



TESIS DOCTORAL

**CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO NUTRICIONAL EN
MELOCOTONERO (*PRUNUS PERSICA*, L. BATSCH) Y CIRUELO JAPONÉS
(*PRUNUS SALICINA*, LINDL) EN LAS VEGAS DEL GUADIANA EN
EXTREMADURA**

VALME GONZÁLEZ GARCÍA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN MODELIZACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN EN CIENCIA Y
TECNOLOGÍA POR LA UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

Conformidad de los directores:

Dr. María del Henar Prieto Losada

Dr. Fernando Blanco Cipollone

Esta tesis cuenta con la autorización del director/a y codirector/a de la misma y de la Comisión Académica del programa. Dichas autorizaciones constan en el Servicio de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad de Extremadura.

2023

Este proyecto ha sido financiado por los Fondos Europeos de Desarrollo Regional y la Junta de Extremadura, a través de Cicytex. La ayuda a grupos de investigación AGA001 (GR21196) y el proyecto sectorial AGROS 2020 y AGROS 2022.

AGRADECIMIENTOS

Llegué a este punto después de la larga trayectoria. Echo la vista atrás y hubo circunstancias que hicieron que mi camino se desviara, pero lo he logrado gracias al impulso y empeño que me han dado mis directores y amigos, Henar y Fernando, la confianza, energía y enorme ayuda de mi amiga Nieves, la constancia y la fuerza de voluntad que he puesto. Al final todo el esfuerzo tiene su recompensa.

Quiero dar la gracias a todas las personas que han participado en esta tesis, hacerla sola no hubiera sido posible y más que compañeros, os considero mis amigos.

A mi amigo Carlos, mi primer compañero de despacho, gracias por tus enseñanzas y por transmitir el amor que tienes a la investigación, no cambies.

Inés, Loli, Candi y Carlota, gracias por compartir conmigo los viajes llenos de aventuras por todas las Vegas del Guadiana y ayudarme en los innumerables muestreos y procesado de muestras.

A nuestro capataz Andrés, a Toni y Pepe, por vuestras enseñanzas y ayuda en el manejo de los frutales, y por esos muestreos de suelo en los que las piedras obligaban a hacer una infinidad de agujeros con la barrena.

Eva y Dami que, a pesar de llevar una infinidad de muestras al laboratorio, toda la ayuda que podían darme les parecía poca.

Julia y Emilio, gracias por ayudarme en los muestreos y compartir nuestras odiseas con los equipos de medida.

A María José, por la rapidez en darme la información que necesitaba y mostrarte siempre disponible para lo que me hiciera falta.

A Julita, Juan Manuel, Encarna, David, Luis, Sandra, Cristina, José María, José Ángel y Juan Bautista. A todos, gracias por mostrarme vuestro cariño y apoyo.

Agradecer a Monona, Javier, Piluca, Ana y Manuel, que me abrieron las puertas de la Estación Experimental de Aula Dei (CSIC) y me proporcionaron toda su sabiduría.

Quiero dar las gracias a mis padres, ya que todo lo que soy se lo debo a ellos. Gracias por cuidar de mis hijos mientras estaba con los muestreos y la redacción de la tesis. Sois mi pilar y sin vosotros, no hubiera podido llegar hasta aquí.

Gracias a mis hijos, Felipe y Antonio, que sin entender lo que es una tesis, han comprendido que era algo importante para mi, y han sabido permanecer en un segundo plano.

Gracias a todas esas personas que han colaborado a lo largo de todo este tiempo, que han sido muchas. Gracias a todos de todo corazón.

A mis padres, Antonio y Mari Cruz
A mis hijos, Felipe y Antonio

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	I
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE TABLAS	XV
RESUMEN	2
ABSTRACT	4
1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL	8
1.2. Origen del ciruelo japonés y del melocotonero.	9
1.3. Situación actual del cultivo del ciruelo japonés y del melocotonero.	10
1.4. Factores determinantes en la producción frutícola Extremeña.	12
1.4.1. Climatología	12
1.4.2. Edafología	13
1.4.3. Fertilización y nutrición.	14
1.5. Factores determinantes en un plan de fertilización	18
1.6. Métodos de diagnóstico nutricional en plantas	19
1.6.1. Análisis foliar	19
1.6.2. Análisis de savia	22
1.6.3. Diagnóstico visual	24
1.6.4. Fotografía aérea	25
1.6.5. Diagnóstico bioquímico	25
1.6.6. Medida de la clorofila	26
1.6.7. Reflectancia	26
1.6.8. Análisis mineral de otros materiales	27
1.7. Consideraciones generales sobre los métodos de diagnóstico nutricional	28
1.8. Referencias	30
2. OBJETIVOS GENERALES	32
3. CAPÍTULO 1. ESTADO NUTRICIONAL DE CIRUELO JAPONÉS (PRUNUS SALICINA LINDL.) Y MELOCOTONERO (PRUNUS PERSICA, L. BATSCH) EN LAS VEGAS DEL GUADIANA	

(EXTREMADURA)	36
3.1. Introducción	38
3.2. Materiales y métodos	42
3.2.1. Selección de las parcelas	42
3.2.2. Análisis foliar	45
3.2.3. Análisis de suelo	47
3.2.4. Plan de abonado	51
3.2.5. Análisis de agua	54
3.2.6. Datos agroclimáticos.	55
3.2.7. Análisis estadístico	58
3.3. Resultados y discusión	59
3.3.1. Análisis edáfico.	59
3.3.2. Análisis de agua	67
3.3.3. Efecto de la localización de la parcela sobre el estado nutricional en variedades de ciruelo japonés	72
3.3.4. Efecto de la localización de la parcela sobre el estado nutricional en variedades de melocotonero	78
3.3.5. Efecto de los planes de abonado sobre el estado nutricional de los árboles	83
3.3.6. Efecto de la longitud de ciclo y localización sobre la concentración de nutrientes en ciruelo japonés y en melocotonero	90
3.4. Conclusiones	93
3.5. Bibliografía	95
4. CAPÍTULO 2. ESTUDIO Y EVALUACIÓN DEL ESTADO NUTRICIONAL DE DOS VARIEDADES DE CIRUELO JAPONÉS (PRUNUS SALICINA L.) EN LA COMARCA DE VEGAS BAJAS (EXTREMADURA).	102
4.1. Introducción	104
4.2. Materiales y métodos	109
4.2.1. Selección de las parcelas	109
4.2.2. Análisis de flores	112
4.2.3. Análisis foliar	113

4.2.4.	<i>Análisis de suelo</i>	114
4.2.5.	<i>Plan de abonado</i>	116
4.2.6.	<i>Datos agroclimáticos</i>	117
4.2.7.	<i>Análisis de agua</i>	119
4.2.8.	<i>Fertilización</i>	120
4.2.9.	<i>Análisis estadístico</i>	121
4.3.	<i>Resultados y discusión</i>	122
4.3.1.	<i>Evolución de la concentración de macro y micronutrientes en ciruelo japonés</i>	122
4.3.2.	<i>Análisis de macroelementos nutricionales en ciruelo japonés. Estudio por grados día.</i>	144
4.3.3.	<i>Determinación del momento óptimo de muestreo en variedades de ciruelo japonés con distinta longitud de ciclo</i>	148
4.3.4.	<i>Estudio del cultivar Red Beaut</i>	148
4.3.5.	<i>Estudio de la variedad Angeleno</i>	151
4.3.6.	<i>Detección de carencias nutricionales mediante el análisis florar en ciruelo japonés cv. Angeleno</i>	156
4.4.	<i>Conclusiones</i>	158
4.5.	<i>Bibliografía</i>	159
5.	CAPÍTULO 3. VIABILIDAD Y MANEJO DE MEDIDAS RÁPIDAS DE ESTADO NUTRICIONAL EN DOS CULTIVARES DE CIRUELO JAPONÉS (PRUNUS SALICINA LINDL.)	167
5.1.	<i>Introducción</i>	168
5.2.	<i>Materiales y métodos</i>	174
5.2.1.	<i>Selección de las parcelas y diseño experimental</i>	174
5.2.2.	<i>Análisis estadístico</i>	181
5.3.	<i>Resultados y discusión</i>	183
5.3.1.	<i>Evolución de nutrientes en el cv. Red Beaut (ciclo corto) y cv. Angeleno (ciclo largo) bajo dos estrategias de fertilización</i>	183
5.3.2.	<i>Evolución de nutrientes en el cv. Red Beaut sometidos a dos estrategias de fertilización y medidos con sensores ópticos.</i>	186
5.3.2.1.	<i>Índice SPAD en red Beaut</i>	186

5.3.2.2.	<i>Índice de clorofilas, antocianos, flavonoides y NBI en Red Beaut</i>	188
5.3.2.3.	<i>Índice NVDI y NVDIG en Red Beaut</i>	192
5.3.3.	<i>Evolución de nutrientes en el cv. Angeleno sometidos a dos estrategias de fertilización y medidos con sensores ópticos.</i>	195
5.3.3.1.	<i>Índice SPAD en Angeleno</i>	195
5.3.3.2.	<i>Índice de clorofilas, antocianos, flavonoides y NBI en Angeleno</i>	197
5.3.3.3.	<i>Índice NVDI y NVDIG en Angeleno</i>	201
5.3.3.4.	<i>Comparación entre medidas rápidas de estado nutricional y medidas bioquímicas</i>	204
5.4.	<i>Conclusiones</i>	214
5.5.	<i>Bibliografía</i>	216
6.	<i>DISCUSIÓN GENERAL</i>	227
6.1.	<i>Bibliografía</i>	234
7.	<i>CONCLUSIONES GENERALES</i>	238

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Árbol de ciruelo japonés (<i>Prunus salicina</i> , Lindl.) a la izquierda y de melocotonero (<i>Prunus persica</i> , L.Batsch) a la derecha.	10
<i>Figura 2</i> mapa edafológico de la región de Extremadura, se detallan las zonas de cultivo llamadas Vegas Altas y vegas Bajas. Los valores de textura están analizados en un rango de profundidad de 0-60 cm procedentes de https://soilgrids.org y caracterizados según el método USDA.	13
<i>Figura 3</i> Proceso de extracción de savia en hojas de ciruelo japonés.	23
<i>Figura 4</i> Guía visual para identificar las deficiencias de nutrientes en plantas. Imagen extraída del catálogo de recomendaciones de Altech Crop science Solutions (https://www.alltech.com/crop-science).....	24
<i>Figura 1- 1 a)</i> Mapa de España y de la CCAA de Extremadura. <i>b)</i> Localización y nomenclatura de las parcelas en Vegas Altas y Vegas Bajas.	42
<i>Figura 1- 3 a)</i> Barrena para la extracción manual de muestras de tierra modelo Eijkelkamp. <i>b)</i> Muestras de suelo fresco.....	47
<i>Figura 1- 4</i> Secado de muestras de suelo a temperatura ambiente.....	48
<i>Figura 1- 5 a)</i> Proceso de tamizado de las muestras de suelo y <i>b)</i> Muestras de suelo después del tamizado	48
<i>Figura 1- 6</i> Estaciones agroclimáticas Don Benito (a) y La Orden (b) en Extremadura. Modelo de estación agroclimática (c). Imágenes tomadas de la página web de REDAREX	55
<i>Figura 1- 7</i> Ubicación de las estaciones agroclimáticas Don Benito y Badajoz.....	55
<i>Figura 1- 8</i> Diagrama de ombrotérmico de los datos obtenidos en la estación agroclimática de La Orden (Vegas Bajas) durante los años a) 2004; b) 2005; c) 2018 y d) 2019). La Temperaturas (líneas), y precipitaciones (barras) representan la media mensual y las precipitaciones supone la suma mensual.	56
<i>Figura 1- 9</i> Diagrama de ombrotérmico de los datos obtenidos en la estación agroclimática de Don Benito (Vegas Bajas) durante los años a) 2004 y b) 2005. La Temperaturas (líneas), y precipitaciones (barras) representan la media mensual y las precipitaciones supone la suma mensual.	57
<i>Tabla 1- 11</i> Características físico-químicas de muestras de suelo recogidas en 2003 en parcelas comerciales de ciruelo japonés situadas en Vegas Bajas (Red Beaut y Sun Gold). Los valores representan la media de las cuatro profundidades. La simbología de la clasificación se	

detalla en la Tabla 1- 5 62

Tabla 1- 12 Características físico-químicas de muestras de suelo recogidas en 2003 en parcelas comerciales de ciruelo japonés situadas en Vegas Bajas Vegas Altas (Black Amber y Larry Ann). Los valores representan la media de las cuatro profundidades. La simbología de la clasificación se detalla en la Tabla 1- 5..... 63

