamiento nuevo, menor crecimiento de la planta y cosecha (García *et. al.*, 2018).

b) Potasio

El potasio es el nutriente que no es metabolizado por las plantas, cumpliendo funciones de activación de importantes enzimas, regulación hídrica de la planta al estar involucrado en las células de guarda de apertura y cierre de estomas. Donde su deficiencia provoca una menor respuesta de las plantas a la sequía (Hirzel, 2014).

Así mismo este ion está involucrado en el transporte y almacenamiento de carbohidratos. En conjunto con el boro y calcio intervienen en la formación de la pared celular, es por eso que juega un rol importante en el desarrollo del fruto así como en su textura y calidad organoléptica (García *et. al.*, 2018).

Una planta con toxicidad por potasio puede inducir deficiencia de magnesio y calcio. Incluso puede provocar partidura del fruto en algunas variedades (Undurraga y Vargas, 2013)

c) Fósforo

El fósforo es componente estructural de las proteínas, ácidos nucleicos y ADN; interviene en la fotosíntesis, respiración y división celular. Su rol principal es estimular el crecimiento radicular y almacenamiento/ transferencia de energía (García *et. al.*, 2018).

La absorción de fósforo es limitada en el suelo, debido a que se encuentra fijado o precipitado con aluminio y hierro, Es por eso que la simbiosis con hongos micorríticos es importante (Hirzel, 2014).

La deficiencia de fósforo se muestra con retrasos en el crecimiento de la planta, coloraciones púrpura oscura en las hojas viejas, retraso en la floración (Sela, 2019), así mismo afirma Ochoa (2021) donde menciona que las deficiencias de este nutriente se refleja con coloraciones púrpuras en las hojas.

d) Calcio

La planta toma el calcio en cantidades solo superadas por el nitrógeno y potasio, tiene roles fisiológicos como ser componente de la lámina medio de la pared celular formando pectatos de calcio dando una rigidez a la pared (Weil y Brady, 2017).

En arándano, el calcio ha sido ampliamente estudiado por Jorge Retamales, que su última conferencia dictada el 2022 menciona la importancia de este nutriente para la calidad de fruta y que debemos tener cuatro aspectos importantes a considerar dentro del manejo del calcio: aun cuando el calcio en la hoja esté en niveles adecuados, puede estar deficiente en la fruta; la absorción de calcio requiere de raíces activas y se mueve por efecto de la transpiración de la planta; no siempre los déficits de calcio en la fruta se corrigen con aplicaciones foliares y por último, el manejo de poda, riego, cara frutal, polinización, y balance nutricional repercuten en la asimilación de calcio.

e) Magnesio

Es el constituyente de la clorofila, activa enzimas como la rubisco, también actúa en la estabilización de los ribosomas dándole la configuración para la síntesis proteica (Ochoa, 2021).

La deficiencia se aprecia con clorosis internerval en hojas viejas (Román S., 2013). Están sujetas generalmente por un exceso de potasio en el suelo (García *et al.*, 2018). Las toxicidades por magnesio son poco frecuentes (García *et al.*, 2018).

2.7.3. Fertilizantes

En caso de la solubilidad de los fertilizantes es importante que estén con valores superiores a 100 g/L, con un mínimo de impurezas (<0.5%), que sean compatibles entre ellos para no formar precipitados que pueden provocar obturación en los emisores, además que sean compatibles con el agua de riego y su pH (Vidal, 2019).

El ion sulfato es incompatible con el calcio, al igual que los fosfatos, es por eso que para la preparación de soluciones madre, es importante contar con al menos dos tanques. Uno para fertilizantes sin calcio (nitrato de amonio, ácido fosfórico, sulfato de magnesio, fosfato monoamónico) y el otro para fertilizantes sin fosfatos y sulfatos (nitrato de potasio, nitrato de magnesio, nitrato de calcio, ácido nítrico) (Vidal, 2019).

Los fertilizantes usados en el cultivo de agroexportación son, sulfato de amonio, sulfato de potasio, fosfato monoamónico, nitrato de calcio, sulfato de magnesio, nitrato de amonio y nitrato de potasio (Kafkafi y Tarchitzky, 2012). Y cada uno presenta una riqueza expresada en porcentaje y tienen recomendaciones de disoluciones para no generar precipitados como se puede ver en la Tabla 8 (Vidal, 2019).

Tabla 8: Concentración de nutrientes de acuerdo a la fuente de fertilización

Fertilización	Concentración de nutrientes (%)	Cantidad máxima a disolver en un estanque de 1000 litros de capacidad
Ácido fosfórico (85%)	61 P ₂ O ₅	100 L
Ácido nítrico (15.5% N)	15.5 N	100 L
Cloruro de potasio	60 K ₂ O	250 kg
Fosfato de urea	18 N – 44 P ₂ O ₅	200 kg
Fosfato monoamónico	12 N – 61 P ₂ O ₅	200 kg
Fosfato monopotásico	52 P ₂ O ₅ – 34 K ₂ O	200 kg
Nitrato de amonio	33 N	350 kg
Nitrato de calcio	15.5 N – 26 CaO	200 kg
Nitrato de magnesio	11 N – 16 MgO	250 kg
Nitrato de potasio	13.5 N – 46 K ₂ O	120 kg
Sulfato de amonio	21 N – 22 S	120 kg
Sulfato de magnesio	16 MgO – 13 S	100 kg
Sulfato de potasio	50 K ₂ O – 18 S	100 kg
Urea	46 N	350 kg

Fuente: Vidal (2019).

2.8. TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL

Según Vidal (2019) la ciencia agronómica dispone de una serie de herramientas que permiten realizar diagnósticos considerando aspectos nutricionales ya sea a base de suelo/sustrato, material vegetal o agua, relacionando la nutrición de la planta y su forma de responder a la aplicación de los fertilizantes con el objetivo de optimizar los procesos fisiológicos de un cultivo. Este diagnóstico cobra mayor importancia en cultivos intensivos donde se deben establecer parámetros de control. A continuación, los análisis más utilizados:

2.8.1. Análisis de suelo

Este análisis permite conocer la clasificación del suelo, aptitud agrícola, si se va a realizar algún mejoramiento de las condiciones, determinar el impacto ecológico de las prácticas agrícolas, evitar toxicidad de nutrientes y evaluar el estado de la fertilidad del suelo para recomendar fertilizantes y enmiendas (Vidal, 2019).

2.8.2. Análisis de agua

Permite evidenciar el contenido de nutrientes que puede aportar el agua de riego y poder hacer el balance en la fertilización (García *et al.*, 2018).

2.8.3. Análisis de solución suelo.

Este análisis permite obtener el real provecho de la técnica de fertirriego y efectuar correcciones oportunas, además es la forma de cómo la planta absorbe los nutrientes disponibles. El método más estandarizado es el uso de sondas de extracción con cápsulas porosas, las cuales son enterradas en diferentes profundidades (20, 40 60 cm); estas deben ubicarse cerca de un gotero o aspersor. Esta solución se puede analizar el pH y la CE y también los nutrientes distribuidos en el perfil del suelo (Vidal, 2019).

2.8.4. Análisis foliar

Los tejidos comúnmente evaluados son las hojas, es necesario conocer el momento adecuado para el muestreo, tipo de hojas y la posición dentro del árbol, así las hojas ni muy jóvenes ni muy viejas quedan descartadas, pues la hoja debe representar la mayor estabilidad de nutrientes para poder comparar con rangos ya establecidos. En general, en todas las especies

frutales, como en kiwi, se presenta una disminución de N, P y K; y un aumento de Ca y Mg (Figura 8), en la medida que avanza el desarrollo del cultivo (Hirzel, 2014).

Sin embargo, el cultivar Ventura, en condiciones de Perú, hay cierta relación con lo mencionado, el comportamiento del potasio es creciente durante la campaña, esto puede deberse a la duración de la cosecha que demanda de mayores cantidades de este nutriente, desde muestreo 6 al 10 (Figura 9).

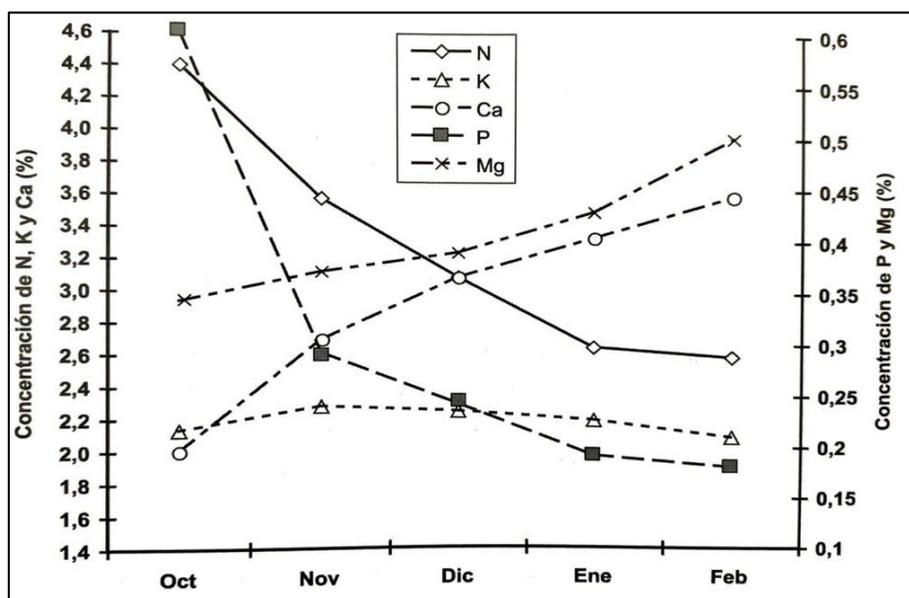


Figura 8: Evolución de la concentración de macronutrientes en hojas de kiwi en Chile temporada 2006 - 2007. (Hirzel, 2014).

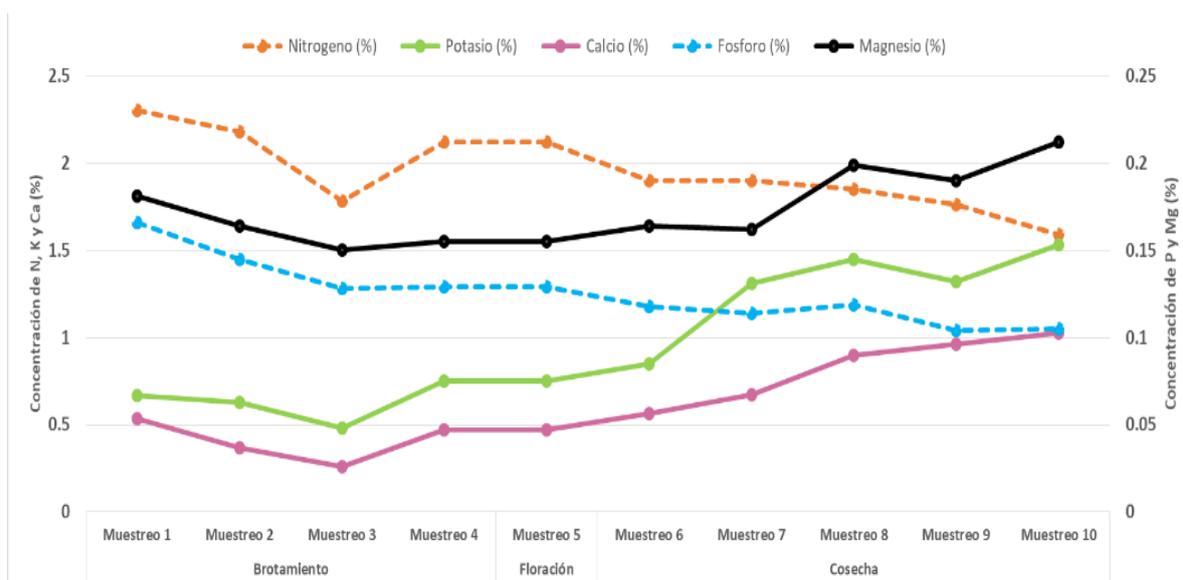


Figura 9: Evolución de la concentración de macronutrientes en hojas de arándano cv Ventura, cultivados en La Libertad, Perú, 2021.