Figura 1- 10 Concentración de hierro, cobre, manganeso y zinc en hojas de ciruelo japonés a los 120 ddpf en los años 2004 y 2005 de los cvs. Red Beaut (RB) y Sun Gold (SG) en Vegas Bajas y, en Vegas Altas, los cvs. Black Amber (BA) y Larry Ann (L). Cada caja representa el conjunto de 15 individuos para un mismo cultivar. La línea roja punteada indica los valores de referencia publicados por (Jones et al., 1991b). Los puntos fuera de cada caja se consideran outliers, y no se han tenido en cuenta para el cálculo..... 76

Figura 1- 11 Concentración de hierro, cobre, manganeso y zinc en hojas de ciruelo japonés a los 120 ddpf en los años 2004 y 2005 de los cvs. Red Beaut (RB) y Sun Gold (SG) en Vegas Bajas y, en Vegas Altas, los cvs. Black Amber (BA) y Larry Ann (L). Cada caja representa el conjunto de 15 individuos para un mismo cultivar. La línea roja punteada indica los valores de referencia publicados por (Jones et al., 1991b). Los puntos fuera de cada caja se consideran outliers, y no se han tenido en cuenta para el cálculo..... 77

Figura 1- 12 Concentración de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en hojas de melocotonero a los 120 ddpf en los años 2004 y 2005 de los cvs. Spring Lady (SL) y Rich Lady (RL) en Vegas Bajas y en Vegas Altas Royal Glory (RG) y Elegant Lady (EL). Cada caja representa el conjunto de 15 individuos para un mismo cultivar. La línea roja punteada indica los valores de referencia publicados por (Jones et al., 1991b) para melocotonero 81

Figura 1- 13 Concentración de hierro, cobre, manganeso y zinc en hojas de melocotonero a los 120 ddpf en los años 2004 y 2005 de los cvs. Spring Lady (SL) y Rich Lady (RL) en Vegas Bajas y en Vegas Altas Royal Glory (RG) y Elegant Lady (EL). Cada caja representa el conjunto de 15 individuos para un mismo cultivar. La línea roja punteada indica los valores de referencia publicados por (Jones et al., 1991b) para melocotonero..... 82

Figura 1- 14 Concentración de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en hojas de ciruelo japonés a los 120 ddpf en los años 2018 y 2019 de los cvs. Red Beaut fertilizado (RB_F_18), (RB_F_19) y sin fertilizar (RB_SF_18), (RB_SF_19), Angeleno fertilizado (A_F_18), (A_F_19) y sin fertilizar (A_SF_18), (A_SF_19). Cada caja representa el conjunto de 4 individuos para un mismo cultivar. La línea roja punteada indica los valores de referencia publicados por (Jones et al., 1991b). 86

Figura 1- 15 Concentración de hierro, cobre, manganeso y zinc en hojas de ciruelo japonés a los 120 ddpf en los años 2018 y 2019 de los cvs. Red Beaut fertilizado (RB_F_18), (RB_F_19) y sin fertilizar (RB_SF_18), (RB_SF_19), Angeleno fertilizado (A_F_18), (A_F_19) y sin fertilizar (A_SF_18), (A_SF_19). Cada caja representa el conjunto de 4 individuos para un mismo

<i>cultivar. La línea roja punteada indica los valores de referencia publicados por (Jones et al., 1991b).</i>	87
<i>Figura 2- 1 Imagen digital de la parcela experimental de ciruelo japonés, variedades “Red Beaut” y Angeleno en La Finca La Orden (CICYTEX).</i>	109
<i>Figura 2- 2. Diseño experimental para la variedad “Red Beaut” (cruz negra). Tratamiento sin fertilizar (cuadro naranja) y tratamiento fertilizado (color verde). Los polinizadores fueron “Ambra” (círculos marrones) y “Black Diamond” (círculos verdes).</i>	110
<i>Figura 2- 3. Diseño experimental para la variedad “Angeleno” (cruz negra). Tratamiento sin fertilizar (cuadro naranja) y tratamiento fertilizado (color verde). Los polinizadores fueron “Fortune” (círculos morados) y “Larry Ann” (círculos marrones).</i>	111
<i>Figura 2- 4 Flores de ciruelo tipo japonés en estado fenológico de plena floración.</i>	112
<i>Figura 2- 5 Lavado de hojas de ciruelo tipo japonés.</i>	113
<i>Figura 2- 6 a) Barrena para la extracción manual de muestras de tierra modelo Eijkelpamp. b) Muestras de suelo fresco.</i>	114
<i>Figura 2- 7 Secado de muestras de suelo a temperatura ambiente.</i>	115
<i>Figura 2- 8 Proceso de tamizado de muestras de suelo seco. b) Muestras de suelo después de tamizadas.</i>	115
<i>Figura 2- 9 Ubicación de la Estación agroclimática La Orden (BA205) en Extremadura. Imágenes tomadas de la página web de REDAREX.</i>	117
<i>Figura 2- 10 Estación agroclimática La Orden (BA205). Imagen tomada de REDAREX.</i> ...	117
<i>Figura 2- 11 Concentración de N (%) en ciruelo japonés, variedad “Red Beaut” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$.</i>	124
<i>Figura 2- 12 Concentración de N (%) en ciruelo japonés, variedad “Angeleno” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$.</i>	124
<i>Figura 2- 13 Concentración de P (%) en ciruelo japonés, variedad “Red Beaut” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$</i>	

.....	126
<i>Figura 2- 14 Concentración de P (%) en ciruelo japonés, variedad “Angeleno” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * p<0.05, ** p<0.01 y *** p<0.001.</i>	126
<i>Figura 2- 15 Concentración de K (%) en ciruelo japonés, variedad “Red Beaut” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * p<0.05, ** p<0.01 y *** p<0.001</i>	129
<i>Figura 2- 16 Concentración de K (%) en ciruelo japonés, variedad “Angeleno” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * p<0.05, ** p<0.01 y *** p<0.001</i>	129
<i>Figura 2- 17 Concentración de Ca (%) en ciruelo japonés, variedad “Red Beaut” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * p<0.05, ** p<0.01 y *** p<0.001.</i>	131
<i>Figura 2- 18 Concentración de Ca (%) en ciruelo japonés, variedad “Angeleno” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * p<0.05, ** p<0.01 y *** p<0.001</i>	131
<i>Figura 2- 19 Concentración de Mg (%) en ciruelo japonés, variedad “Red Beaut” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * p<0.05, ** p<0.01 y *** p<0.001.</i>	134
<i>Figura 2- 20 Concentración de Mg (%) en ciruelo japonés, variedad “Angeleno” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * p<0.05, ** p<0.01 y *** p<0.001</i>	134

Figura 2- 21 Concentración de Fe (ppm) en ciruelo japonés, variedad "Red Beaut" en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$137

Figura 2- 22 Concentración de Fe (ppm) (%) en ciruelo japonés, variedad "Angelino" en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$ 137

Figura 2- 23 Concentración de Cu (ppm) en ciruelo japonés, variedad "Red Beaut" en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$139

Figura 2- 24 Concentración de Cu (ppm) en ciruelo japonés, variedad "Angelino" en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$ 139

Figura 2- 25 Concentración de Mn (ppm) en ciruelo japonés, variedad "Red Beaut" en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$141

Figura 2- 26 Concentración de Mn (ppm) en ciruelo japonés, variedad "Angelino" en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$ 141

Figura 2- 27 Concentración de Zn (ppm) en ciruelo japonés, variedad "Red Beaut" en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$143

Figura 2- 28 Concentración de Zn (ppm) en ciruelo japonés, variedad "Angelino" en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210

y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$	143
.....	
Figura 2- 29 Contenido de N (%) en árboles de ciruelo japonés “Red Beaut” obtenidos en flores y en hojas representado en grados día, para los años 2018 y 2019. Cada punto es la media de 4 árboles, las barras verticales representan el error estándar. El cuadro muestra las diferencias significativas entre tratamientos (nivel de significación *0.05, **0.01, ***0.001).	145
.....	
Figura 2- 30 Contenido de N (%) en árboles de ciruelo japonés “Angelino” obtenidos en flores y en hojas representado en grados día, para los años 2018, 2019, 2021 y 2022. Cada punto es la media de 4 árboles, las barras verticales representan el error estándar. El cuadro muestra las diferencias significativas entre tratamientos (nivel de significación *0.05, **0.01, ***0.001).	145
.....	
Figura 2- 31 Contenido de P (%) en árboles de ciruelo japonés “Red Beaut” obtenidos en flores y en hojas representado en grados día, para los años 2018 y 2019. Cada punto es la media de 4 árboles, las barras verticales representan el error estándar. El cuadro muestra las diferencias significativas entre tratamientos (nivel de significación *0.05, **0.01, ***0.001).	146
.....	
Figura 2- 32 Contenido de P (%) en árboles de ciruelo japonés “Angelino” obtenidos en flores y en hojas representado en grados día, para los años 2018, 2019, 2021 y 2022. Cada punto es la media de 4 árboles, las barras verticales representan el error estándar. El cuadro muestra las diferencias significativas entre tratamientos (nivel de significación *0.05, **0.01, ***0.001).	146
.....	
Figura 2- 33 Contenido de K (%) en árboles de ciruelo japonés “Red Beaut” obtenidos en flores y en hojas representado en grados día, para los años 2018 y 2019. Cada punto es la media de 4 árboles, las barras verticales representan el error estándar. El cuadro muestra las diferencias significativas entre tratamientos (nivel de significación *0.05, **0.01, ***0.001).	147
.....	
Figura 2- 34 Contenido de K (%) en árboles de ciruelo japonés “Angelino” obtenidos en flores y en hojas representado en grados día, para los años 2018, 2019, 2021 y 2022. Cada punto es la media de 4 árboles, las barras verticales representan el error estándar. El cuadro muestra las diferencias significativas entre tratamientos (nivel de significación *0.05, **0.01, ***0.001).	147
.....	
Figura 3- 1. Imagen digital de la parcela experimental de ciruelo japonés, cultivares Red Beaut y Angelino en La Finca La Orden (CICYTEX). Imagen tomada de la plataforma Auravant.	174
.....	

<i>Figura 3- 2. Diseño experimental para el cv. Red Beaut. Tratamiento sin fertilizar (cuadro naranja) y tratamiento fertilizado (color verde). Los polinizadores fueron el cv. Ambra (color marrón) y el cv. Black Diamond (color verde).</i>	175
<i>Figura 3- 3. Diseño experimental para el cv. Angeleno. Tratamiento sin fertilizar (cuadro naranja) y tratamiento fertilizado (color verde). Los polinizadores fueron el cv. Fortune (color morado) y el cv. Larry Ann (color marrón).</i>	176
<i>Figura 3- 4 Lectura del índice SPAD sobre hojas de ciruelo japonés.</i>	178
<i>Figura 3- 5. Lectura con Dualex® Scientific Force A sobre hojas de ciruelo japonés.</i>	179
<i>Figura 3- 6. Lectura con Crop Circle ACS 470 sobre hojas de ciruelo japonés.</i>	181
<i>Figura 3- 7 Concentración de macro y micronutrientes en flores y hoja para el cultivar Red Beaut en los años 2018 y 2019. Las barras verticales representan el error estándar de la media. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.</i>	184
<i>Figura 3- 8 Concentración de macro y micronutrientes en flores y hoja para el cultivar Angeleno en los años 2018, 2019, 2021 y 2022. Las barras verticales representan el error estándar de la media. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%</i>	185
<i>Figura 3- 9 Evolución del índice de SPAD en hojas de ciruelo japonés, cv. Red Beaut, en 2018 y 2019. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.</i>	187
<i>Figura 3- 10 Evolución del índice de clorofilas medido con el Dualex® Scientific Force A en hojas de ciruelo japonés, cv. Red Beaut, en 2018 y 2019. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.....</i>	188
<i>Figura 3- 11 Evolución del índice de flavonoides medido con el Dualex® Scientific Force A en hojas de ciruelo japonés, cv. Red Beaut en 2018 y 2019. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.....</i>	189
<i>Figura 3- 12 Evolución del índice de antocianos medido con el Dualex® Scientific Force A en hojas de ciruelo japonés, cv. Red Beaut en 2018 y 2019. Las barras representan el error</i>	

estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; () significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%..... 190*

Figura 3- 13. Evolución del índice de NBI medido con el Dualex® Scientific Force A en hojas de ciruelo japonés, cv. Red Beaut en 2018 y 2019. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; () significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%. 191*

Figura 3- 14 Evolución del índice de NVDI medido en hojas de ciruelo japonés, cv. Red Beaut en 2018 y 2019. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; () significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%. 192*

Figura 3- 15. Evolución del índice de NDVIG medido en hojas de ciruelo japonés, cv. Red Beaut, en 2018 y 2019. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; () significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%. 193*

Figura 3- 16 Evolución del índice de SPAD en hojas de ciruelo japonés, cv. Angeleno, en 2018, 2019, 2021 y 2022. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; () significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%. 196*

Figura 3- 17. Evolución del índice de clorofilas medido con el Dualex® Scientific Force A en hojas de ciruelo japonés, cv. Angeleno, en los años 2019, 2019, 2021 y 2022. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; () significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%..... 197*

Figura 3- 18. Evolución del índice de flavonoides medido con el Dualex® Scientific Force A en hojas de ciruelo japonés, cv. Angeleno, en los años 2019, 2019, 2021 y 2022. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; () significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%..... 198*

Figura 3- 19 Evolución del índice de antocianos medido con el Dualex® Scientific Force A en hojas de ciruelo japonés, cv. Angeleno, en los años 2019, 2019, 2021 y 2022. Las barras

representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%..... 199

Figura 3- 20 Evolución del índice NBI medido con el Dualex® Scientific Force A en hojas de ciruelo japonés, cv. Angeleno, en los años 2019, 2019, 2021 y 2022. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%. 200

Figura 3- 21 Evolución del índice NVDI medido en hojas de ciruelo japonés, cv. Angeleno. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%. 201

Figura 3- 22. Evolución del índice NVDIG medido en hojas de ciruelo japonés, cv. Angeleno, en los años 2018, 2019, 2021 y 2022. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%..... 202

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1- 1 Características de las parcelas comerciales de ciruelo japonés, nomenclatura, variedades, longitud de ciclo, año de plantación, superficie de la parcela (ha) y marco de plantación (m) en los años de estudio 2004, 2005, 2018 y 2019.</i>	43
<i>Tabla 1- 2 Características de las parcelas comerciales de melocotonero, nomenclatura, variedades, longitud de ciclo, año de plantación, superficie de la parcela (ha) y marco de plantación (m) en los años de estudio 2004 y 2005.....</i>	44
<i>Figura 1- 2 Brote de melocotonero. La elipse indica el lugar para la recogida de las hojas que se corresponde con el tercio medio de los brotes del año.</i>	45
<i>Tabla 1- 3 Diferencia en los valores de referencia de los elementos minerales de acuerdo con la fecha de muestreo en melocotonero.....</i>	46
<i>Tabla 1- 4 Valores de referencia empleados para ambas especies descritas (Jones et al., 1991)</i>	46
<i>Tabla 1- 5 Tipos de determinaciones analíticas efectuadas y sus protocolos</i>	49
<i>Tabla 1- 6 Escalas empleadas para la interpretación de resultados en los valores analíticos realizados</i>	49
<i>Tabla 1- 7 Clasificación de las características físico-químicas en muestras de suelo de los parámetros analizados.</i>	50
<i>Tabla 1- 8 Cantidad de N, P y K (kg/ha) aplicados en parcelas comerciales de ciruelo japonés durante los años 2004 y 2005.</i>	52
<i>Tabla 1- 9 Cantidad de N, P y K (kg/ha) aplicados en parcelas comerciales de melocotonero durante los años 2004 y 2005.</i>	53
<i>Tabla 1- 10 Cantidad de N, P y K (kg/ha) aplicados mediante fertirrigación en la parcela experimental (RB_6 y A_2) durante los años 2018 y 2019.</i>	53
<i>Tabla 1- 13 Características físico-químicas de muestras de suelo recogidas en 2018 de parcela experimental (Red Beaut y Angeleno). Los valores representan la media de las cuatro profundidades. La simbología de la clasificación se detalla en la Tabla 1- 5</i>	64
<i>Tabla 1- 14 Características físico-químicas de muestras de suelo recogidas en 2003 en parcelas comerciales de melocotonero situadas en Vegas Bajas (Spring Lady y Rich Lady). Los valores representan la media de las cuatro profundidades. La simbología de la clasificación se detalla en la Tabla 1- 5</i>	65
<i>Tabla 1- 15 Características físico-químicas de muestras de suelo recogidas en 2003 en</i>	

<i>parcelas comerciales de melocotonero situadas en Vegas Altas (Royal Glory y Elegant Lady). Los valores representan la media de las cuatro profundidades. Los valores representan la media de las cuatro profundidades. La simbología de la clasificación se detalla en la Tabla 1- 5</i>	66
<i>Tabla 1- 16 Valores de referencia de las características químicas en muestras de agua de riego: CE ($\mu\text{S/cm}$), Ca^{2+} (mg/ml), Mg^{2+} (mg/ml), Na^{+} (mg/ml), NO_3^{-} (mg/ml) y NH_4^{+} (mg/ml) publicadas por (Ayers & Westcott, 1985)</i>	68
<i>Tabla 1- 17 Análisis químico en muestras de agua de riego de las parcelas comerciales de ciruelo japonés (Red Beaut, Black Amber, Sun Gold y Larry Ann) recogidas en 2004 y En color rojo se indican las concentraciones en exceso, considerando los valores de referencia publicados de la Tabla 1- 14. Los asteriscos (*) simbolizan una falta de datos para ese compuesto</i>	69
<i>Tabla 1- 18 Análisis químico en muestras de agua de riego en la parcela experimental (Red Beaut y Angeleno) recogidas en 2018 y 2019. En color rojo se indican las concentraciones en exceso, considerando los valores de referencia de la Tabla 1- 14</i>	70
<i>Tabla 1- 19 Características químicas en muestras de agua de riego de las parcelas de melocotonero (Spring Lady, Royal Glory, Rich Lady y Elengat Lady) recogidas en 2004 y 2005. En color rojo se indican las concentraciones en exceso, considerando los valores de referencia de la Tabla 1- 14</i>	71
<i>Tabla 1- 20 Análisis estadístico del efecto de la longitud de ciclo, el efecto del tratamiento abonado y la combinación de ambos en los nutrientes estudiados. Los datos se analizan a los 120 ddpf en la parcela experimental de ciruelo tipo japonés, cvs. "Red Beaut" (RB_6_F) y (RB_6SF) y "Angeleno" (A_2_F) y (A_2_SF) en los tratamientos con fertilización y sin fertilizar durante los años 2018 y 2019. Se representa el promedio de las cuatro repeticiones de cada cultivar. n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.</i>	89
<i>Tabla 1- 21 Análisis estadístico de la concentración foliar de los nutrientes, los valores se tomaron a los 120 ddpf en la parcela comercial de ciruelo tipo japonés, cvs. Red Beaut (RB), Black Amber (BA), Sun Gold (SG) y Larry Ann (L) durante los años 2004 y 2005. Se representa el promedio de las cinco parcelas de cada cultivar. El valor n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.</i>	91
<i>Tabla 1- 22 Análisis estadístico de la concentración foliar de los nutrientes, los valores se tomaron a los 120 ddpf en la parcela comercial de ciruelo tipo japonés, cvs. Spring Lady (SL), Royal Glory (RG), Rich Lady (RL) y Elegant Lady (EL) durante los años 2004 y 2005. Se representa el promedio de las cinco parcelas de cada cultivar. El valor n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***)</i>	

<i>significativo al nivel del 0,1%.</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 2- 1 Características de la parcela experimental de ciruelo japonés en los años de estudio 2018, 2019, 2021 y 2022.</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 2- 2. Muestras analizadas y épocas de muestreo realizado en la parcela experimental de ciruelo japonés, variedades “Red Beaut” y “Angeleno” en 2018 y 2019 y para los años 2021 y 2022.</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 2- 3 Determinación analítica de las muestras de suelo</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 2- 4 Escalas empleadas para la interpretación de resultados en los valores analíticos realizados</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 2- 5. Cantidad de N, P y K (kg/ha) aplicados en la parcela experimental en las variedades “Red Beaut” durante los años 2018 y 2019 y para “Angeleno” durante los años 2018, 2019, 2021 y 2022.</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 2- 6 Volumen de agua aplicada (l/m²) a los tratamientos control (C) y sin fertilización (SF) en la variedad “Red Beaut” y la concentración de NO₃⁻ (kg/ha) aplicados a través del agua de riego.</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 2- 7 Volumen de agua aplicada (l/m²) a los tratamientos fertilizado y sin fertilizar en la variedad “Angeleno” y la concentración de NO₃⁻ (kg/ha) aplicados a través del agua de riego.</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 2- 8 Distribución de la fertilización de N (UF), P (UF) y K (UF) según el estado fenológico de la variedad de ciruelo japonés “Red Beaut” tratamiento control (C) en los años 2018 y 2019.</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 2- 9 Distribución de la fertilización de N (UF), P (UF) y K (UF) según el estado fenológico de la variedad de ciruelo japonés “Angeleno” tratamiento control (C) en los años 2018, 2019 y 2021.</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 2- 10 Análisis estadístico entre fechas de muestreo consecutivas para los tratamientos fertilizados y sin fertilizar en el año 2018. En la variedad Red Beaut. Las diferencias entre medias se consideraron estadísticamente significativas cuando $p < 0,05$; n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.</i>	<i>149</i>
<i>Tabla 2- 11 Análisis estadístico entre fechas de muestreo consecutivas para los tratamientos fertilizados y sin fertilizar en el año 2019. En la variedad Red Beaut. Las diferencias entre medias se consideraron estadísticamente significativas cuando $p < 0,05$; n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.</i>	<i>150</i>
<i>Tabla 2- 12 Análisis estadístico entre fechas de muestreo consecutivas para los</i>	

tratamientos fertilizados y sin fertilizar en el año 2018. En la variedad Angeleno. Las diferencias entre medias se consideraron estadísticamente significativas cuando $p < 0,05$; n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%. 152