2.8.5. Análisis de fruto

Es considerado importante no solo para el diagnóstico nutricional del huerto, sino también para determinar la calidad y condición de los frutos en postcosecha. Como especie se pueden tener los valores descritos en la tabla 9 (Vidal, 2019). El muestreo en general se hace de fruto maduro (completamente azul); el comportamiento de los nutrientes no tiene rangos o parámetros establecidos (Hirzel, 2014). La materia seca y calcio ligado podrían darnos un indicador de calidad, sin embargo, existe mucho debate respecto a este tema (Retamales, 2022).

Tabla 9: Valores promedio de nutrientes en frutos de algunas especies

Especie	M. Seca g 100g⁻¹	Azúcar g 100g⁻¹	N mg 100g⁻¹	P mg 100g⁻¹	K mg 100g⁻¹	Ca mg 100g⁻¹	Mg mg 100g⁻¹
Arándanos	14.3	9.1	140	16	66	10	5
Cebolla	10.9	6.2	160	23	138	30	8
Cerezos	18.9	14.6	195	26	238	12	9
Ciruela	12.9	9.8	100	17	187	7	7
Cítrico	14.2	9.6	120	15	128	25	9
Espárragos	7.6	1.6	464	66	283	23	12
Frambuesa	12.3	5.1	130	28	164	16	16

Fuente: Vidal (2019)

Los valores de N, P, K obtenidos en cv. Ventura en condiciones de La Libertad, son menores a los mencionados en la literatura, mientras que los valores de Ca, se encuentran sobre el nivel, la materia seca se encuentra en datos similares durante toda la cosecha (Figura 10).

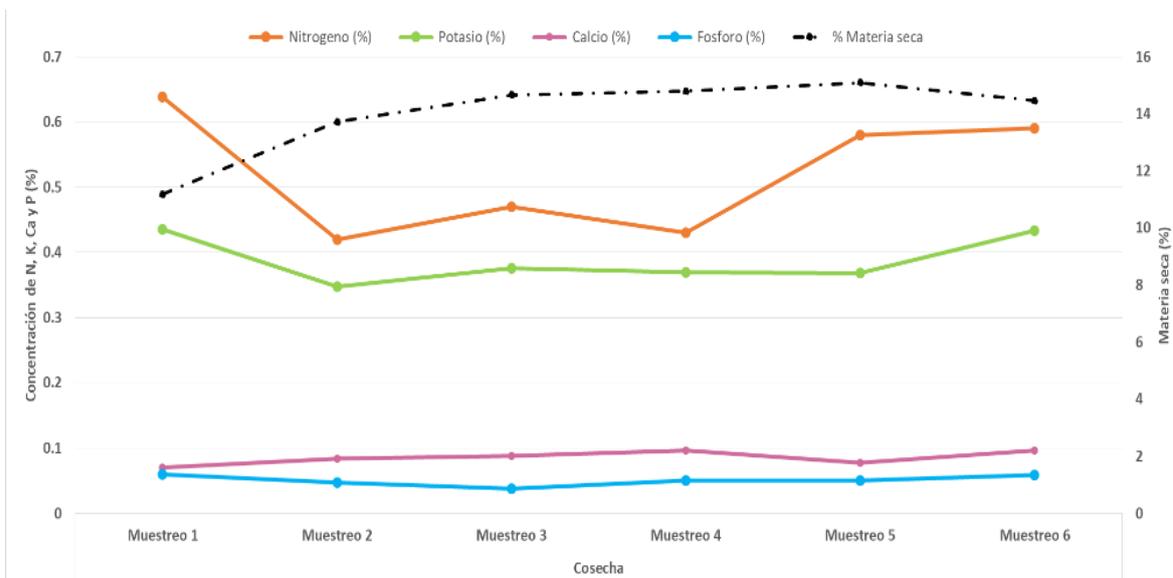


Figura 10: Comportamiento de nutrientes y materia seca durante la cosecha en cv. Ventura en 2021 en Virú – La Libertad

2.9. RIEGO TECNIFICADO

El arándano al tener raíces superficiales, tiene una buena respuesta al riego por goteo (Figura 11), sin embargo, existe un nivel óptimo de riego en el cual el rendimiento es mayor y a medida que nos alejamos de ese nivel, la producción se puede ver afectada. El arándano concentra mayor volumen radicular a profundidades de 25 a 30, es así que coberturar esa profundidad sería el objetivo del riego (Undurraga y Vargas, 2013).

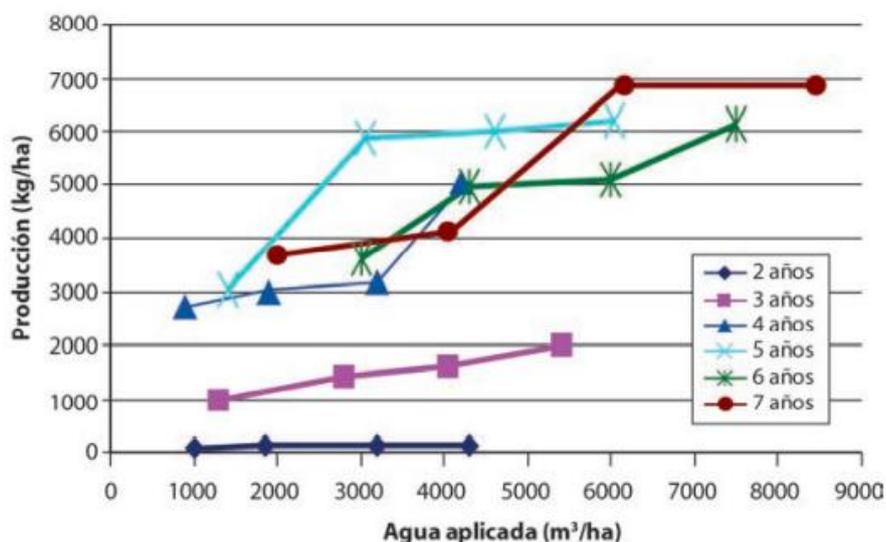


Figura 11: Producción de arándano en base a distintas láminas de riego (Undurraga y Vargas, 2013)

Para la aplicación de agua a las plantas es importante determinar que la zona de raíces sea lo suficientemente grande para abastecer a la planta, el agua debe reponerse con una frecuencia tal que no se llegue al estrés hídrico, el agua debe infiltrar libremente sin arrastrar a profundidades los nutrientes y mantener el sistema radicular la constante absorción durante todo el ciclo de la planta (Retamales y Hancock, 2018).

Los sistemas de riego tecnificado permiten regar con frecuencias altas y ofrecen la posibilidad de realizar fertirrigación, el riego por goteo es el más adecuado (García *et al.*, 2018).

El volumen de riego aplicado, viene dado fundamentalmente, por la capacidad de retención de agua útil o aprovechable del suelo, la oportunidad del riego considera el evitar un agotamiento o disminución excesiva del agua aprovechable para la planta conocido como frecuencia de riego. En este caso se pueden tomar dos posturas, la de lámina fija y frecuencia variable o frecuencia fija y lámina variable, en la primera configuración, al reponer la misma lámina hasta la profundidad que se vea conveniente (zona radicular) sumado a la facilidad de implementar y manejar el fertirriego, las ventajas lo hacen altamente recomendable; mientras que optar por frecuencia fija y lámina variable supone no llegar a la misma profundidad y no necesariamente optimiza el manejo del agua sin embargo, es más fácil de implementar porque se entrega un horario de riego establecido (Vidal, 2019).

2.9.1. Métodos de fertirriego

Los métodos más usados con el fertirriego cuantitativo y el proporcional. El cuantitativo es comúnmente usado para aplicar los fertilizantes a los suelos donde las cantidades se calculan por demanda del cultivo por hectárea sin importar la lámina de riego aplicada ni el momento de aplicación. Mientras que el proporcional, es el más usado en medios sin suelo y en suelos arenosos donde en este caso se inyecta una cantidad de solución de fertilizantes por cada unidad de agua que ingresa por el sistema de riego, por ejemplo, litros/m³, libras/galón (Vidal, 2019).

En el tipo de riego proporcional se utilizan inyectores tales como venturi y bombas de desplazamiento positivo. La cantidad total de un nutriente aplicado por una unidad de área puede ser evaluada multiplicando la concentración del nutriente por el volumen total de agua aplicado (Vidal, 2019).

2.9.2. Sistemas de fertirriego tecnificado

Existen controladores de fertirriego que permiten determinar directamente la proporción de inyección, donde en algunos casos, se pueden incluir parámetros de tiempo, flujo de caudal, la duración del riego, los rangos de pH, CE de soluciones fertirriego, la duración de la inyección, etc (Vidal, 2019).



Figura 12: Sistema de fertirriego. Mesa de inyección de soluciones con fertilizantes. (Vidal, 2019)

2.9.3. Capacidad de campo, agua disponible y criterio de riego

La capacidad de campo (CC) es la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener en contra de la acción de la gravedad (Angella *et al.*, 2016), en esta condición el agua ha salido de los macroporos y ha entrado aire en su lugar, el potencial mátrico del suelo varía por la textura, pero oscila entre -10 a -30 kPa (Weil y Brady, 2017). Esta retención está muy ligada a la textura del suelo y tamaño de partículas (Tabla 10); así, en suelos arenosos, hay menos retención que un suelo arcilloso. Como se puede observar en la figura 13, para un suelo franco, la capacidad de campo se encuentra entre 35 y 40% de humedad volumétrica y -10kPa de potencial mátrico. Con ello se puede deducir que, para un suelo arenoso, la capacidad de campo tendrá un menor valor de % de humedad volumétrica y un potencial menos negativo.

Tabla 10: Valores de referencia expresados en porcentaje de peso seco de suelo para diferentes texturas de la capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y agua disponible (AD)

Textura	CC (%)	PMP (%)	AD (%)
Arenosa	5 – 7	1 – 3	4 – 6
Franca arenosa	8 – 13	4 – 3	4 – 9
Franca	12 – 18	4 – 11	4 -14
Franco arcillosa	18 – 23	9 – 10	9 – 16
Arcillosa	23 - 46	13 - 29	10 - 33

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

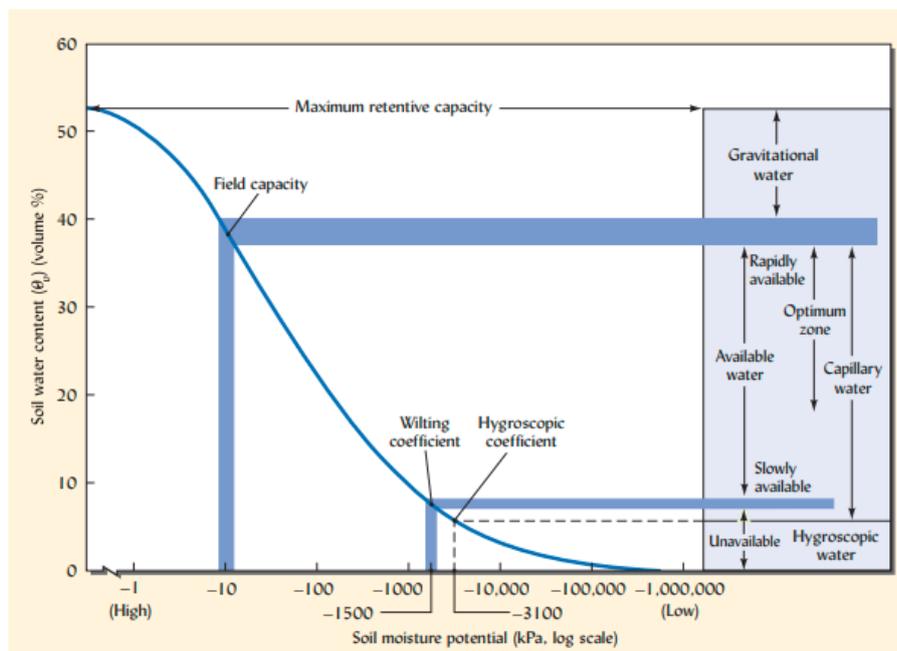


Figura 13: Curva de contenido de agua relacionado con el potencial mátrico de un suelo franco (Weil y Brady, 2017).

La disponibilidad del agua en el suelo se refiere a la capacidad del suelo para retener el agua y sea disponible para la planta, a medida que aumenta su consumo en momentos de mayor transpiración y demanda, el agua que queda será retenida con más fuerza lo que disminuye su energía potencial, lo que condiciona que su extracción sea más difícil y gaste más energía (Angella *et al.*, 2016). Además, con el consumo de la planta y drenaje hay un cambio gradual

en el potencial formando “diferentes tipos de agua” en el suelo, que es dependiente de la textura del suelo, así por ejemplo, en un suelo arenoso, la capacidad de campo se encontraría alrededor de 6% de humedad mientras que para un suelo arcilloso sería más del 35%. (Figura 14) (Weil y Brady, 2017).