Tabla 2- 13 Análisis estadístico entre fechas de muestreo consecutivas para los tratamientos fertilizados y sin fertilizar en el año 2019. En la variedad Angeleno. Las diferencias entre medias se consideraron estadísticamente significativas cuando $p < 0,05$; n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%. 153

Tabla 2- 14 Análisis estadístico entre fechas de muestreo consecutivas para los tratamientos fertilizados y sin fertilizar en el año 2021. En la variedad Angeleno. Las diferencias entre medias se consideraron estadísticamente significativas cuando $p < 0,05$; n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%. 154

Tabla 2- 15 Análisis estadístico entre fechas de muestreo consecutivas para los tratamientos fertilizados y sin fertilizar en el año 2022. En la variedad Angeleno. Las diferencias entre medias se consideraron estadísticamente significativas cuando $p < 0,05$; n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%. 155

Tabla 2- 16 Correlación de Pearson entre flores y hojas tomadas a los 30, 60, 90, 120, 150 y 180 ddpf. El análisis se llevó a cabo para cada uno de los nutrientes en el año 2022. (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%. 157

Tabla 3- 1 Características de la parcela experimental de ciruelo japonés, nomenclatura, cultivares, longitud de ciclo, año de plantación, superficie de la parcela (ha) y marco de plantación (m) en los años de estudio 2018, 2019, 2021 y 2022. 174

Tabla 3- 2 Fechas y equipos de lectura en el cv. Red Beaut en los años 2018 y 2019. 176

Tabla 3- 3 Fechas y equipos de lectura en el cv. Angeleno en los años 2018, 2019, 2021 y 2022. 177

Tabla 3- 4 Análisis estadístico de los índices empleados entre puntos de medida consecutivos en el cv. Red Beaut durante los años de estudio. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0,05$; n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%. 194

Tabla 3- 5 Análisis estadístico de los índices empleados entre puntos de medida consecutivos en el cv. Angeleno. n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%. 194

<i>significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.....</i>	<i>203</i>
<i>Tabla 3- 6. Correlación de Pearson entre los índices NVDIG, NVDI, SPAD, clorofila (Chl), favonoides (Flav), antocianos (Anth) y NBI y el contenido en diferentes elementos: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn) a lo largo de todo el ciclo en el cv. Red Beaut.....</i>	<i>205</i>
<i>Tabla 3- 7. Regresión lineal entre los índices NVDIG, NVDI, SPAD, clorofila (Chl), favonoides (Flav), antocianos (Anth) y NBI y el contenido en diferentes elementos: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn) a lo largo de todo el ciclo en el cv. Red Beaut.....</i>	<i>205</i>
<i>Tabla 3- 8. Correlación de Pearson entre los índices medidos y el contenido en diferentes elementos: a los 30, 60, 90, 120, 180 y 210 días después de floración en 'Red Beaut'. (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.....</i>	<i>208</i>
<i>Tabla 3- 9 Regresión lineal entre el índice SPAD y el contenido en nitrógeno (N) a lo largo de todo el ciclo, en fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe) y zinc (Zn) a los 30 días después de floración y; entre el índice NBI y el contenido en potasio (K), cobre (Cu) y manganeso (Mn) a los 60 días después de floración en el cv. Red Beaut.</i>	<i>209</i>
<i>Tabla 3- 10 Correlación de Pearson entre los índices NVDIG, NVDI, SPAD, clorofila (Chl), favonoides (Flav), antocianos (Anth) y NBI y el contenido en diferentes elementos: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn) a lo largo de todo el ciclo en el cv. Angeleno.</i>	<i>209</i>
<i>Tabla 3- 11. Regresión lineal entre los índices NVDIG, NVDI, SPAD, clorofila (Chl), favonoides (Flav), antocianos (Anth) y NBI y el contenido en diferentes elementos: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn) a lo largo de todo el ciclo en el cv. Angeleno.</i>	<i>210</i>
<i>Tabla 3- 12. Correlación de Pearson entre los índices NVDIG, NVDI, SPAD, clorofila (Chl), favonoides (Flav), antocianos (Anth) y NBI y el contenido en diferentes elementos: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn) a los 30, 60, 90, 120, 180 y 210 días después de floración en el cv. Angeleno.</i>	<i>211</i>
<i>Tabla 3- 13. Regresión lineal entre el índice NBI y el contenido en nitrógeno (N), calcio (Ca) y magnesio (Mg) a los 30 días después de floración y fósforo (P), potasio (K), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn) a los 90 días después de floración en el cv. Angeleno.</i>	<i>213</i>

RESUMEN

Una de las herramientas que se contempla de forma sistemática y enfocada a un uso racional de los recursos para la producción agrícola, es el análisis foliar. La concentración de nutrientes en hojas permite conocer el estado nutricional de un cultivo y su relación con la su capacidad productiva, posibilitando establecer un diagnóstico para optimizar la nutrición y producción mediante la aplicación, en su caso, de las adecuadas técnicas culturales o abonado.

Se ha comprobado que el contenido de elementos disueltos en el agua de riego varía entre años, por lo que resulta necesario conocer las concentraciones de los iones disueltos para aprovechar la incorporación de los mismos a través del agua de riego. Además, en el caso del nitrógeno, debido a la contaminación de las aguas subterráneas, se ha visto que sólo con el riego, se aplicarían las cantidades necesarias de este elemento. De esta forma se podría reducir la aplicación de nitrógeno en los planes de abonado y disminuir los efectos de contaminación de los nitratos en las aguas subterráneas.

En este trabajo se han empleado dos especies frutales de gran interés económico en Extremadura: ciruelo japonés y melocotonero, en las principales zonas de cultivo de las Vegas del Guadiana, y se han incorporado cultivares de ciclo corto y largo, obteniendo así una gran representación de la fruticultura de hueso en la región.

El trabajo inicial se basó en establecer un diagnóstico del estado nutricional de las plantaciones, para ello se realizaron análisis foliares de los árboles en las plantaciones a los 120 días después de plena floración, periodo en la que se produce la estabilización de nutrientes según la bibliografía existente hasta el momento. El diagnóstico foliar cuantificó la concentración de los macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) y de los micronutrientes (Fe, Cu, Mn y Zn) durante los años 2004 y 2005 a través de métodos bioquímicos. Paralelamente, se realizaron análisis de suelo, del agua de riego, y se llevó un control del plan de abonado para encontrar posibles interferencias de estos parámetros con el estado nutricional de los árboles. Se determinó que la concentración de nutrientes en hojas no se ve influida por la longitud de ciclo pero sí por la localización de la parcela, debido a la variabilidad de las características físico-química del suelo en las Vegas del Guadiana.

A pesar de la importancia económica que tiene el ciruelo japonés en la región, la información del estado nutricional de este cultivo es escasa. Por eso se planteó la necesidad de conocer la evolución del contenido de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) y de los micronutrientes (Fe, Cu, Mn y Zn) sobre dos cultivares sometidos a dos estrategias de fertilización, con el objetivo de establecer si es posible realizar un diagnóstico precoz. La fecha estándar para la recogida de hojas (120 ddpf) era ineficaz, puesto en los cultivares de ciclo corto, el fruto se encontraba recogido y no era posible hacer un diagnóstico precoz con el fin de solventar las posibles deficiencias. Los resultados indicaron que es posible el diagnóstico precoz

mediante el análisis de flores o en hojas en fecha tempranas según el cultivar y el elemento mineral analizado.

El análisis foliar es el método de diagnóstico por referencia para conocer el estado nutricional de un cultivo. Si embargo, tiene como inconveniente que los resultados no se obtienen de forma inmediata y por tanto, no hay rápida posibilidad de intervención para el abonado de corrección. Por ello se planteó el uso de sensores ópticos que, además de obtener la medida de forma inmediata, se caracterizan por no requerir la destrucción de la muestra, lo que permite un seguimiento continuo. Los resultados mostraron que es posible el diagnóstico a través de sensores ópticos y, estos mostraron distinta sensibilidad según el cultivar analizado. La regresión entre las lecturas y la concentración de nutrientes ha permitido establecer ecuaciones para estimar la concentración de nutrientes según la fecha de muestreo.

En un futuro sería deseable establecer nuevos valores de referencia adaptados a las condiciones climatológicas y edáficas de la zona estudiada, en base al estado fenológico del cultivo y no en días después de plena floración. Las fluctuaciones de temperatura y precipitación como consecuencia del cambio climático están alterando, adelantando o retrasando, los periodos del desarrollo del cultivo.

ABSTRACT

One of the most systematically considered tools focused on the rational use of resources for agricultural production is foliar analysis. The concentration of nutrients in leaves allows for an understanding of the nutritional status of a crop and its relationship with its productive capacity, enabling the establishment of a diagnosis to optimize nutrition and production through the application, if necessary, of appropriate cultural techniques or fertilization.

It has been observed that the content of dissolved elements in irrigation water varies between years, making it necessary to know the concentrations of dissolved ions to take advantage of their incorporation through irrigation water. Additionally, in the case of nitrogen, due to groundwater contamination, it has been found that applying the necessary amounts of this element through irrigation alone would be sufficient. This could reduce the application of nitrogen in fertilization plans and decrease the effects of nitrate contamination in groundwater.

This study employed two fruit species of great economic interest in Extremadura: Japanese plum and peach, in the main cultivation areas of the Guadiana Valleys. Both short and long-cycle cultivars were included, thus obtaining a comprehensive representation of stone fruit cultivation in the region.

The initial work focused on diagnosing the nutritional status of the plantations by conducting foliar analyses of the trees in the plantations 120 days after full bloom, a period in which nutrient stabilization occurs according to existing literature at that time. Foliar diagnosis quantified the concentration of macronutrients (N, P, K, Ca, and Mg) and micronutrients (Fe, Cu, Mn, and Zn) during the years 2004 and 2005 through biochemical methods. Simultaneously, soil and irrigation water analyses were conducted, and a fertilization plan was monitored to identify possible interferences of these parameters with the nutritional status of the trees. It was determined that the nutrient concentration in leaves is not influenced by the cycle length but is affected by the plot location due to the variability of the physicochemical characteristics of the soil in the Guadiana Valleys.

Despite the economic importance of the Japanese plum in the region, information on the nutritional status of this crop is limited. Therefore, there was a need to understand the evolution of macronutrient (N, P, K, Ca, and Mg) and micronutrient (Fe, Cu, Mn, and Zn) contents for two cultivars subjected to two fertilization strategies, aiming to determine if early diagnosis is possible. The standard date for leaf collection (120 days after full bloom) was ineffective, as in short-cycle cultivars, the fruit was already harvested, making early diagnosis to address potential deficiencies impossible. The results indicated that early diagnosis is possible through flower or leaf analysis at early dates depending on the cultivar and the mineral element analyzed.

Foliar analysis is the reference diagnostic method to assess the nutritional status of a crop. However, it has the drawback that results are not obtained immediately, and therefore, there is no rapid possibility for intervention in corrective fertilization. Hence, the use of optical sensors was proposed, which, in addition to providing immediate measurements, are characterized by not requiring sample destruction, allowing for continuous monitoring. The results showed that diagnosis through optical sensors is possible, and they exhibited different sensitivity depending on the analyzed cultivar. Regression between readings and nutrient concentration has allowed the establishment of equations to estimate nutrient concentration according to the sampling date.

In the future, it would be desirable to establish new reference values adapted to the climatological and edaphic conditions of the studied area based on the phenological state of the crop rather than days after full bloom. Temperature and precipitation fluctuations resulting from climate change are altering, advancing, or delaying the periods of crop development."

INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El fin principal de la producción agraria a nivel mundial es alimentar a la población humana y animal. Este concepto ha evolucionado a lo largo de los años, en el que una mayor disponibilidad económica de la población exige que se demanden productos de mayor calidad o con una diferenciación sobre la producción convencional tradicional, en el que se primaba la cantidad del producto sobre la calidad. Esto unido al crecimiento de la población, al aumento de la urbanización, la creciente escasez de recursos naturales, la contaminación agrícola y el cambio de uso de la tierra, los altos niveles de pérdida y desperdicio de alimentos y los efectos del cambio climático, ponen de manifiesto la fragilidad de nuestros sistemas alimentarios.

La importancia del consumo de fruta queda patente en el interés de diversas organizaciones mundiales por fomentar su consumo, así la Organización de Naciones Unidas (ONU, 2021) declara el año 2021 como el Año Internacional de las Frutas y las Verduras, para promover el aumento del consumo de estos grupos de alimentos, reducir el impacto medioambiental, y fomentar estilos de vida más saludables. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ONUAA o FAO) recomienda como objetivo poblacional la ingesta de un mínimo de 400 g diarios de frutas y verduras (excluidas las patatas y otros tubérculos feculentos) para prevenir enfermedades crónicas como las cardiopatías, el cáncer, la diabetes o la obesidad.

Autores como Lozano et al., (2007) aporta datos sobre el beneficio del consumo cotidiano de alimentos ricos en antioxidantes, sobre todo de frutas y verduras y la protección que pueden proporcionar estos para prevenir determinadas enfermedades. Trabajos previos realizados en diferentes cultivares de ciruelo japonés producidos en Extremadura, como el de, señalan en que el consumo de frutas es un factor determinante en la prevención de muchas enfermedades que presentan elevada incidencia en los países desarrollados (determinados tipos de cáncer, obesidad, diabetes, trastornos vasculares, etc.).

Con el fin de promover el consumo de frutas y verduras en la población escolar, en el marco de la Organización Común de Mercados, la Unión Europea acordó en base al Reglamento (CE) nº 288/2009 de la Comisión de 7 de abril de 2009, cofinanciar con los Estados miembros interesados la distribución de estos productos en centros escolares para promover el consumo y contribuir a la promoción de hábitos saludables, la disminución de la obesidad y enfermedades asociadas. El Plan se inició en España en el curso escolar 2009-2010, bajo el eslogan “Plan de Consumo de Fruta y Verdura en las Escuelas” con financiación de la Unión Europea, las CCAA interesadas y el Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). En nuestra región, la Junta de Extremadura promueve cada año estos hábitos con la distribución de frutas a los alumnos de los centros escolares de la Comunidad Autónoma.

Es fundamental reconsiderar la relación en que se producen y consumen alimentos. La producción de estos alimentos ofrece oportunidades para aumentar la eficiencia del uso de la tierra, el agua y otros insumos agrícolas. En comparación con otras categorías de productos alimenticios (lácteos, pescado, cereales, etc.), las frutas y verduras sufren los niveles más altos de pérdida y desperdicio desde la producción hasta el consumo. En este sentido, se han ido adaptando y mejorando las técnicas de producción para cubrir estas necesidades tales como selección y mejora genética, técnicas de manejo, mecanización, determinación de las necesidades de agua y nutrientes de los cultivos, manejo y control de plagas y enfermedades con el menor impacto medioambiental.

1.2. Origen del ciruelo japonés y del melocotonero.

El ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl., Figura 1), es autóctono de China, su cultivo data alrededor del año 300 a.C. (Okie, 2008), desde donde fue introducido a Japón en el siglo VIII mejorando los cultivares que existían hasta el momento (Okie, 2008; Okie *et al.*, 1996). En la última mitad del siglo XIX, el cultivo del ciruelo japonés se exportó a Estados Unidos, en donde se realizaron mejoras genéticas mediante hibridaciones (Okie, *et al.*, 2008). En el siglo XX, el cultivo se expandió a países de zonas de clima templado de todo el mundo como Australia, Brasil, Italia o Sudáfrica. El proceso de mejora genética continuó mediante sucesivas hibridaciones interespecíficas entre *Prunus salicina* y hasta otras 14 especies de *Prunus* (Okie *et al.*, 1996). En la actualidad se continúa el proceso de mejora del cultivo en distintos programas, tanto públicos como privados, en diferentes países del mundo como Australia, Brasil, España, Estados Unidos, Francia, Israel, Italia y Sudáfrica (Okie, 2008) siendo una de los principales objetivos de mejora genética el solventar los problemas de autoincompatibilidad floral que existe en algunos de los cultivares, como se pone de manifiesto en los trabajos desarrollado por Guerra *et al.* (2012), quien a través de un programa mejorado de PCR genotipó 31 cultivares de ciruela, identificando grupos de autoincompatibilidad, información muy útil para garantizar la compatibilidad en las plantaciones frutales. Otro de los aspectos a tener en cuenta en cuanto a las características del fruto es que existe una gran variabilidad en tamaño y color de los mismos; el mercado actual tiene una mayor preferencia por frutos de tamaño grande que los originales asiáticos y que el ciruelo europeo.

El melocotonero (*Prunus persica*, L. Batsch,) (

Figura 1) es originario del oeste de China donde se cultiva desde hace más de 4.000 años (Scorza *et al.*, 1990; Wang, 1985) y desde allí fue llevado a Persia a través de las rutas comerciales, llegando a ser conocido como fruta pérsica. Posteriormente se introdujo en la civilización griega entre los años 400 y 300 a.C. En los siglos I y II d.C, el cultivo de melocotonero se extendió por el Imperio Romano (W. R. Okie & Hancock, 2008) y es en los siglos XVI, XVII y

XVIII, durante la época de colonización, donde el cultivo se extendió desde la zona del Mediterráneo hasta América del Norte, Sudamérica, Sur de África, Australia y Nueva Zelanda (Hancock et al., 2008; W. R. Okie & Hancock, 2008). En el siglo XIX, se constata que aparece el melocotonero como cultivo en expansión. A principios del siglo XX, se comienzan a seleccionar genotipos de melocotoneros a partir de poblaciones procedentes de semilla y se fijan por medio de injerto. A diferencia del ciruelo japonés, casi todos los cultivares de melocotón son autofértiles.



Figura 1 Árbol de ciruelo japonés (*Prunus salicina*, Lindl.) a la izquierda y de melocotonero (*Prunus persica*, L.Batsch) a la derecha.

1.3. Situación actual del cultivo del ciruelo japonés y del melocotonero.

Dentro de las estadísticas disponibles hay que señalar que no se han encontrado datos estadísticos de ciruelo japonés, ya que se encuentra englobado con datos de ciruelo europeo e incluso con endrinas.

Según los datos de la FAOSTAT, (2021) entre los cinco primeros productores de ciruelo y endrinas a nivel mundial se encuentran, Irán, Chile, China, Colombia y Serbia, España se sitúa en el puesto número 21, produciendo más de 86.576 t de estos frutos. Se puede apreciar una tendencia en la estabilidad en la producción del país con ligeras alteraciones en los kilos de cultivo, pero manteniéndose desde 2016 en una producción media de 83.000 t al año.

En 2022 la superficie nacional de cultivo fue de 11.788 ha de ciruelo y 70.480 ha de melocotonero, datos ligeramente superiores a los encontrados en 2021 (11.057 y 67.462 ha respectivamente). A pesar de a nivel nacional, Aragón es el principal productor de melocotón, el cultivo del ciruelo japonés sitúa a Extremadura en una posición de fuerza ya que representa

más del 45% del total producido (MAPA, 2019), poniendo de manifiesto que, en la actualidad la fruticultura representa un sector de gran importancia en la economía extremeña.

Sin embargo, no basta con ser los principales productores del país, las nuevas exigencias del mercado se centran en la seguridad alimentaria y las cada vez más estrictas normativas medioambientales que obligan a producir con criterios de calidad, homogeneidad y control. Las empresas productoras extremeñas se han adaptado a esta demanda y han diferenciado sus producciones por distintas certificaciones de calidad, como Producción Integrada, Normas ISO, Protocolo EUREP-GAP, BRC, IFS, etc.

En este sentido en Extremadura se ha apostado por sistemas respetuosos con el medio ambiente con los que se persigue la obtención de productos más naturales, con el menor uso posible de productos artificiales o añadidos, y en los que se prima el respeto y cuidado del medio ambiente sobre la producción, entre estos sistemas se manejan, la Producción Integrada, la Producción Ecológica y la Agricultura de Conservación. Estos sistemas están completamente implantados en la región hasta el punto de que la superficie certificada de frutales de hueso inscritas en el Registro de Operadores y Productores de Producción alcanzan una 17.489 ha en 2018 respecto de las 3.397 ha que había en 2000 (“Situación Producción Integrada En Extremadura,” 2021).

Con el fin de aumentar la competitividad en la agricultura y mejorar el medio ambiente y el medio rural, se estableció una serie de medidas nacionales encaminadas a ayudar a este sector. Así, de acuerdo con el Reglamento (CE) 1698/2005, de 20 de septiembre de 2005, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, en colaboración con el Ministerio de Medio Ambiente y previa consulta de las Comunidades Autónomas y de los agentes económicos y sociales, elaboró un documento base para la programación, el Marco Nacional, aprobado por Decisión de la Comisión C(5937) de 28 de noviembre de 2007 cuya finalidad fue definir las medidas horizontales y los elementos comunes para todos los programas regionales, garantizando así la coherencia de la estrategia española de desarrollo rural en todo el territorio. A partir del Reglamento mencionado, cada Comunidad Autónoma elaboró el primer Programa de Desarrollo Rural para el periodo 2007-2013 (Decisión del Consejo de 20 de febrero de 2006). Actualmente, el Programa de Desarrollo Rural vigente comprende el periodo 2014-2020 (Reglamento (CE) nº 1305/2013), en el que además de las medidas horizontales y los elementos comunes establecidos en el Marco Nacional de Desarrollo Rural, se incluyen medidas específicas para dar respuesta a las diferentes situaciones regionales. Entre las Directrices Estratégicas Comunitarias que se han mantenido se continúa con la de mejorar el medio ambiente y el entorno rural cumpliendo unos requisitos mínimos sobre el uso de abonos y de obligaciones a las explotaciones ubicadas en zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos. Además, se han introducido mejoras en las que se exige que los Estados Miembros presenten un Programa Nacional y un conjunto de medidas regionales, garantizando la coherencia entre las estrategias nacionales y regionales.

1.4. Factores determinantes en la producción frutícola Extremeña.

La capacidad productiva de una plantación frutal va a depender de factores intrínsecos y extrínsecos. Entre los factores intrínsecos destacan el cultivar y portainjerto elegido y el estado sanitario de ambos. Como factores extrínsecos predominan factores ambientales y agronómicos. De los factores ambientales que pueden limitar o condicionar el cultivo frutal los más importantes son el clima, el suelo y la disponibilidad y calidad de agua. Entre los agronómicos destacan principalmente riego y abonado.

1.4.1. Climatología

Extremadura cuenta con unas condiciones edafoclimáticas y de disponibilidad de suelo de regadío favorables para el desarrollo de la fruticultura, y es uno de los sectores agrícolas de mayor crecimiento en la región en los últimos años. El clima en Extremadura es de tipo mediterráneo con rasgos continentales, pero suavizado por la influencia oceánica. Los veranos son muy calurosos y secos, con una temperatura cuyo promedio supera los 25 °C, y los inviernos son suaves, con una temperatura media de 6 °C. Las precipitaciones oscilan entre los 400 y los 600 mm anuales. Las abundantes precipitaciones en invierno y los veranos secos originan que el régimen de los ríos presente fuertes contrastes, pasando de tener cauces secos a provocar inundaciones.