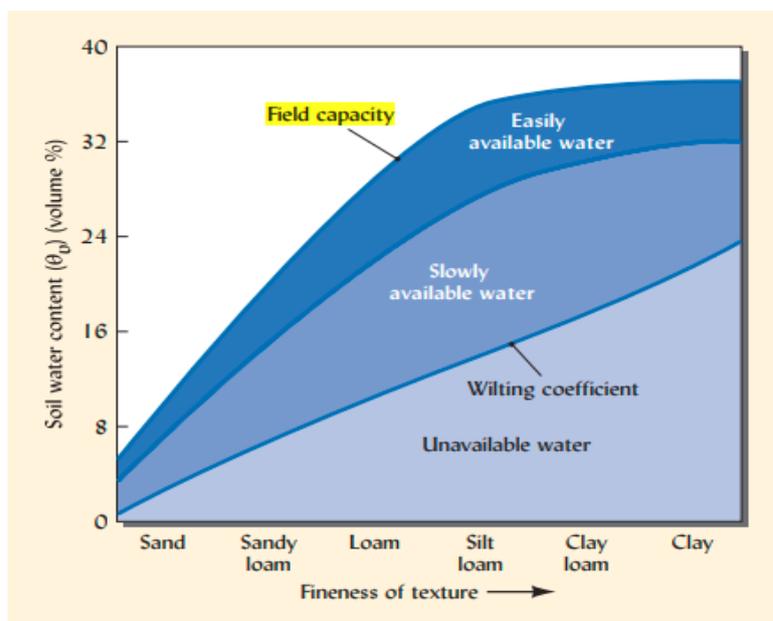


Figura 14: Relación entre la textura del suelo y el agua en el suelo (Weil y Brady, 2017).

El criterio de riego indica el porcentaje tolerable de disminución del agua fácilmente aprovechable del suelo para la planta, en sistemas de riego por goteo se consideran valores entre 0.3 a 0.5 dependiendo de la sensibilidad de los cultivos al estrés hídricos (Vidal, 2019), también al poder evaporante de la atmósfera, la escasez de agua y a la etapa fenológica (Angella *et al.*, 2016).

a) Determinación del contenido de agua en el suelo.

El procedimiento gravimétrico para determinar el peso del agua del suelo es muy usado, donde en base al diferencial de peso húmedo y seco en base al suelo seco, expresan un porcentaje que vendría a ser la retención de agua suelo (Weil y Brady, 2017), el cálculo es el siguiente:

$$\%HG = \frac{(PSH - PSS)}{PSS}$$

%HG= Porcentaje de humedad gravimétrica

PSH: Peso de suelo húmedo

PSS: Peso de suelo seco

Sin embargo, si se quiere obtener el contenido volumétrico de agua en el suelo, se tiene que tener el dato de densidad aparente del suelo y el cálculo sería:

$$\%HV = \%HG * Dap$$

%HV: Porcentaje de humedad volumétrica

%HG: Porcentaje de humedad gravimétrica

Dap: Densidad aparente

Para la determinación de capacidad de campo, es necesario saturar el suelo, luego de 18 a 72 horas dependiendo de la textura (mientras más pesado el suelo más tarda en llegar a CC) se toman las muestras a las profundidades de interés y se procede a pesar, obteniendo el peso de suelo húmedo, luego se envían esas muestras a la estufa para obtener el peso de suelo seco. El suelo debe estar cubierto para evitar pérdida por evaporación y no debe haber presencia de ninguna planta (García *et al.*, sf)

2.9.4. Tecnologías para monitoreo de humedad del suelo

a) Sondajes de neutrones

Es una sonda de dispersión de neutrones, que se instala a través de un tubo a profundidad en el suelo, tiene un detector de neutrones rápidos y lentos. Cuando los neutrones rápidos chocan los átomos de hidrógeno (parte de las moléculas de agua), los neutrones se ralentizan y dispersan. El número de neutrones lentos contados por el sensor corresponde al contenido de agua del suelo (Weil y Brady, 2017).

b) Sondajes TDR

Las sondas TDR (*Time Domain Reflectometry*) basan su medición a la constante dieléctrica del agua en función al tiempo de la onda. Consiste en un capacitor que consta de dos placas de un material conductor que poseen cierto voltaje. Cuando el material entre las placas es aire, el capacitor mide 1 (la constante dieléctrica del aire). La mayoría de los materiales del suelo, tales como la arena, arcilla y material orgánico poseen una constante dieléctrica de 2 a 4. El agua tiene la constante dieléctrica más alta, que es de 78. Por lo tanto, variaciones del contenido de agua del suelo hacen variar la constante dieléctrica del sistema agua-suelo. Así, a mayor contenido de humedad mayor constante que indirectamente permiten estimar el

contenido del agua en el suelo. Estos sensores poseen una curva de calibración para proporcionar sus lecturas en datos volumétricos a la profundidad a la que estén instalados (Vidal, 2019).

c) Sondas FDR

Las sondas FDR (*Frequency Domain Reflectometry*) basan su medición a la constante dieléctrica del agua en función a la frecuencia. Su funcionamiento es similar a las sondas TDR, sin embargo, presenta algunas ventajas como obtener el dato continuo de la humedad del suelo que permite disminuir los volúmenes de agua que se pierde por percolación pues estas sondas tienen sensores cada 10 centímetros que permiten tener datos a distintas profundidades y se obtiene el dato en porcentaje de humedad volumétrica (%HV) (Vidal, 2019).

d) Tensiómetros

Los tensiómetros miden la fuerza o tensión con la que el agua es retenida por las partículas del suelo, se expresa en bares o centibares (cb). Este equipo es un tubo de cerámica con el fondo poroso y con una tapa hermética. El flujo de funcionamiento radica en el potencial del agua en el suelo, como el agua se extrae por las plantas se genera un vacío debajo de la cápsula porosa que automáticamente es medido por un manómetro o un transductor electrónico, si se vuelve a regar, el agua reducirá el vacío cercano a la cápsula porosa reduciendo la tensión registrando un menor valor en el manómetro (Weil y Brady, 2017).

El rango de medición está entre 0 y 8.0 bares, con valores menores de potencial, suele reducirse la continuidad de la columna de agua por la formación de burbujas, y en ese caso no estaría dando un dato correcto (Angella *et al.*, 2016).

En la Tabla 11 se describen algunos métodos adicionales de medición de agua en el suelo, la forma de medida (contenido o potencial), los rangos en los que mide, el uso común y algunas consideraciones.

Tabla 11: Algunos métodos para medir el agua en el suelo

Método	Rango útil (kPa)	Medida del agua del suelo		Uso		Comentarios
		Contenido	Potencial	Campo	Laboratorio	
1. Gravimétrico	-10,000 a 0	x			x	Muestreo destructivo. Lento (1-2 días) a menos que se use estufa. Se requiere un permiso de uso de radiación.
2. Dispersión de neutrones	-1,500 a 0	x		x		Equipo costoso. No es preciso en suelos con alto contenido de materia orgánica. Puede ser automatizado.
3. Reflectometría en el dominio del tiempo (TDR)	-10,000 a 0	x		x	x	Precisión de +/- 1 a 2 % de contenido volumétrico de agua. Suelos muy arenosos, arcillosos o salinos necesitan una calibración especial. Instrumentación costosa. Puede ser automatizado.
4. Capacitancia	-1,500 a 0	x		x		Precisión de +/- 2 a 4 % de contenido volumétrico de agua. Suelos arenosos o salinos necesitan una calibración especial. Sensores e instrumentos poco costosos y sencillos de manejar. Puede ser automatizado.
5. Bloques de resistencia	-1,500 a -90		x	x		Pierde sensibilidad cerca de contenidos de humedad óptimos para las plantas. Puede ser automatizado. Precisión de +/- 0.1 a 1 kPa.
6. Tensiómetro	-85 a 0		x	x		Limitado rango de lectura. Barato, pero necesita mantenimiento periódico para añadir agua al tensiómetro.
7. Psicrómetro a termocupla	-10,000 a 50		x	x	x	Moderadamente caro. Precisión de +/- 50 kPa.
8. Aparato de membrana de presión	-10,000 a 50		x		x	Utilizado en el método gravimétrico para obtener la zona menos húmeda de la curva característica del agua.
9. Tabla de tensión	-50 a 0		x		x	Utilizado en el método gravimétrico para obtener la zona más húmeda de la curva característica del agua.

Fuente: Weil y Brady (2017).

2.10. Programación de riego

Para la programación del riego es importante hacer uso del coeficiente del cultivo (K_c), las características de retención de agua en el suelo y la evapotranspiración. Sin embargo, con el uso complementario de sondas de medición continua como FDR se puede mejorar la estrategia del riego logrando optimizar los volúmenes de agua que se pierden por percolación (Vidal, 2019).

El cuánto regar se determina conociendo la demanda de agua del cultivo, la cual depende de las condiciones climáticas y del estado de desarrollo del cultivo (Undurraga y Vargas, 2013). Sin embargo, con los procedimientos descritos de obtención de CC y agotamiento de la planta, se puede tener rangos que permitan tener una mejor estrategia de riego.

Los consumos de agua en arándano van de 7 000 a 8 000 $m^3 ha^{-1}$ por campaña en arándanos cultivados en Chile (Undurraga y Vargas, 2013), mientras que, en condiciones de La Libertad, el consumo promedio es de 10 000 a 12 000 $m^3 ha^{-1}$.

III. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL

La experiencia laboral es desarrollada en la provincia de Virú, región La Libertad. El predio tiene 110 ha de arándanos cv. Ventura. El fundo está dividido en dos módulos de 55 ha y a su vez estos están subdivididos en turnos de riego de 11 ha aproximadamente.

El cultivar Ventura pertenece a la casa comercial Fall Creek Nursey de Estados Unidos, fue creada en el 2013 por David Brazelton y Adam Wagner, tiene la patente US 2013/0239266 P1 que expirará en el 2032 (Ochoa, 2021). Desde el 2021 es considerado el cultivar más sembrado en el Perú (Proarándanos, 2021) y en la empresa cubre más del 70% del área total, llega a un rendimiento de 25 tn ha⁻¹ en su tercer año, es por eso que es considerada una planta con buena productividad y con buenas características organolépticas.

3.1. CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS

En Virú, La Libertad, el clima del 2021 fue cálido en verano, llegando a picos de 30.8 °C en marzo y templado en invierno con temperaturas máximas de 20.7 °C. De acuerdo al registro de la estación meteorológica *Davis*, ubicada dentro del fundo, las temperaturas máximas han ido decreciendo a lo largo de los 4 últimos años en 1 a 2 °C, el 2021 se tuvo un verano e invierno más fríos, repercutiendo directamente en la ETo semanal, disminuyendo en algunas semanas a la mitad respecto al año anterior. Lo mismo ocurrió con la HR, donde casi todo el año, la HR máxima estuvo en 99% respecto a años anterior que no superaba los 96%.

En general, el año 2021, tuvo muchas complicaciones debido a las bajas de T°, baja ETo y alta humedad relativa lo que conllevó a un reto para sacar adelante la producción.

Como se observa en la Tabla 12, el suelo presenta una textura arenosa. El pH ligeramente ácido debido a las aplicaciones de ácido sulfuroso durante todas las campañas para llegar a un pH de 6 en la solución fertirriego; sin embargo, es un pH donde todos los nutrientes podrían absorberse sin dificultad. La cantidad de materia orgánica es limitada, mostrando que se ha consumido en el transcurso de los tres años de instalado el cultivo, sin embargo se tienen aplicaciones mensuales de ácidos fúlvicos y húmicos para compensar esta baja

cantidad, sin embargo, las aplicaciones de materia orgánica sólida sería lo ideal, pero se dificulta debido a que la plantación se encuentra en surcos cubiertos por un cobertor y operativamente sería muy laborioso. La CIC es propia de un suelo arenoso. La CE (1:1) es baja, donde no se tiene problemas de salinidad en el suelo. Para los cálculos de fertilización, no se consideran aportes nutricionales del suelo, debido a que no se conoce las reacciones que puedan ocurrir con el plan de fertirriego y limite su absorción. El concepto de “asegurar” la nutrición es parte de la política de la empresa.