Tanto el melocotonero como el ciruelo japonés se adaptan bien a las condiciones ambientales de la región extremeña lo que, unido a la disponibilidad de suelos fértiles y agua de buena calidad para el riego, ha favorecido la expansión de ambas especies. Así disponen de las suficientes horas de frío, humedad y temperatura para asegurar una óptima producción, salvo años excepcionales, en los que las condiciones ambientales pueden no resultar favorables. El clima en la región presenta una sequía estival estructural, pero este factor no resulta un inconveniente para el cultivo gracias al aporte de agua procedente del río Guadiana y de abundantes pantanos distribuidos en la región. Todas estas características hacen que la fruta que se produce en la región se caracterice por ser de alta calidad y por presentar muy buenas cualidades organolépticas con un gran nivel de azúcar y color en las producciones.

A pesar de las buenas condiciones de cultivo de ambas especies en Extremadura, es necesario adaptar las prácticas de cultivo a cada especie y cultivar en concreto, de forma que se creen las condiciones adecuadas para la vegetación y producción del árbol. En este sentido, una de las prácticas que más puede condicionar la productividad y rentabilidad de la plantación es el abonado.

1.4.2. Edafología

La principal zona de cultivo de estas especies frutales en Extremadura son las Vegas del Guadiana (Figura 2). La zona de las Vegas del Guadiana se divide, según su situación geográfica en Vegas Altas y Vegas Bajas. En esta amplia área existe gran variabilidad en cuanto a tipos de suelo, mientras que en la zona de Vegas Bajas los suelos están caracterizados por ser más franco, franco-arenosos, con una coherencia entre partículas elevada y una uniformidad entre las partículas que componen el suelo. En la zona de Vegas Altas destacan los suelos Franco-arcillosos, con agregados firmes y duros, resistentes a dejarse romper con la mano y maleables.

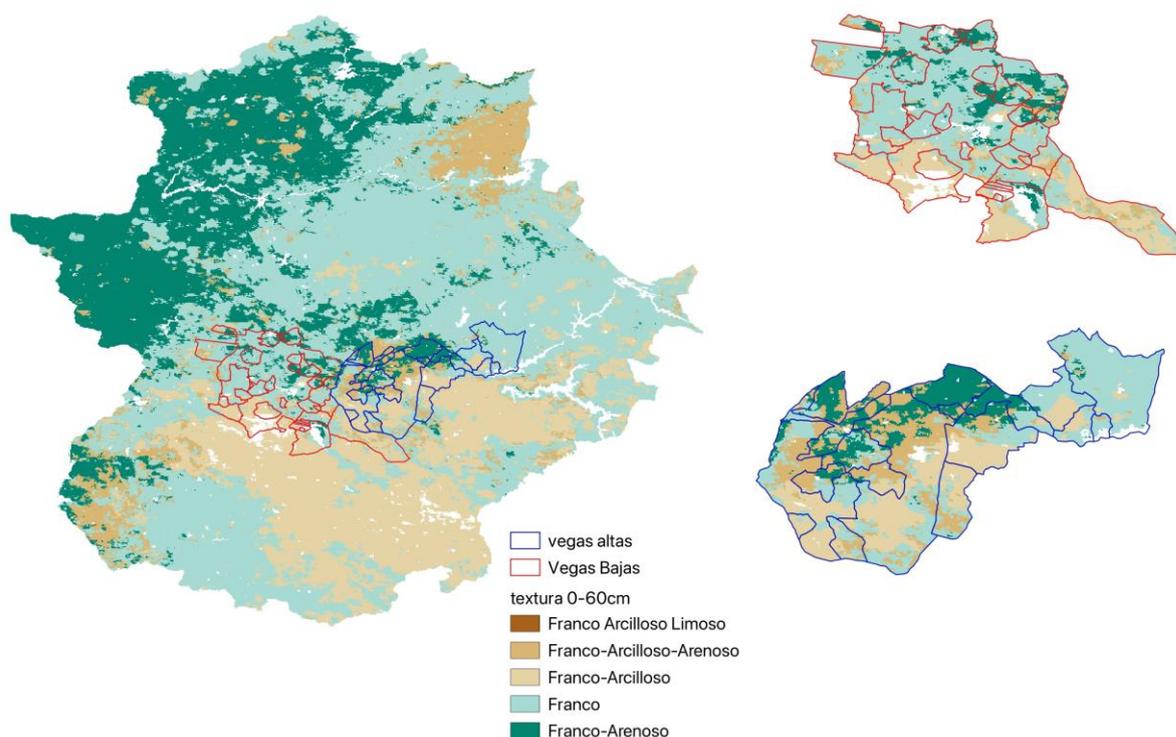


Figura 2 mapa edafológico de la región de Extremadura, se detallan las zonas de cultivo llamadas Vegas Altas y vegas Bajas. Los valores de textura están analizados en un rango de profundidad de 0-60 cm procedentes de <https://soilgrids.org> y caracterizados según el método USDA.

1.4.3. Fertilización y nutrición.

La fertilización se considera, el segundo factor limitante de la productividad, después del riego. El objetivo general de esta práctica es incrementar la fertilidad natural del suelo para obtener un aumento del rendimiento de las cosechas. La aportación mediante la fertilización de un elemento que se encuentre en el suelo por debajo de los niveles críticos en un cultivo determinado tiene como consecuencia un aumento en la producción. Para mantener una alta productividad en plantaciones frutales en sistemas intensivos es importante garantizar la disponibilidad de una serie de nutrientes minerales y una adecuada proporción de estos. En caso contrario, se provocan desequilibrios en el estado nutricional de los árboles, que se traducen en un menor crecimiento y una disminución de la producción.

El sistema de fertirrigación, es una técnica que se inició en California (USA) en la década de 1930, extendiéndose rápidamente a otros países dados los buenos resultados agronómicos obtenidos (Vivancos, 1996), permite aplicar los fertilizantes a través del agua de riego, lo que ofrece unas condiciones muy favorables para la gestión eficiente de los nutrientes, con posibles intervenciones rápidas en caso de detectar carencias.

Los nutrientes son los elementos minerales necesarios para el desarrollo y metabolismo de las plantas. Se clasifican en:

-Macronutrientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S).

-Micronutrientes: boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), cloro (Cl), cobalto (Co), sodio (Na) y silicio (Si).

Niveles foliares considerados como deficientes indican que el elemento no alcanza en el tejido la concentración suficiente para el normal desarrollo de las funciones fisiológicas o procesos metabólicos. Estas disfunciones producen sintomatologías características en diversos órganos (hojas, frutos, etc.), que con limitaciones permiten diagnosticar visualmente, en algunos casos, el estado carencial. Los niveles considerados óptimos indican que la nutrición es equilibrada, y no es limitante para un correcto funcionamiento de la plantación. Aunque puede haber excepciones como es el caso de “la paradoja del hierro”, en la que a pesar de existir niveles adecuados de hierro en suelo, debido a su baja solubilidad la planta no dispone de este elemento para un correcto desarrollo (Morales et al., 1998). Por el contrario, concentraciones foliares altas o excesivas de un determinado elemento, indican que éste está siendo absorbido en cantidades superiores a las necesarias, ya sea por su abundante disponibilidad en el suelo en estado asimilable o por un exceso de fertilización. En estas circunstancias se puede producir una disminución de la calidad del fruto y también la aparición de carencias por antagonismos en la absorción de otros nutrientes. Además, la acumulación excesiva de algunos elementos en

los tejidos puede producir efectos tóxicos, con graves repercusiones en el desarrollo y la producción.

El principal potencial de absorción de nutrientes minerales por parte de las plantas es específico de cada una de ellas y su genética. Este potencial explica el hecho de que el contenido de N y K del material de las plantas verdes sea cerca de 10 veces superior que el de P y Mg, que a su vez es de 100 a 1.000 veces mayor que el contenido de micronutrientes. El segundo factor que controla el contenido mineral del material vegetal es la disponibilidad de los nutrientes en el medio nutritivo. La relación entre la cantidad de un nutriente en el medio de cultivo y el contenido del nutriente en la planta se utiliza en los métodos de análisis foliar para diagnosticar la disponibilidad de ese nutriente en el suelo. Los nutrientes que generalmente son analizados para realizar el diagnóstico foliar son: N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn y en algunas ocasiones B ya que se consideran los más importantes en relación con la productividad del árbol.

En los siguientes párrafos se presenta un pequeño resumen de la importancia para la planta de cada uno de los elementos mencionados.

Nitrógeno. Es un elemento esencial para el crecimiento, permite disponer de suficiente cantidad de hojas de buen tamaño para captar la energía solar y formar sustancias de reserva, que a su vez darán lugar a la diferenciación floral y a una producción de calidad. Entre las consecuencias que pueden generar un exceso de N en hojas, se puede mencionar que produce un crecimiento exagerado de la vegetación, una maduración tardía de la planta por lo que los tejidos vegetales permanecen verdes y tiernos y se aumenta la sensibilidad a las enfermedades, plagas, daños por bajas temperaturas y por último, una pérdida de la calidad de los frutos (García, 1997). Estos efectos pueden estar contrarrestados por K, dada su acción estimuladora sobre los azúcares. Por el contrario, el síntoma característico de deficiencias en este elemento es la clorosis generalizada de la planta, comenzando por las hojas más viejas, dada la gran movilidad de este elemento, y extendiéndose desde la punta de la hoja por el nervio central hasta abarcar toda la hoja, llegando incluso en los casos más graves a que las plantas se marchiten y mueran.

Fósforo. Este elemento interviene en el crecimiento de las raíces, teniendo su mayor importancia durante la fase de formación de las plantaciones. A lo largo del ciclo, disminuye su importancia a partir de la entrada en plena floración. Favorece la formación de los botones florales y la fecundidad de las flores. Además, interviene en la constitución de las membranas celulares, proporcionando consistencia en la pulpa de los frutos y por tanto, favoreciendo su conservación. Su exceso provoca antagonismos con la asimilación de Fe, Mn y Zn. Al igual que en el caso de N, por ser un elemento que participa en prácticamente todos los procesos importantes del metabolismo de la planta, la escasez de este elemento tiene una fuerte influencia en el desarrollo, produciéndose una coloración anormal de las hojas con un tono azulado verdoso con tintes bronceado o púrpura en las hojas más viejas, debido a la elevada movilidad de este elemento dentro de la planta. Como consecuencia de su deficiencia se observa una

acusada reducción del desarrollo, especialmente en el crecimiento lateral, llegando a que la maduración se retrase, e incluso en los casos graves, a la muerte de las plantas.

Potasio. Participa en la formación de reservas y en el tamaño de los frutos, la coloración, la maduración temprana y la buena calidad organoléptica de los mismos. Proporciona resistencia a los desequilibrios hídricos y a los posibles daños por heladas, al evitar el deterioro de la permeabilidad de las membranas celulares. Es notable su efecto sobre la resistencia a la sequía ya que ejerce una importante función como osmorregulador coordinando el movimiento de apertura y cierre de estomas, por lo que mejora la utilización del agua por la planta. Fomenta contenidos normales de celulosa y lignina, por lo que se favorece la rigidez y la estructura en las plantas. Además, equilibra las influencias negativas de los excesos de N ya que tiene cierta función reguladora en el metabolismo del mismo. El exceso de K puede influir en el agrietado de los frutos o “cracking”, dado su antagonismo con Ca y Mg. Sin embargo, las deficiencias no aparecen de forma inmediata a la vista, por lo que las plantas sufren un período denominado “subcarencia” sin síntomas, pero que tiene su repercusión en el crecimiento y, por lo tanto, en la cosecha. Cuando aparecen los síntomas visibles, la carencia es ya muy grave.

Calcio. Es un elemento que juega un papel muy importante en la consistencia de las paredes celulares, junto con P y B. Su déficit provoca el rajado de los frutos y una pésima conservación en poscosecha debida al deficiente control de la permeabilidad de las membranas. Igualmente, produce una gran predisposición de las plantas a contraer enfermedades.