Tabla 12: Análisis físico químico de suelo en Virú – La Libertad en 2021

Parámetros	Unidad de medida	Resultado
Textura		Arenoso
Arena	%	92.5
Arcilla	%	2.5
Limo	%	5
Materia orgánica	%	0.38
PSI	%	0.39
pH (1:1)		5.3
C.E. (1:1)	dS m ⁻¹	0.48
P (disponible)	ppm	36.9
K (disponible)	ppm	76.22
CIC	meq 100g ⁻¹	2.76
Ca (cambiable)	meq 100g ⁻¹	1.82
Mg (cambiable)	meq 100g ⁻¹	0.4
K (cambiable)	meq 100g ⁻¹	0.13
Na (cambiable)	meq 100g ⁻¹	0.01
Al (cambiable)	meq 100g ⁻¹	< 0.01
H (cambiable)	meq 100g ⁻¹	0.4
Cu (cambiable)	ppm	0.2
B (cambiable)	ppm	0.2
Fe (cambiable)	ppm	32.6
Mn (cambiable)	ppm	5.4

3.2. CALIDAD DE AGUA DE RIEGO

El agua de riego proviene del proyecto Chavimochic. Se observa en la Tabla 13, que se trabaja con agua ligeramente alcalina, con una conductividad eléctrica baja ($< 0.6 \text{ dS m}^{-1}$) que permite utilizar diversas fuentes de fertilizantes. Existe un bajo riesgo de sodicidad por el bajo nivel del RAS. Los cloruros no se encuentran en niveles perjudiciales para las plantas de arándano, según Hirzel (2020) este valor no debe ser mayor a 1.5 meq L^{-1} .

El calcio y magnesio son los elementos que se toman en cuenta dentro de los planes nutricionales, contemplando un aporte del 90% de cada uno que se descuentan de la plantilla. Así mismo, los valores de boro son suficientes para el requerimiento como especie, al año se tiene 2.3 kg ha^{-1} y según la extracción el arándano necesita solo 0.56 kg ha^{-1} , es por eso que no se contempla este nutriente dentro del plan de fertilización, con solo el aporte del agua de riego no tenemos deficiencia a nivel foliar.

Tabla 13: Análisis físico químico de agua de riego en Virú – La Libertad en 2021

Parámetros	Unidad de medida	Resultado
pH		7.4
C.E.	dS m^{-1}	0.24
Bicarbonato	Meq L^{-1}	0.72
Cloruros	Meq L^{-1}	0.12
Sulfatos	Meq L^{-1}	1.15
Nitratos	mg L^{-1}	0.11
Calcio	Meq L^{-1}	1.61
Magnesio	Meq L^{-1}	0.4
Sodio	Meq L^{-1}	0.28
Potasio	Meq L^{-1}	0.04
Boro	mg L^{-1}	0.18
Hierro	mg L^{-1}	<0.01
Manganeso	mg L^{-1}	<0.01
Cobre	mg L^{-1}	0.002
Zinc	mg L^{-1}	0.004
Fósforo	mg L^{-1}	<0.01
RAS		0.32
Suma de aniones	Meq L^{-1}	1.99
Suma de cationes	Meq L^{-1}	1.94
Molibdeno	mg L^{-1}	<0.01

3.3. SISTEMA DE RIEGO E INYECCIÓN DE FERTILIZANTES

El campo agrícola tiene un sistema de riego por goteo. La mezcla de los fertilizantes se hace en tres tanques de 5 000 litros ubicados en un filtrado (Anexo 3); uno para NPK, otro para micronutrientes y el último para calcio y así evitar reacción entre ellos. Esta mezcla es inyectada mediante una mesa conocida como fertikit (Anexo 4) que tiene una vía para cada solución e ingresa al sistema en conjunto con el agua de riego.

Los nutrientes se aportan de manera proporcional (litros de solución madre por cada metro cúbico de agua), que es programado por un controlador de riego conocido como *Dream 2*. Desde el 2020, se implementó este tipo de fertirriego, debido a que antes se hacía uso del método cuantitativo usando unidades por hectárea.

El campo, cuenta con dos laterales por surco con caudal de 1.0 L/h. La capacidad de riego es de 24 m³ ha⁻¹ y como los turnos son de 10 ha, el promedio de caudal aplicado al campo es de 240 m³ turno⁻¹.

3.4. CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO Y FENOLOGÍA

El cultivar de arándano sembrado es “Ventura”, con marco de plantación de 2.5 m entre surcos y 0.6 m entre plantas, con calles de aplicación mecanizada de 4m, haciendo una densidad de 5 700 plantas ha⁻¹.

El cultivo necesita tener ventilación y que la fruta se encuentre expuesta hacia la luz. Durante la poda, que se realiza en los meses de diciembre y enero, se elimina material vegetal senescente, cañas muy viejas para ir renovando la planta, además se eliminan cañas delgadas que no logran tener un buen rendimiento.

Luego se realizan labores de despunte o *tipping* que ayuda a romper la dominancia apical de los brotes y llegar así a tener mayor cantidad de brotes productivos y regular el tamaño de la planta a que no supere 1.2 metros de altura. Esta actividad se realiza los primeros días de febrero, cuando el brote producto de la poda se encuentra a 25 centímetros de longitud. A partir del brote despuntado, 10 días después sale el brote de segundo flujo que crece durante 5 semanas y luego sale el brote del tercer flujo que crece durante 4 semanas y es donde se genera la producción del año.

“Ventura” es un cultivar que logra su producción en el tercer flujo de brotamiento, iniciando así la fase de inducción floral y floración, que generalmente se presenta en las últimas semanas de abril o primeras semanas de mayo, donde son los puntos críticos de manejo agronómico, cambios nutricionales, aplicaciones preventivas de enfermedades, logística de cosecha, etc.

Aproximadamente 10 semanas después del inicio de floración comienza la cosecha, en el mes de julio, con una curva creciente de producción hasta lograr el pico entre agosto y setiembre, concentrando hasta esos meses más del 60% de la producción anual.

Para los meses de noviembre y diciembre se tiene mayor cuidado con la producción, debido a que se ingresa al último tercio de cosecha que indica una baja en la calidad de la fruta (fruta sensible y menor calibre), debido a que la planta tuvo un desgaste durante los 04 meses anteriores (la cosecha se inicia en julio). Es ahí donde se pone más cuidado con el manejo nutricional (sobre todo el uso de nitrógeno que aumenta la sensibilidad de la fruta) y de estimulación mediante el uso de aminoácidos y algas que mitigan el estrés de la planta, y así mantener la calidad de la fruta o su defecto, no disminuya de una forma abrupta.

En la Figura N° 15, se puede ver la fenología del arándano cv. Ventura en condiciones de La Libertad, donde se ha agrupado en 4 fases; desarrollo vegetativo, inducción floral, floración y cosecha. Además de la ilustración de los flujos y actividades que se realizan durante el desarrollo del cultivo.

La fase de desarrollo vegetativo comprende los meses de enero, febrero y marzo donde la planta genera su estructura mediante los flujos de crecimiento. En abril, cuando ya se logra el tercer flujo es donde se efectúa la inducción floral que dura dos semanas, luego se pasa a la fase de floración que dura hasta el término del año, pero su mayor concentración es hasta el mes de junio. En esta fase es importante la implementación de abejas, donde se consideran de 6 a 8 colmenas por hectárea para asegurar el calibre de la fruta.

Luego continúa la fase de cosecha, que dura 6 meses, desde julio hasta diciembre. Sin embargo, se tiene una curva de producción que responde a una curva creciente de julio a agosto, en setiembre se tiene los mayores volúmenes de fruta y desde octubre hasta diciembre se tiene una curva decreciente. Se llega a cosechar hasta la quincena de diciembre que marca el nuevo inicio de los campos mediante la poda para la producción de la siguiente campaña.

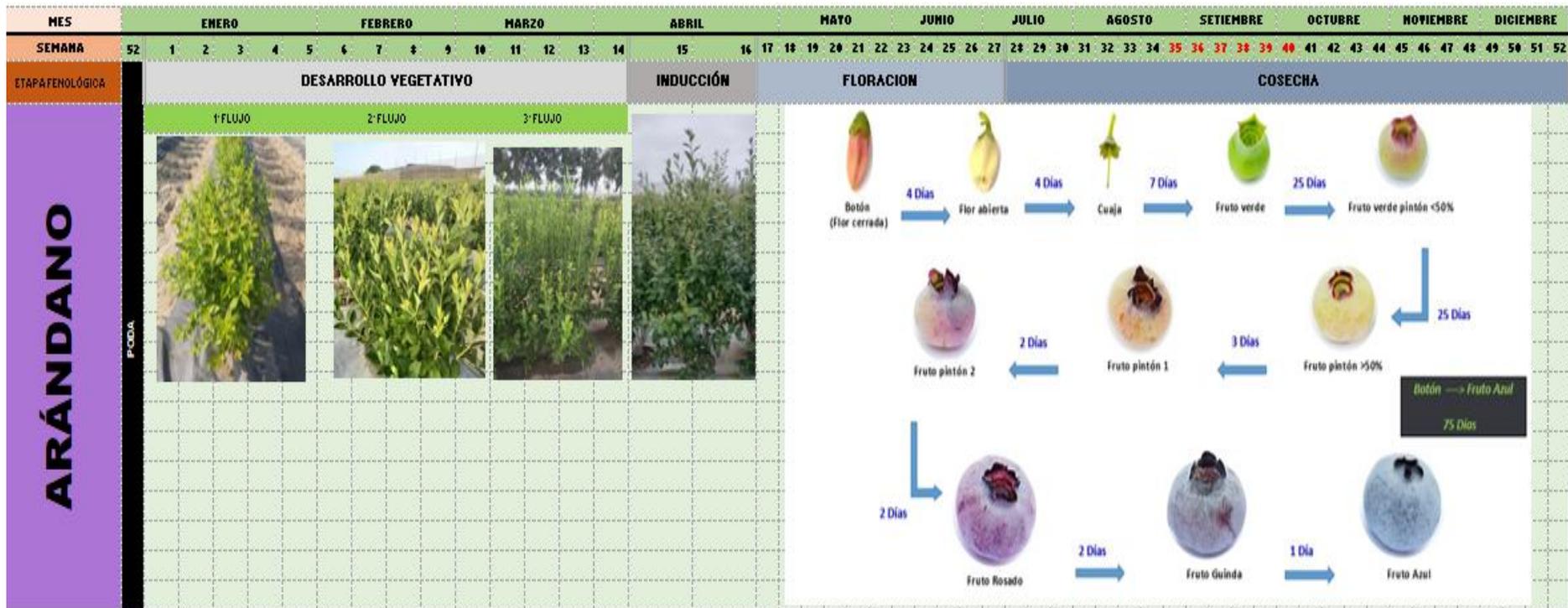


Figura 15: Fenología del arándano y maduración de la fruta de cultivar Ventura en Virú – La Libertad

3.5. FERTILIZACIÓN

El año 2019 se manejaba una fertilización cuantitativa, donde se priorizaba el concepto de unidades por semana por hectárea, independiente de la lámina de riego a aplicar. Se observaron algunas desventajas dentro de ellas la CE (dS m^{-1}) en la solución fertirriego (SFR) y al analizar los resultados de las sondas, se tenía mucha pérdida en las sondas de 45 cm mostrando valores sobre 1.5 dS m^{-1} de CE en esa profundidad, además, provocaba algunos inconvenientes al momento de preparar las soluciones madre, porque en láminas pequeñas los volúmenes de solución madre eran bajos y ocasionaba precipitación de algunos fertilizantes como el sulfato de potasio.

Las Figuras 16 y 17 muestran la tendencia de conductividades eléctrica en SFR (CE – SFR), sonda de 15 centímetro de profundidad (CE – 15 CM), sonda de 30 centímetros de profundidad (CE – 30 CM), sonda de 45 centímetros de profundidad y agua de riego (CE – AR). Además, se considera un rango inferior de 1.0 dS m^{-1} (CE MIN) y un rango superior de 1.5 dS m^{-1} (CE MAX) que se consideran dentro de los parámetros óptimos para el cultivo.

La Figura 16 muestra la tendencia de CE del año 2019, donde se tenía valores elevados de CE en las sondas de 45 cm y valores bajos en la sonda de 15 cm, mostrando una pérdida de agua y fertilizante, debido a que las raíces llegan solo a profundidades de 30 cm.