Magnesio. Es imprescindible para la formación de la clorofila. Este elemento es muy susceptible a la competencia de otros cationes en su absorción, por lo que es frecuente que se produzcan deficiencias inducidas de este elemento. El efecto más directo es el del ión amonio (NH_4^+), siendo afectado también por K y Ca. Así, se ha observado que la absorción de Mg es mayor cuando el nivel de K es bajo. Este elemento se acumula en los frutos al igual que K.

Hierro. El Fe no está presente en la molécula de la clorofila, pero forma parte de numerosas enzimas indispensables para su biosíntesis. La carencia de este elemento puede estar afectada por excesos de humedad del suelo, dosis altas de abonado fosforado, aportaciones de abonos orgánicos cercanos a la brotación o bien por una elevada presencia de Ca activo en el suelo. Además, la absorción de Fe va a depender de la temperatura, y de la competencia con otros iones como Cu, Mn y Zn. La absorción de Fe también va a depender genéticamente de la especie variando sensiblemente la susceptibilidad a presentar deficiencias. La deficiencia de Fe es muy similar a la de Mg, aunque por la inmovilidad de este elemento, comienza a manifestarse en los brotes y hojas más jóvenes.

Cobre. La actividad principal del Cu se desarrolla en el campo de las enzimas. Además, participa en la formación de la plastocianina contenida en los cloroplastos y que participa en la cadena de transferencia de electrones de la fotosíntesis. En la planta, este ión no es afectado

por la competencia con otros. Por el contrario, afecta a otros iones, en especial a Zn, al ocupar los espacios de adsorción en la corteza radical. Entre las consecuencias de la deficiencia de este elemento cabe destacar una clorosis general, reducción de los entrenudos y deformación de las puntas y bordes. En cantidades elevadas, este elemento puede inducir una clorosis similar a la causada por falta de Fe, probablemente como consecuencia de una deficiencia inducida de este elemento al reducirse por competencia la absorción de Fe.

Manganeso. Este elemento acelera la reducción interna de los nitratos, que, si se encuentran en exceso, pueden resultar tóxicos. Al igual que el Fe, participa en la biosíntesis de clorofila y presenta competencia con otros iones, como Mg y Ca. Además, su absorción es una característica genética, por lo que los cultivos difieren en la capacidad de asimilación de este elemento. Su carencia se presenta como una clorosis internervial en las hojas medias de los brotes; en casos graves termina con necrosis y perforación como un cribado en hojas jóvenes. Los excesos de este elemento en hojas son tóxicos, produciendo síntomas como moteado marrón de las hojas viejas y distribución desigual de la clorofila.

Zinc. Actúa principalmente como enlace en muchos sistemas enzimáticos de modo similar a Mg y Mn. Participa en la biosíntesis de la clorofila y su carencia provoca desequilibrios hormonales del crecimiento de los brotes presentando las plantas entrenudos cortos que forman rosetas o penachos; las hojas toman un aspecto alargado con los bordes ondulados y con una ligera palidez. Normalmente, esta carencia es inducida por un exceso de abonado fosfatado. En algunas especies se ha comprobado una elevada tolerancia de este elemento, debido a la propiedad de fijarlo en la pared celular.

Boro. El boro estaría implicado junto al calcio, en el metabolismo de la pared celular. Se ha encontrado que una relación constante de Ca y B debe ser óptima para el crecimiento vegetal. Es uno de los elementos más inmóviles en la planta. Una vez depositado en la hoja, no es translocado hacia las hojas jóvenes, lo que hace que los nuevos crecimientos dependan de la absorción continua de boro del suelo. La deficiencia de este elemento genera entrenudos cortos, deformaciones, baja viabilidad del polen, desarrollo inadecuado de semillas y muerte de los meristemas apicales. Entre los síntomas de toxicidad se encuentra la clorosis y necrosis de los puntos de crecimiento que progresa hacia el centro de las hojas, provocando el marchitamiento de estas llegando incluso a provocar la muerte de la planta.

1.5. Factores determinantes en un plan de fertilización

El suelo representa un entorno en el cual se desarrollan las raíces y del cual las plantas extraen el agua y los elementos nutritivos que necesitan, además de proporcionarle sostén. Las exigencias para el desarrollo del sistema radicular hacen que sea necesario el conocimiento de las características del suelo para poder analizar, interpretar y dar una solución correcta a los problemas que plantea la fertilización. Se denomina fertilidad de un suelo a la capacidad que tiene el mismo para abastecer las necesidades de los diferentes elementos nutritivos de las plantas. Para determinar un correcto plan de fertilización, además de tener en cuenta las propiedades físico-químicas del suelo, también es importante contar con la información del análisis de foliar y del análisis de agua. El análisis químico del suelo permite determinar los niveles de nutrientes, aunque es sólo una proporción de la cantidad total de nutrientes en el suelo y tampoco es igual a la cantidad de nutriente absorbida por el cultivo, por tanto, el análisis de suelo es un índice de disponibilidad de nutrientes para el cultivo. (Correndo et al., 2017).

A su vez, el agua que se utiliza para regar suele tener elementos minerales en solución. Estos aportes pueden llegar a ser cuantitativamente importantes sobre todo en elementos solubles como el nitrógeno, por lo que las analíticas del agua de riego junta con la medida del volumen de agua aplicada son un aporte de fertilización a contabilizar en el plan de abonado. Esto permitirá reducir los aportes de nutrientes en los planes de abonado y optimizar las prácticas de fertilización.

La interpretación de los tres tipos de análisis que se emplean rutinariamente en explotaciones comerciales (análisis de hojas, de suelo y de agua de riego) nos aportará una visión global de los elementos nutrientes que se encuentran disponibles para la planta, las fracciones que están en formas químicas asimilables, los elementos que la planta está absorbiendo correctamente y la existencia de antagonismos y/o sinergismos entre iones que dificulten o impidan la absorción de algunos nutrientes. Toda esta información es necesaria para planificar correctamente un programa racional de abonado.

1.6. Métodos de diagnóstico nutricional en plantas

Los programas de fertilización en fruticultura se han basado en la determinación de la fertilidad en suelo y en la estimación de las extracciones de nutrientes en hojas, fruto y madera de poda. Sin embargo, hay otros métodos de diagnóstico basados en diferentes aspectos de la fisiología de la planta (Lucena, 1997). Algunos de estos métodos se describen a continuación:

1.6.1. Análisis foliar

El análisis foliar representa una herramienta muy útil y probablemente de las más utilizadas para racionalizar la fertilización de los cultivos. Es el método más frecuente para caracterizar el estado nutricional en frutales y detectar desequilibrios nutricionales (Terry *et al.*, 1995). Se basa en el hecho de que la hoja es un órgano metabólicamente muy activo en la planta, por lo que las alteraciones nutricionales afectan más a las hojas que a otros órganos que son de difícil muestreo. Además, Domínguez *et al.*, (2005) mencionan que para utilizar correctamente esta herramienta de diagnóstico han de establecerse protocolos de muestreo, análisis e interpretación de resultados.

Para la realización del análisis foliar, una de las etapas más importantes es el muestreo, ya que en general la mayor variabilidad en el análisis de la planta recae en este paso. La muestra obtenida debe ser parte de un total cuya composición mineral sea representativa de la actividad biológica de la planta. Marschner (2003) indica la necesidad de utilizar hojas maduras para conocer el estado nutricional. Por ello, se asume que, en el caso de árboles frutales, las hojas recogidas deben estar situadas en el tercio medio de los brotes del año.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Una vez fijada la época de muestreo y el tipo de hoja recogida, otro punto importante en el proceso del diagnóstico foliar es la interpretación de los resultados. Normalmente esta interpretación requiere la comparación de los datos con unos valores óptimos establecidos (norma) para unas determinadas condiciones de cultivo. Algunas veces la interpretación implica una mera comparación entre la concentración de un solo elemento y su norma (métodos estáticos), y otras veces se usan relaciones entre dos elementos o incluso relaciones multicomponentes (métodos dinámicos).

Entre los **métodos estáticos** se encuentran los métodos tradicionales del Nivel Crítico (NC) y el Rango de Suficiencia (RS). El Nivel Crítico compara el valor obtenido con un valor aceptado de normalidad. Por encima de ese valor, la planta tendría cantidades suficientes de nutriente, y por debajo las cantidades serían insuficientes para un cultivo adecuado. Para el método de Rango de Suficiencia, que es el más utilizado, la comparación se hace incluyendo el dato analítico correspondiente a la muestra tomada en un intervalo predeterminado donde se supone que la planta presentaría concentraciones del nutriente que no implican reducción en su producción. El método de Desviación del Óptimo Porcentual (DOP), también considerado un método estático, usa la comparación de la concentración del nutriente respecto de los óptimos nutricionales, pero en una expresión porcentual (Montañes *et al.*, 1994). Estos métodos no tienen en cuenta la variabilidad debida al momento del muestreo ni las relaciones entre nutrientes.

Dentro de los **métodos dinámicos** se encuentra el DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrate System), desarrollado por Beaufils, (1971) y basado en el cálculo de índices para cada nutriente, previamente obtenidos de la media aritmética de unas funciones calculadas considerando las relaciones de todas las parejas de elementos en las que interviene el elemento considerado (Walworth *et al.* 1986). Estas relaciones están elegidas de tal manera que su variación con la edad de la hoja sea mínima, por lo que, aunque normalmente son el cociente entre los elementos, pueden ser también el producto. En el cálculo de las funciones interviene el coeficiente de variación de la norma de la relación entre los elementos. Si este coeficiente de variación es bajo indica que los elementos están bien relacionados fisiológicamente y tendrá mucha repercusión en el cálculo de los índices. Por el contrario, si es elevado ambos elementos tendrán poca relación y su influencia en los índices será mínima. El rendimiento del cultivo se relaciona inversamente con el sumatorio de todos los índices en valor absoluto, por lo que este sumatorio se considera un índice de la producción y es representativo del balance global de todos los nutrientes implicados en la nutrición de la planta. Se demuestra que un buen balance es más importante a la hora de obtener elevadas producciones que mantener cada nutriente individual en un nivel adecuado.

Algunos cultivos como ejemplos de sus normas DRIS son en alfalfa (Erickson *et al.*, 1982), en naranjo (Beverly *et al.*, 1984), en trébol violeta (Arines *et al.*, 1985), en álamo (Kim *et al.*, 1986), en alfalfa (Walworth *et al.*, 1986), cereza dulce y avellano (Righetti *et al.*, 1988), en manzano (Szucs *et al.*, 1990), en melocotonero (Montañés *et al.*, 1993), en banana (Teixeira *et al.*, 2002). En este sentido, en la actualidad en la región extremeña se encuentra a disposición de los agricultores una plataforma informática de uso libre, REDAFEX, red para el asesoramiento en la fertilización de los suelos agrícolas, promovida por la Junta de Extremadura y desarrollada por el Centro Tecnológico Nacional Agroalimentario Extremadura (CTAEX), que proporciona consejos de abonado en base a análisis de suelo o foliares usando Normas DRIS entre 8 y 12 semanas después de floración en frutales de hueso como melocotón y ciruela.

El sistema DOP (Desviation from Optimum Percentage) mediante una vía de cálculo mucho más sencilla, permite llegar a las mismas conclusiones interpretativas que el DRIS en lo que respecta a fijar el orden de limitación de nutrientes, pero requiere que los valores óptimos de referencia se hayan obtenido teniendo en cuenta la influencia del equilibrio necesario entre nutrientes para un correcto funcionamiento del sistema. A pesar de que el DRIS y el DOP son dos métodos diferentes en la interpretación del diagnóstico nutricional, Sanz, M., (1999) ha encontrado en melocotonero que las interpretaciones conseguidas con el sistema DOP es similar a las obtenidas con el DRIS y también se proporciona información más amplia y valiosa que es fácilmente aplicada e interpretada por ordenador.