Por otro lado, luego de la implementación de la fertilización proporcional, se ve un mejor comportamiento de la CE, mostrando que los datos de conductividad eléctrica de las tres profundidades de sondas se encuentran dentro del rango establecido para el cultivo, además que no se ve una pérdida de fertilizantes porque la CE a 45 centímetros se encuentra similar a las demás profundidades, mostrando la eficiencia en la zona radicular (Figura 17). Este tipo de fertilización se sigue ejecutando hasta la actualidad debido a la buena respuesta del cultivo.

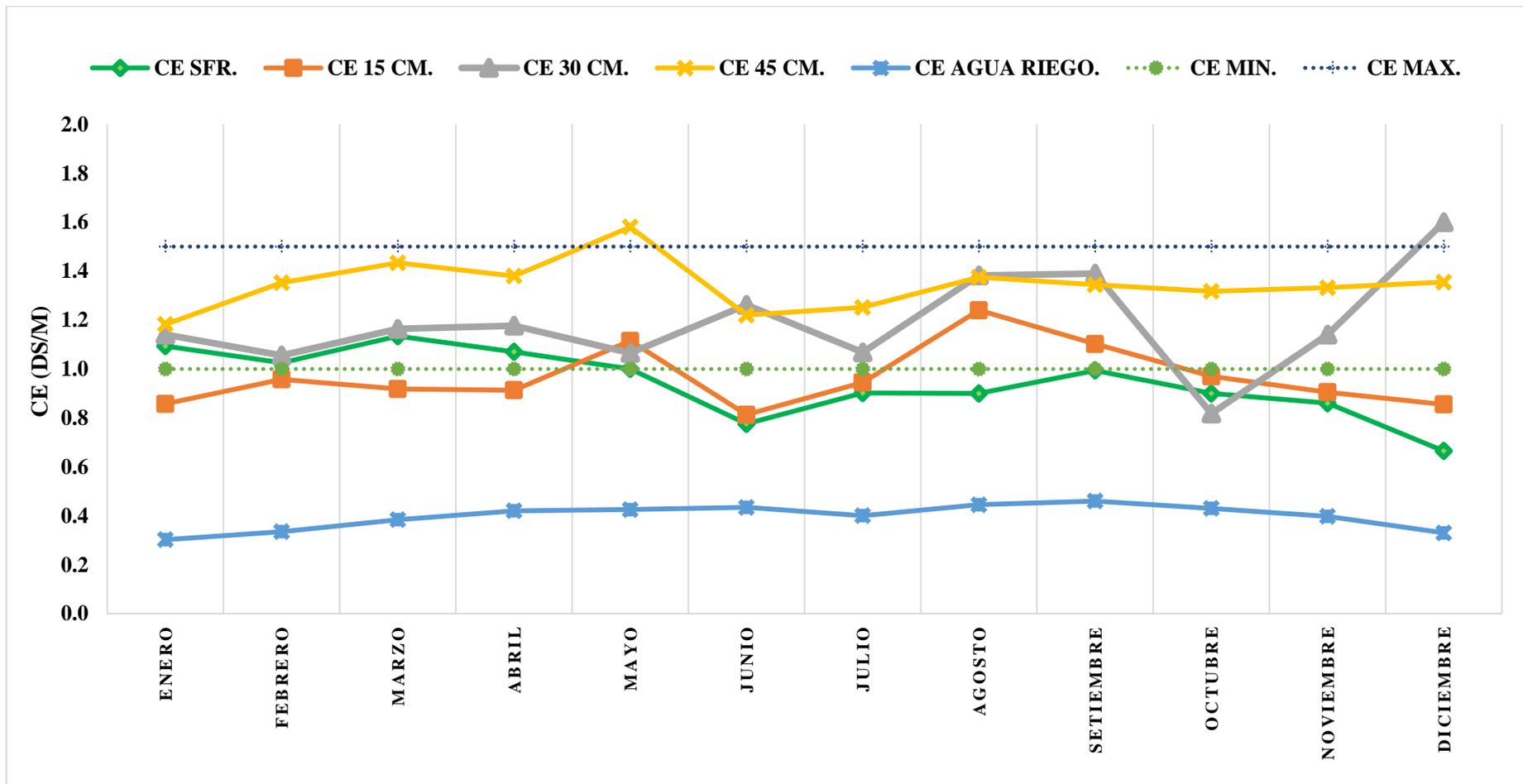


Figura 16: Tendencia de CE en SFR y sondas de succión en el año 2019 en Virú – La Libertad

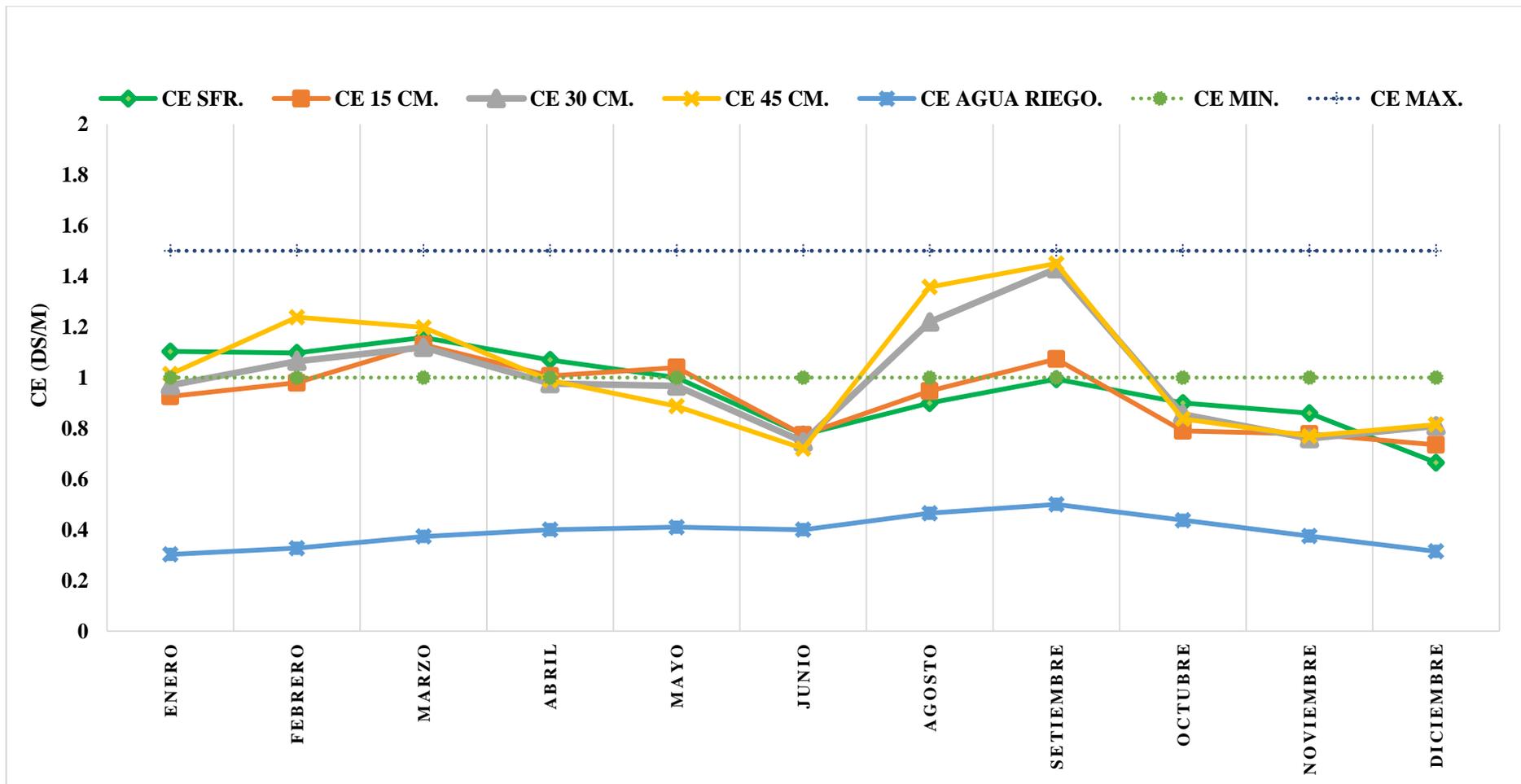


Figura 17: Tendencia de CE en SFR y sondas de succión en el año 2020 en Virú – La Libertad

Es así que desde el 2020 se cambió a una fertilización proporcional, donde se manejan equilibrios iónicos por cada fase fenológica. Se notó una mejora en la distribución de los nutrientes en el perfil del suelo, además de una mejora en la calidad de fruta traducida en bajo porcentaje de reclamos.

Para la elaboración del plan nutricional, en base a la curva de extracción realizada en el año 2018, se pudo obtener las necesidades de nutrientes de un campo de “Ventura” con rendimiento de 18.8 t ha⁻¹. Logrando así obtener las bases para establecer las cantidades de fertilizantes a utilizar en campos de distintos rendimientos durante la campaña (Tabla 14).

De esta curva de extracción se pudo concluir:

- Para un rendimiento de 18.82 t ha⁻¹ de frutos de arándanos, los valores de macro nutrientes que se extraen son: 166.77 kg N ha⁻¹, 20.65 kg P ha⁻¹, 61.52 kg K ha⁻¹, 54.31 kg Ca ha⁻¹, 14.21 kg Mg ha⁻¹, 22.35 Kg S ha⁻¹.
- De lo anterior se puede deducir que para un rendimiento de 1 t ha⁻¹ de frutos de arándano se extrae: 8.86 kg N ha⁻¹, 1.10 kg P ha⁻¹, 3.27 kg K ha⁻¹, 2.89 kg Ca ha⁻¹, 0.76 kg Mg ha⁻¹, 1.19 Kg S ha⁻¹.
- De los macro nutrientes estudiados, el que se exportan en mayor proporción con la cosecha es el potasio.
- Para un rendimiento de 18.82 t/ha de frutos de arándanos cv. Ventura, los valores de micro nutrientes que se extraen son: 3.56 Kg Fe ha⁻¹, 2.96 Kg Mn ha⁻¹, 1.05 Kg Zn ha⁻¹, 0.10 Kg Cu ha⁻¹, 0.56 Kg B ha⁻¹, 0.01 Kg Mo ha⁻¹.
- De lo anterior se puede deducir que para un rendimiento de 1 t ha⁻¹ de frutos de arándano se extrae: 0.19 Kg Fe ha⁻¹, 0.16 Kg Mn ha⁻¹, 0.01 Kg Zn ha⁻¹, 0.03 Kg B ha⁻¹.
- De los microelementos estudiados, los que se exportan en mayor proporción con la cosecha son el hierro, cobre y boro.

Para la demanda total de nutrientes de un campo de 25 tn ha⁻¹, se realiza una multiplicación de la extracción de 1 tn ha⁻¹ por el rendimiento esperado. Además, para encontrar la demanda total de la fuente de los fertilizantes, que nos sirve para elaboración de necesidades y presupuestos, se utiliza el factor según peso molecular para pasar de elemento a molécula (Anexo 5).

La demanda total está calculada en base a la eficiencia del fertilizante y a la eficiencia del sistema de riego, dividiendo la demanda total fuente entre ambas eficiencias como se puede ver en la siguiente fórmula:

$$Demanda\ total = \frac{Demandano\ total\ fuente}{Eficiencia\ fertilizante \times eficiencia\ sistema\ de\ riego}$$

Tabla 14: Demanda de nutrientes del cultivo arándano cv. Ventura para un rendimiento de 25 t ha⁻¹ en Virú – La Libertad

Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Mn	B	Fe
Demanda frutos (kg/t)	8.86	1.10	3.27	2.89	0.76	0.01	0.16	0.03	0.19
Demanda total nutriente (kg/25t)	221.53	27.43	81.75	72.14	18.88	0.13	3.93	0.74	4.73
Demanda Total fuente	222 kg N/ha	63 kg P ₂ O ₅ /ha	99 kg K ₂ O/ha	101 kg CaO/ha	31 kg MgO/ha	0.13 kg Zn/ha	3.93 kg Mn/ha	0.74 kg B/ha	4.73 kg Fe/ha
Eficiencia del fertilizante	67%	50%	50%	80%	80%	10%	60%	50%	80%
Eficiencia del sistema de riego	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Demanda total	367 kg N/ha	140 kg P ₂ O ₅ /ha	219 kg K ₂ O/ha	140 kg CaO/ha	43 kg MgO/ha	1.48 kg Zn/ha	7.28 kg Mn/ha	1.65 kg B/ha	6.57 kg Fe/ha

Fuente: Castillo (2018).

Si bien es cierto, estas cantidades son referenciales, pues sustentan la extracción total durante la campaña, sin embargo, el plan nutricional en meq L⁻¹, tiende a ocupar un poco más de las cantidades descritas, debido a que el requerimiento hídrico de la planta no es siempre el mismo.

Tanto el año 2020 como el 2021, se han manejado cinco tipos de fertilizaciones propuestos por Ochoa (2020) ver (Tabla 15):

- Fertilización vegetativa. Donde el aporte mayoritario es por el nitrógeno en forma amoniacal. Este tipo de fertilización se ejecuta durante el desarrollo vegetativo.
- Fertilización compensada. Esta fertilización tiene una relación igualitaria entre el nitrógeno total y el potasio, generalmente se usa durante la floración.
- Fertilización generativa. Este tipo de fertilización se ejecuta durante la cosecha, tiene mayores aportes de potasio dentro de su formulación, condicionando a tener un mejor rendimiento.
- Fertilización súper generativa. Conocida como fertilización cero nitrógenos, donde se baja el nitrógeno a cero durante la etapa de inducción floral y se aumenta las cantidades de potasio con el fin de generar un ligero estrés y la planta se frene de crecimiento vegetativo e ingrese a la fase de floración y luego producción.
- Fertilización aserrada. Es la mezcla en la fertilización compensada y generativa para lograr que la planta no envejezca y se debilite, generalmente se aplica en el segundo y tercer tercio de cosecha.

Tabla 15: Tipos de fertilización usados en el cultivo de arándano cv. Ventura en La Libertad

DOSIS (meq L⁻¹)	Vegetativa	Súper generativa	Compensada	Generativa
Nitrógeno (N - NH ₄ ⁺)	4.50	0.00	0.00	0.00
Nitrógeno (N -NO ₃ ⁻)	1.50	0.00	4.00	1.50
Fósforo (H ₂ PO ₄ ⁻)	0.43	0.43	0.43	0.43
Potasio (K ⁺)	1.06	4.25	4.00	4.00
Calcio (Ca ⁺²)	2.20	1.76	2.20	2.20
Magnesio (Mg ⁺²)	1.10	1.10	1.10	1.10

Fuente: Ochoa (2020).

Este tipo de fertilización ha permitido lograr buena productividad y calidad de fruta, el año 2020 y 2021 llegando a tener un rendimiento promedio de 25 toneladas por hectárea. Sin embargo, para el 2022, se ha considerado realizar un ensayo con 3.5 meq L⁻¹ de potasio en la fertilización compensada y generativa, debido a que con 4.0 meq L⁻¹ se llega a utilizar más

de 400 kg de K₂O por hectárea y el objetivo es bajarlo a 350 kg de K₂O que se acerca más a la extracción de este nutriente.

3.6. DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL

Desde el año 2017 se tienen puntos de monitoreo nutricional de hojas, sondas, SFR y frutos que han permitido tener nuestros rangos foliares propios para “Ventura” y bajo las condiciones de Virú, La Libertad, estos rangos han sido determinados por los campos que obtuvieron mejor calidad y rendimiento. Es así que desde el 2021 se hace uso de la información generada para hacer las respectivas correcciones nutricionales.

Los rangos usados en las Figuras 18, 19, 20, 21 y 22 están descritos como RI (rango inferior) de color verde y RS (rango superior) de color negro, la letra que acompaña a cada rango (N, P, K, Ca, Mg) hace referencia al símbolo de los elementos: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio respectivamente. Es así que, N – RI se refiere al rango inferior de nitrógeno y N – RS, al rango superior de nitrógeno. El dato del análisis foliar correspondiente al año 2021 es la línea de color amarillo y se hace referencia mediante el símbolo del elemento (N, P, K, Ca, Mg). Además, cada leyenda tiene el año en el cual se ha tomado los análisis, para este caso el 2021 y el tipo de análisis descrito, en las Figuras es foliar.

Los datos descritos corresponden a campos de Ventura de cuarta campaña, donde el muestreo 3 refleja una baja de casi todos los nutrientes, que corresponde al mes de marzo, donde la planta está a su máxima demanda; sin embargo, con su propio metabolismo y nutrición vegetativa logra recuperar sus niveles.

En las Figura 18 y 19, se puede observar una clara disminución del nitrógeno y fósforo a medida que avanza la campaña, esto se debe a que aproximadamente del 60 al 65% del nitrógeno total, se aporta en la etapa de crecimiento vegetativo y además se hace un cambio de fuente a usar solo nitrógeno como nitrato durante la floración y cosecha provocando que los niveles de N foliar se vean mermados. Por su lado el fósforo, si bien se hace una aplicación constante con concentraciones lineales durante toda la campaña, su comportamiento puede responder a los flujos radicales que son muy pocos durante la cosecha.

En el caso del calcio, magnesio y potasio (Figuras 20, 21 y 22) logran un aumento con el transcurso de la fenología. Para calcio y magnesio, según Hirzel (2014), ese es un

comportamiento normal de cualquier especie frutal pues a medida que la planta va madurando sus tejidos el calcio estructural será mayor. Así mismo, en el potasio, lo normal es que disminuya con el avance de la campaña, sin embargo, en las condiciones de Virú, La Libertad tiene otro comportamiento esto puede deberse a que como se suspende la aplicación de amonio (NH_4^+), genera mejor absorción de este nutriente debido a que se reduce su competencia, además de que, por la gran cantidad de fruta, este nutriente juega un rol importante en la translocación de fotosintatos y azúcares a la fruta mejorando su sabor.

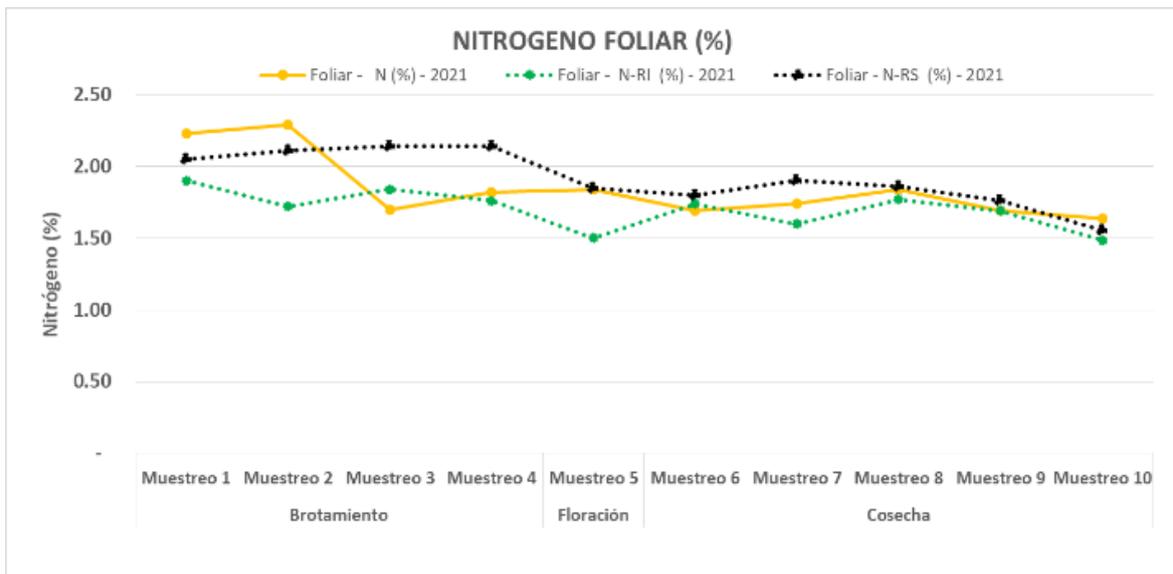


Figura 18: Rango foliares de nitrógeno en cv Ventura en Virú – La Libertad

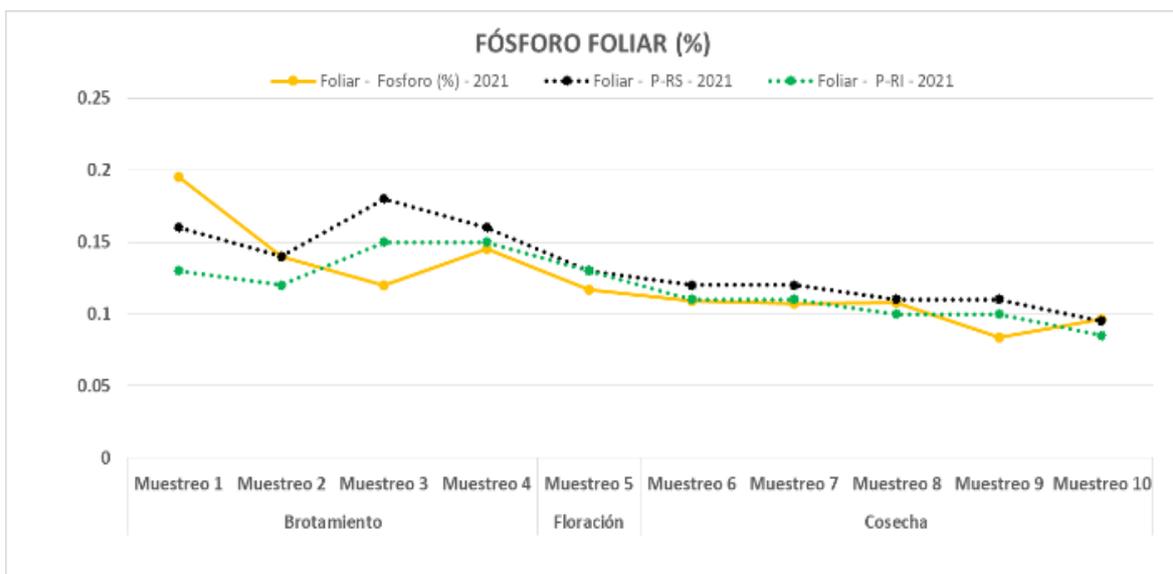


Figura 19: Rango foliares de fósforo en cv. Ventura en Virú – La Libertad

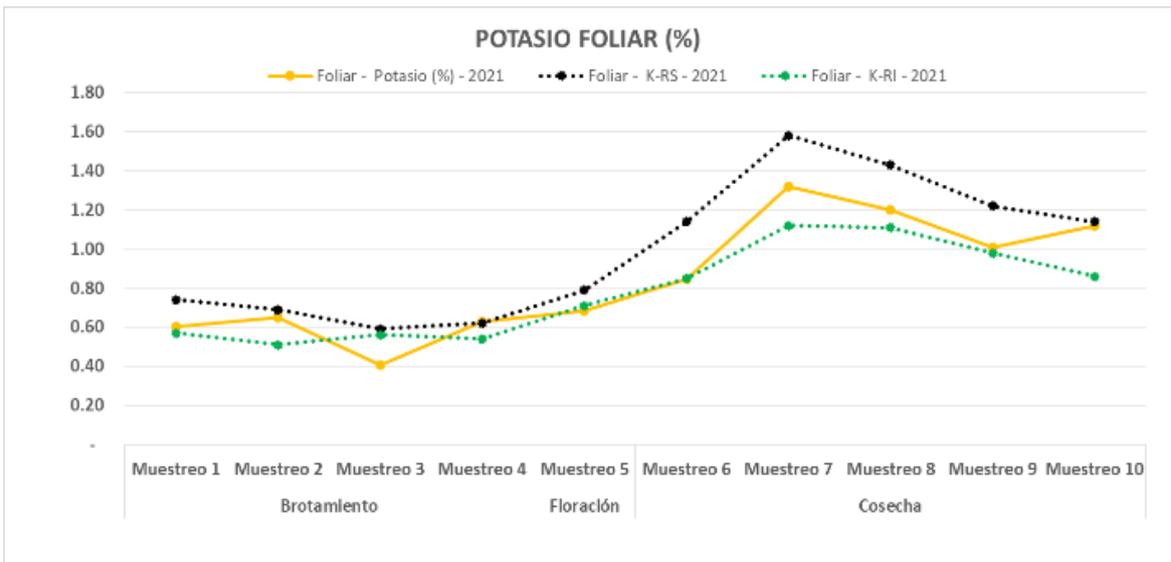


Figura 20: Rango foliares de potasio en cv. Ventura en Virú – La Libertad

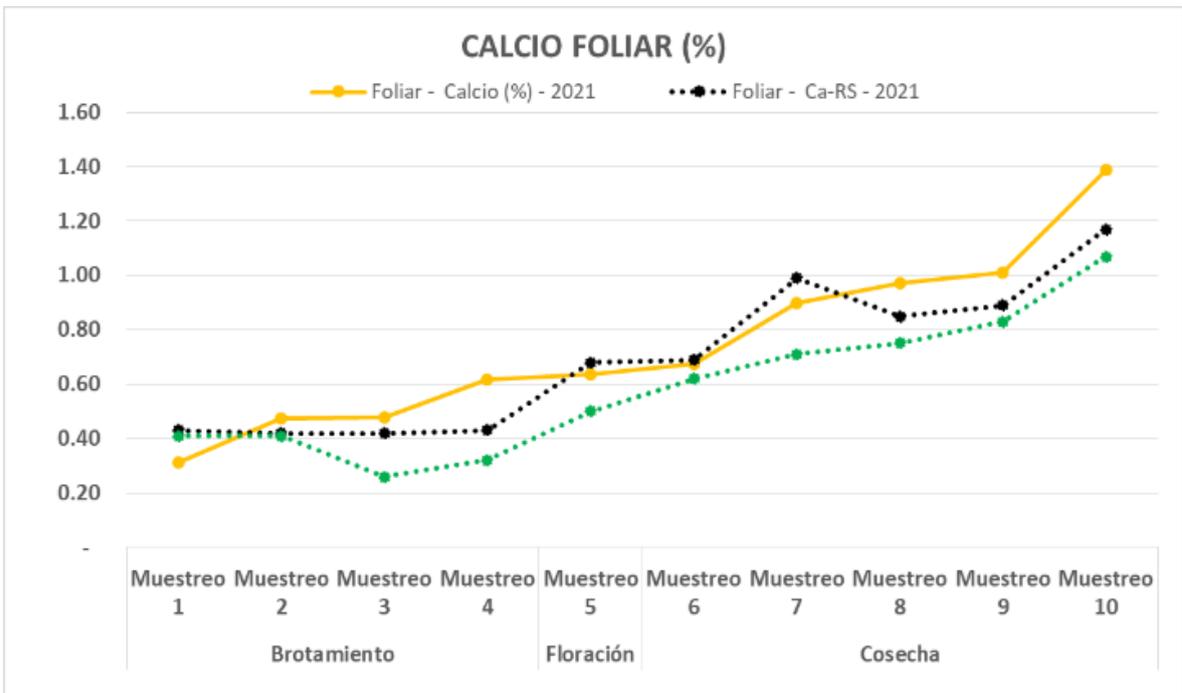


Figura 21: Rango foliares de calcio en cv. Ventura en Virú – La Libertad

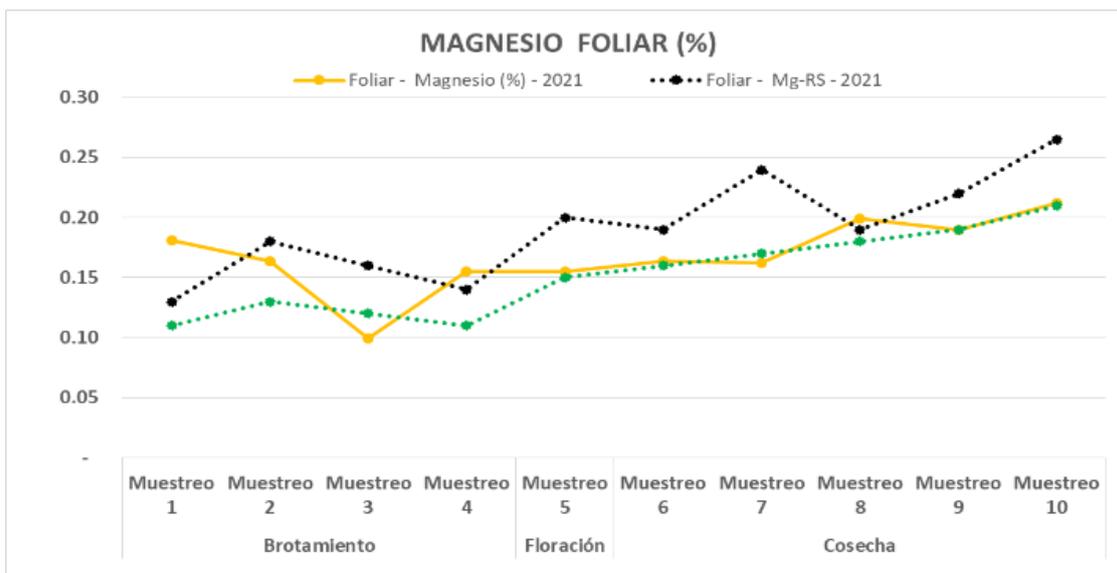


Figura 22: Rango foliares de magnesio en cv. Ventura en Virú – La Libertad

3.7. RIEGO

En el cultivo se maneja el concepto de lámina fija y frecuencia variable, que según Vidal (2019), es una técnica de riego óptima para suelos arenosos y sustratos. Logrando en cada riego llegar a la misma profundidad y así tener humedad aprovechable en la zona radicular. En el anexo 6 podemos apreciar la profundidad radicular de arándano “Ventura”.

Además, se tienen instaladas en el campo sondas de capacitancia FDR (*Frequency Domain Reflectometry*) que basan su medición a la constante dieléctrica del agua en función a la frecuencia. Esta sonda antes de instalarse es calibrada por el técnico que brinda el servicio. El complemento es un *datalogger* que es un equipo que permite almacenar los datos obtenidos por la sonda en un aplicativo móvil, donde de manera virtual se puede visualizar los datos de la humedad del suelo expresado en porcentaje de humedad volumétrica (%HV).

La sonda presenta sensores cada 10 centímetros, que permiten monitorear la humedad del suelo cada diez centímetros hasta la profundidad de 60 cm. Estos equipos actualizan la información cada hora y brindan datos de humedad volumétrica contenida en el suelo. Sin embargo, es necesario colocar los umbrales de riego para que se le dé buen uso a esta tecnología.

Es por eso que se realizaron las pruebas de capacidad de campo de acuerdo al procedimiento propuesto por García *et al.*, (s.f.) donde se debe saturar el suelo, cubrir la superficie y esperar un lapso de tiempo (18 a 72 horas) para hacer el muestreo. Sin embargo, se hicieron validaciones con diversos tiempos post saturación encontrando mucha variabilidad en los

datos, es así que a esta prueba se le implementó un tensiómetro analógico que muestra la tensión del suelo en centibares. Se concluyó que cuando la tensión se mantenga en un mismo valor por un lapso de tiempo prolongado (de 4 a 6 h) en ese momento el suelo ha alcanzado la capacidad de campo. Para los suelos del fundo con textura arenosa, el valor es de 6.5 centibares y Weil y Brady (2017) mencionan que para un suelo franco es 10 kPa = 10 cb. Con ello se puede decir que para un suelo arenoso la CC es menor que un suelo franco medida con un tensiómetro.

Luego, del cálculo de capacidad de campo descrito por Weil y Brady (2017), se ha encontrado los porcentajes de capacidad de campo para nuestros suelos (Tabla 16), donde se ha determinado que los porcentajes de humedad volumétrica para que el suelo se encuentre a capacidad de campo sea 10.85% HV y el criterio de reposición de riego (CR)= 6.51% que son el promedio de las profundidades de 10 y 20 cm, es decir, se ejecuta el riego antes de que el suelo llegue a ese nivel de humedad y no generar estrés hídrico. Se han tomado estos valores como referencia de riego, porque es donde se concentra el mayor volumen radicular.

Se ha considerado el agotamiento de cultivo de 0.4 comprobado en el campo. De esta manera, el agua aprovechable por la planta está entre esos niveles.

Tabla 16: Cálculo de % de humedad volumétrica a capacidad de campo para suelo arenoso en Virú – La Libertad

Profundidad del suelo (cm)	PSH (g)	PSS (g)	CC(%HG)	Dap	CC(%HV)	CR(%HV) - F=0.4
10	495	454	9%	1.31	11.8%	7.1%
20	475	441	8%	1.28	9.9%	5.9%
30	528	493	7%	1.44	10.2%	6.1%
40	508	478	6%	1.39	8.7%	5.2%
50	522	476	10%	1.50	14.5%	8.7%
60	489	446	10%	1.30	12.6%	7.5%

PSH: Peso de suelo húmedo

PSS: Peso de suelo seco

CC (%HG): Capacidad de campo medida en porcentaje de humedad gravimétrica

Dap: Densidad aparente

CC (%HV): Capacidad de campo medida en porcentaje de humedad volumétrica

CR: Criterio de reposición de riego

F: Factor de agotamiento del cultivo: 0.4

Al tener estos rangos ya establecidos en los suelos con las mismas características, nos ha permitido monitorear los riegos a lo largo de la campaña 2021 hasta la actualidad con las sondas FDR instaladas.

Esta información se puede encontrar en una plataforma virtual como se puede observar en la Figura 23. La información que brinda es porcentaje de humedad volumétrica (VWC %) a distintas profundidades (10 cm=EAG 1; 20 cm=EAG 2, 30 cm=EAG 3, 40 cm=EAG 4, 50 cm=EAG 5 y 60 cm=EAG 6) a lo largo del día, mostrando datos cada hora, día o mes. La franja verde hace referencia al agua fácilmente aprovechable por planta, por debajo se encuentra la zona roja, que indica que la planta entra a un cuadro de estrés por baja cantidad de agua; mientras que la zona celeste muestra la saturación del suelo, lapsos largos en saturación también condicionarían a estrés por anoxia radicular.

Este suelo, se mantiene el concepto de láminas fijas de 15 m³ en cada pulso de riego. Además, en el gráfico se puede apreciar la alta infiltración en ese suelo, debido a que el pico de saturación no dura mucho tiempo y automáticamente disminuye, si bien se tiene percolación profunda a niveles de 50 cm pero se atribuye a una capa de compactación validada en campo y se corrobora con el dato de %HV menor a 7 a profundidad de 60 cm.

Para el cálculo de la lámina fija, no se utilizaron datos climáticos como la ETo y Kc del cultivo, sino que se han establecido en base a la profundidad de raíces, eficiencia de la automatización y presurización del sistema de riego, calicatas y respuesta de la planta. Se hicieron validación con láminas fijas de 10, 15, 20 y 25 m³ ha⁻¹ donde con láminas de 10 m³ los tiempos de riego resultaban muy cortos y con los tiempos de presurización del sistema habían lotes que no se regaban de acuerdo a lo programado, por otro lado, con lámina de 20 y 25 m³ ha⁻¹ se tenían pérdidas de agua y fertilizante pues se veía que el riego llegaba a profundidades de 60 cm y es donde no se tiene alcance de raíces. Con láminas de 15 m³ ha⁻¹ se ha visto una buena respuesta de la planta, expresado en un buen desarrollo vegetativo.

Aún no se tiene un ahorro de agua mediante la implementación de esta tecnología, debido a que fue colocado a mitad de la campaña pasada. Sin embargo, durante la campaña 2022, se persigue el objetivo de optimizar el recurso hídrico en al menos 3% e incluir datos meteorológicos y Kc a nuestro cálculo de lámina de riego y las sondas de húmedas sean el sustento de dicho cálculo.

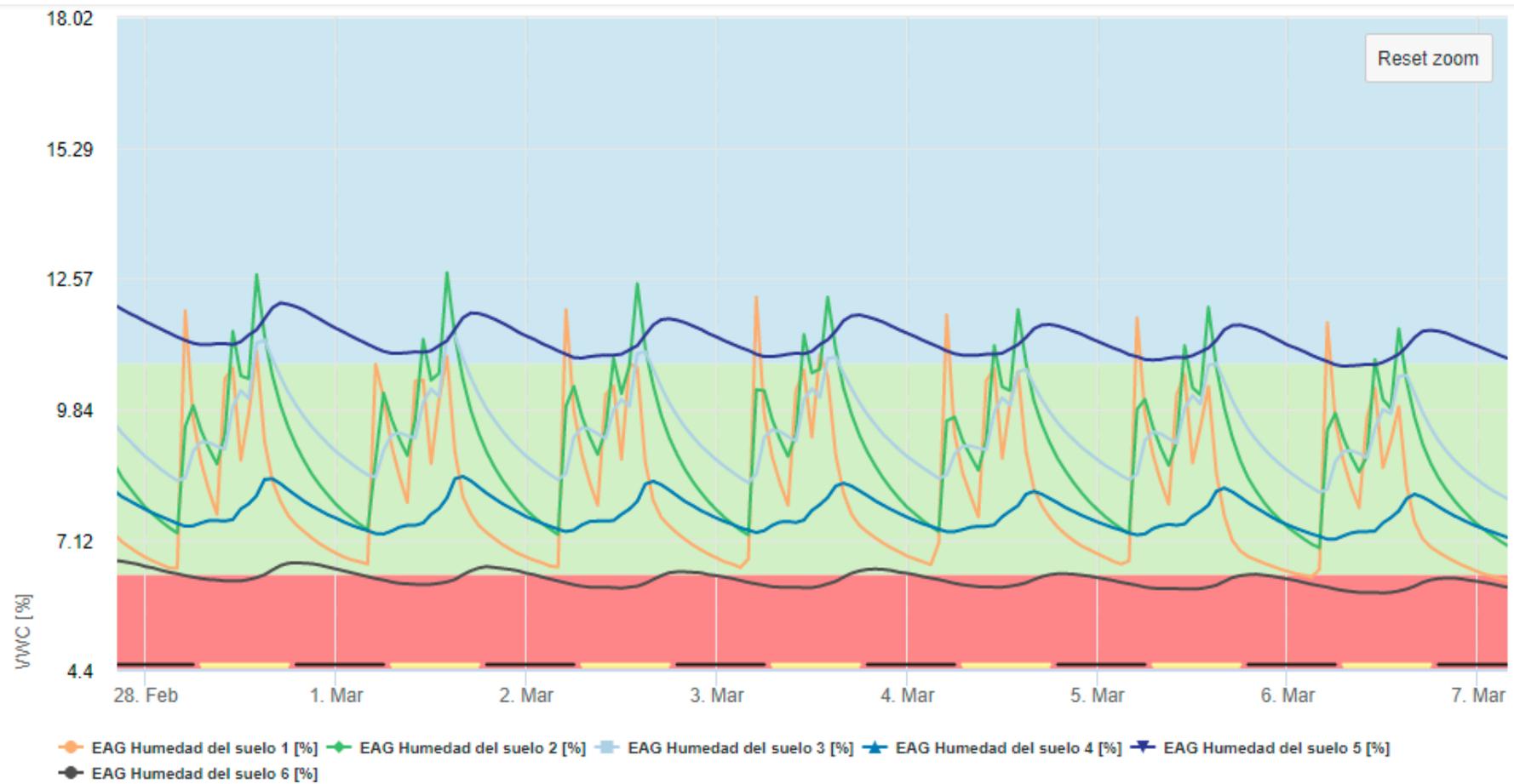


Figura 23: Comportamiento del % de humedad volumétrica en suelo arenoso medido a diferentes profundidades en Virú – La Libertad

IV. CONCLUSIONES

- El uso de nuevas tecnologías para el monitoreo de los riegos como las sondas de capacitancia FDR son de vital importancia en cultivos de agroexportación, porque de esa manera se pueden definir criterios de riego donde se pueda optimizar el uso del agua y fertilizantes de la mano con el rendimiento.
- El monitoreo nutricional resulta ser la herramienta que permite analizar de manera conjunta la fertilización y el riego. Con ello garantizar la buena o mala respuesta de la planta al manejo agronómico y poder hacer ajustes inmediatos si lo requiere.

V. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar plataformas donde se pueda integrar todos los datos de riego y nutrición para realizar diagnósticos más completos.
- Se debería incluir el uso de teledetección (NDVI) para cálculos de K_c y relacionar con el porcentaje de humedad volumétrica y tener láminas calculadas en base a la ETo y K_c .
- Se podría implementar una curva de extracción para campos avanzados de cuarta o quinta campaña, para estimar mejor la necesidad total de nutrientes de las plantas de arándano.

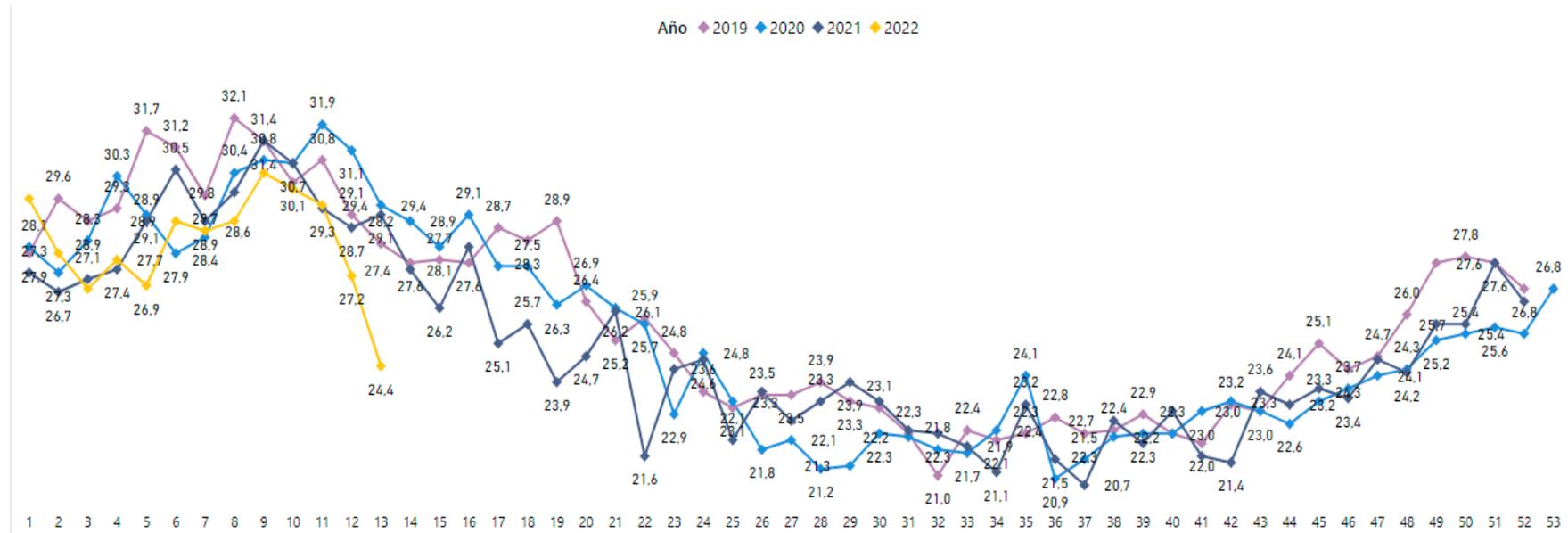
VI. BIBLIOGRAFÍA

- Angella, G., Frías, C., y Salgado, R. (2016). *Conceptos básicos de las relaciones Agua - Suelo - Planta* (INTA Ediciones, Ed.).
- Castillo, H. (2018). *Curva de absorción y extracción de nutrientes en arándano variedad Ventura en Chavimochic*.
- García; Juan, García, G., y Ciordia, M. (2018). *El cultivo del arándano en el norte de España* (Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario, Ed.).
- García P, Puppo L, Hayashi R y Morales P. (s.f). *Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo*. Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas. Montevideo, Uruguay.
- Hirzel, J. (2014). *Diagnóstico nutricional de frutales y vides* (2da ed.). Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Kafkafi, U., y Tarchitzky, J. (2012). *Fertirrigación. Una herramienta para una eficiente fertilización y manejo de agua* (1st ed.). Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes.
- Maticorena, M. (2017). *Cinco tipos de poda en arándanos (Vaccinium corymbosum L. cv. Biloxi) y su influencia en determinados parámetros productivos* [Tesis para optar el título de ingeniero agrónomo, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Repositorio institucional UNALM.
- <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/1/discover?query=ARANDANO&submit=>
- Núñez, G. (2022). Raíces como base para la nutrición del arándano. *XIX Seminario Internacional Blueberries 2022*.
- Ochoa, S. (2021). Fisiología del Arándano. Fenología y características de especie. *Segundo Curso Internacional de Arándano*.
- Proarándanos, (2021). *Reportes de exportación*. Consultado el 16 de abril del 2022. Disponible en:
<https://greenboard.agapperu.org/index.php/apps/files/?dir=/&fileid=1306>

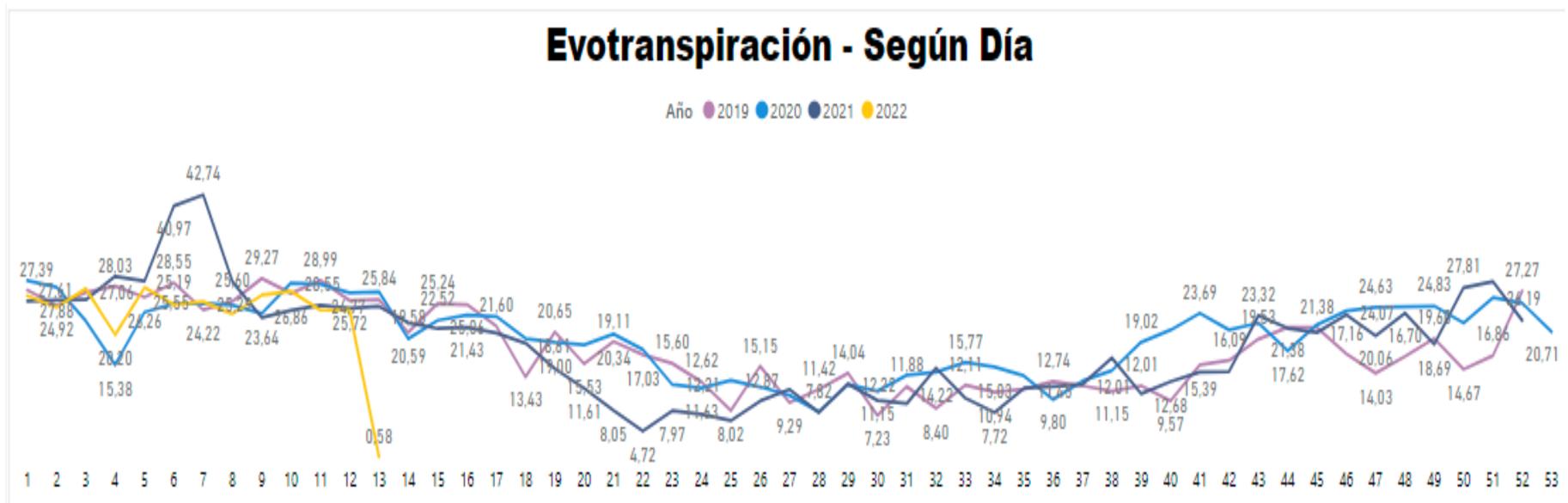
- Retamales, J. (2022). Estrategias para optimizar el calcio en frutos de arándano. *XIX Seminario Internacional Blueberries 2022*.
- Retamales, J., y Hancock, J. (2018). *Blueberries* (2nd ed.). CABI International.
- Román, S. (2021). Nutrición y fertilización de arándano pra fruta de alta calidad en el centro sur y sur de Chile. *Segundo Curso Internacional de Arándano*.
- Sela, G. (2019). *Fertilización y riego: Teoría y mejores prácticas*.
- Undurraga, P., y Vargas, S. (2019). *Manual de arándano*. INIA - Chile.
- Vidal, I. (2019). *Fertirrigación: Desde la teoría a la práctica* (1st ed.). Universidad de Concepción.
- Weil, R., y Brady, N. (2017). *The nature and properties of soils* (Pearson Education Limited, Ed.; 5th ed.)

VII. ANEXOS

Anexo 1: Curva comparativa anual de temperatura máxima en Virú. La Libertad



Anexo 2: Curva comparativa anual de evapotranspiración en Virú. La Libertad



Anexo 3: Tanques de premezcla de fertilizantes. En la izquierda de ácido sulfuroso, del centro de microelementos y de la derecha de calcio



Anexo 4: Mesa de inyección de soluciones madre o fertikit



Anexo 5: Tabla de conversión de elemento a molécula

TABLA DE CONVERSIÓN					
MOLÉCULA	Peso	multiplicar	ELEMENTO	dividir	MOLÉCULA
		Factor		Factor	
N	14.008	1	N		
N	14.008	1	N		
NO ₃	62.008	0.23	N	4.43	NO ₃
NH ₄	18.04	0.78	N	1.29	NH ₄
P ₂ O ₅	141.96	0.44	P	0.32	H ₂ PO ₄
K ₂ O	94.192	0.83	K		
CaO	56.08	0.71	Ca		
MgO	40.32	0.60	Mg		

Anexo 6: Sistema radicular de arándano Ventura