El CND (Diagnóstico de la Composición de Nutrientes) es una técnica que se está utilizando en Canadá (Parent *et al.* 1995). Con ella también se calculan índices individuales para cada nutriente, pero usando su relación respecto de la media geométrica de todos los nutrientes y componentes del material vegetal. La ventaja respecto del método DRIS es que usa relaciones respecto a la composición total. En consecuencia, el efecto de la variabilidad de un sólo elemento en el resto de los nutrientes está considerado como un efecto global y no como la contribución de varios efectos individuales sobre cada uno de los restantes nutrientes. Este parámetro parece estar mejor relacionado con la producción que el sumatorio utilizado por el método DRIS.

Como ya se ha comentado, para utilizar los métodos dinámicos es necesario determinar niveles óptimos y momentos de muestreo, así como verificar el ajuste de la información disponible en bibliografía. Supone un seguimiento de la evolución de los nutrientes en las hojas a lo largo del ciclo vegetativo de los árboles, y en varios años sucesivos y relacionar los nutrientes con la producción y vigor de los árboles de las parcelas donde se realiza el seguimiento. El estado nutricional considerado como “adecuado” será aquel en que ningún nutriente actúe como limitante del crecimiento vegetativo y/o reproductivo del árbol.

1.6.2. Análisis de savia

No sólo las hojas pueden ser órganos de diagnóstico. Mientras que la concentración de elementos en la hoja representa la acumulación de los mismos, el análisis de savia es una herramienta adecuada para determinar lo que la planta está tomando en el momento del muestreo (Hernando *et al.*, 1973; Lozano, 1996). Es una técnica de diagnóstico útil cuando la fertilización puede variar en pocos días, como ocurre en fertirrigación (Cadahía, 1988), siendo un material muy sensible a las oscilaciones de los nutrientes en la planta, tanto en el ciclo de cultivo como en la respuesta a un tratamiento fertilizante (Cadahía *et al.*, 2008).

La savia corresponde al jugo extraído de los tejidos conductores tanto del xilema como del floema de la planta (Figura 3). La situación óptima sería poder extraer por separado la savia bruta y elaborada, pero en la práctica agronómica, esta separación es imposible para efectuar una recomendación de abonado. La composición de la savia puede variar por un gran número de factores, por lo que su análisis debe usarse fundamentalmente para determinar problemas nutricionales puntuales, para comprobar la evolución de las reservas a lo largo del ciclo de cultivo o para comprobar la incidencia de una aplicación de fertilizante. Hasta la fecha, su uso se centra en cultivos anuales, como hortícolas y ornamentales, en los que se han establecido valores de referencia para algunos cultivos como en tomate (Hartz, 2009). Se ha señalado que la concentración de NO_3^- en savia de peciolos es un buen indicador del estado nutricional de N en tomate (Farneselli *et al.*, 2014). Otros autores han hecho estudios en plantas leñosas como olivo, vid, nectarino y cítricos (Cadahía *et al.*, 2008).



Figura 3 Proceso de extracción de savia en hojas.

1.6.3. Diagnóstico visual

Se trata de una técnica cualitativa que trata de caracterizar las posibles alteraciones nutricionales del cultivo mediante el estudio de la sintomatología de este (Figura 4). La principal ventaja es el gran tamaño de la muestra, por lo que la precisión es bastante buena, pero el instrumento de análisis, la percepción visual del observador, hace que este método no sea cuantitativo. La evaluación puede mejorar con el uso de tablas de colores o escalas, así como con la utilización de cintas medidores de clorofilas por métodos no destructivos. Existen buenas colecciones de fotos de deficiencias que pueden ayudar a la interpretación (Bould *et al.*, 1983; Scarce *et al.*, 1983; Winsor *et al.*, 1983), pero estas fotos no existen para todos los cultivos ni para todos los elementos. Sólo puede llevarse a cabo con garantías de éxito en el caso de deficiencias o excesos severo y realizado a través de especialistas. Es un método tardío para el cultivo, ya que cuando se manifiestan los síntomas, el problema, en general, ya se encuentra avanzado.

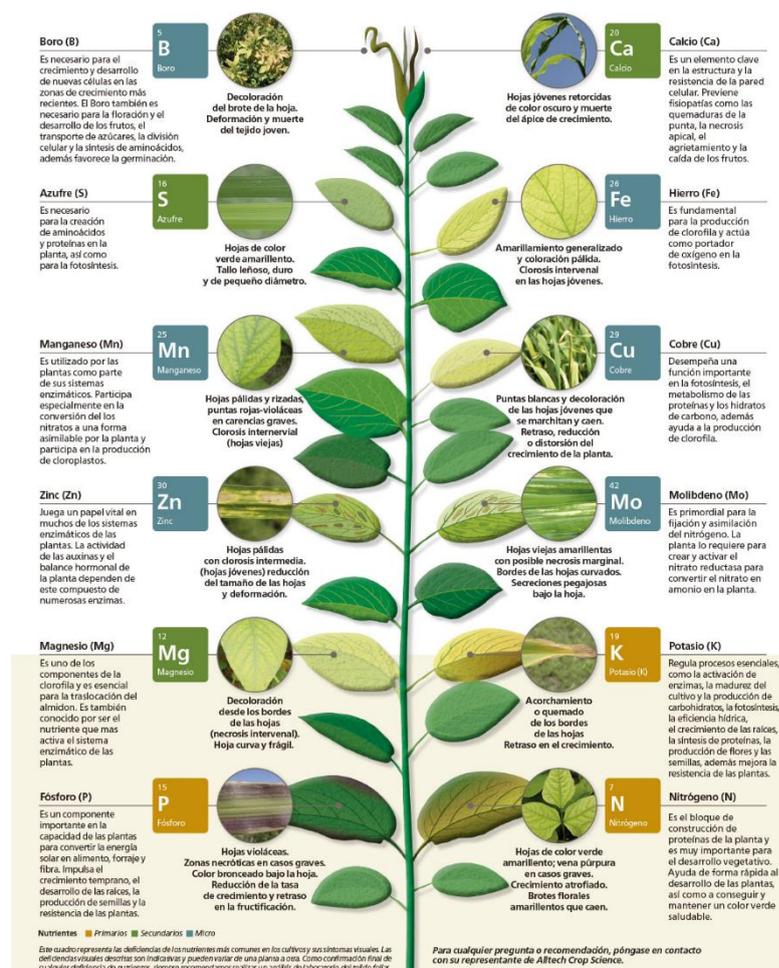


Figura 4 Guía visual para identificar las deficiencias de nutrientes en plantas. Imagen extraída del catálogo de recomendaciones de Altech Crop science Solutions (<https://www.alltech.com/crop-science>)

1.6.4. Fotografía aérea

La fotografía aérea supone un análisis de la superficie terrestre mediante el empleo de cámaras fotográficas instaladas a bordo de diversos medios aéreos y son la base estructural del cualquier Sistema de Información Geográfica (SIG). Se pueden diferenciar distintos tipos de fotografía aérea en función del tipo de cámara empleado. Una de ellas es la imagen infrarroja que permite desde el aire establecer diferencias en el color de follaje o en el vigor de las plantas, y que pueden ser atribuibles a un origen nutricional. Esta técnica permite construir mapas de vegetación e identificar no sólo sectores de gran superficie, sino que, incluso es capaz de detectar diferencias entre árboles individuales (Reginato *et al.*, 2001; Meron *et al.*, 2010). El problema reside en que no es posible diferenciar problemas nutricionales de otro tipo de problemas que afectan al desarrollo de los cultivos, por ejemplo, de carácter fitopatológico o estrés salino o hídrico. Las imágenes obtenidas a través de satélites combinan las ventajas de las imágenes por cámara con el ahorro económico que supone emplear satélites públicos como el de la Agencia Espacial Europea (ESA de sus siglas en inglés). Tiene el hándicap de que la precisión es menor frente a la imagen de la cámara, el tamaño de pixel (la máxima resolución que puede alcanzar una imagen de este tipo) máximo alcanzado es de 20 metros.

1.6.5. Diagnóstico bioquímico

Este análisis se basa en la influencia que un nutriente individual tiene en un paso metabólico específico. Se pueden utilizar como herramientas para el diagnóstico tanto los metabolitos relacionados con el nutriente, como las actividades enzimáticas. Así si un sistema enzimático es activado por un nutriente y el producto metabólico de la reacción está por debajo de lo normal se puede pensar que el nutriente activador está deficiente.

Una de las ventajas del diagnóstico metabólico es su alta sensibilidad, ya que una pequeña variación en el contenido del nutriente suele implicar una alta variación en el contenido del metabolito. Uno de los grupos de metabolitos mejor estudiados con fines de diagnóstico nutricional son los pigmentos fotosintéticos, principalmente las clorofilas, pero su variación no es indicativa de la variación de un nutriente específico y su análisis no puede dar información concluyente.

La determinación de la actividad enzimática puede ayudar a conocer si un nutriente está realizando correctamente su función en la planta (Valenzuela *et al.*, 1993) y el análisis se puede realizar por medio de dos aproximaciones. En primer lugar, mediante la determinación de la actividad enzimática basal, aunque no resulta ser un método de diagnóstico específico, ya que la actividad de la enzima puede depender de otros factores y elementos. La segunda posibilidad

es comparar la actividad enzimática basal con la actividad inducida tras la adición del nutriente que se desea estudiar (Bar-Akiva, 1971). Un elevado incremento en la actividad inducida respecto a la basal indica que el elemento estaba en deficiencia para el buen funcionamiento del sistema enzimático. Por ejemplo, una relación superior a 1,5 entre ambas actividades en el caso de la enzima nitrato-reductasa implicaría deficiencia de N (Cadahía *et al.*, 2000).

1.6.6. Medida de la clorofila

Es una herramienta complementaria de diagnóstico nutricional, usada hasta el momento casi exclusivamente en trabajos de investigación y consiste en el uso de un equipo portátil para medida de clorofila. La concentración de clorofila puede, teóricamente, ser usada como herramienta para determinar el estado nutricional de los nutrientes relacionados con el aparato fotosintético. Dentro de los medidores de clorofila que existen en el mercado destacan el SPAD Minolta 502 (Minolta CO., Osaka, Japan) y el Apogee MC-100. Ambos equipos miden la absorbancia entre dos longitudes de onda, entre el rojo, que es intensamente absorbido por la clorofila y las zonas cercanas al infrarrojo correspondiente al rojo lejano, que es utilizado como una longitud de onda de referencia (Markwell *et. al.*, 1995), sin embargo, ambos medidores de clorofilas, aunque presentan similitudes en los fundamentos de uso, difieren en los anchos de banda utilizados. El SPAD 502 utiliza dos longitudes de onda central de 650 nm (rojo) y 940 nm (infrarrojo) (Chang *et al.*, 2003) y el Apogee MC-100 (Apogee Instruments) longitudes de 665 nm (rojo) y 940 nm (infrarrojo) respectivamente. La medida no es destructiva en ambos equipos, lo que permite hacer un seguimiento continuado en la misma hoja, siendo el área estudiada de 2 x 3 mm y de 9 mm ó 5 mm de diámetro para SPAD 502 y Apogee MC-100 respectivamente.

1.6.7. Reflectancia

Se define como la fracción de luz incidente específica que una superficie refleja. Los medidores de reflectancia se emplean a nivel de cubierta vegetal. La reflectancia de las hojas a la luz en cierta longitud de onda puede ser una adecuada alternativa para estimar la concentración de nitrógeno en la planta, debido a la relación que existe entre el contenido de clorofila en las hojas y la cantidad de nitrógeno en el tejido foliar (Paulo de Lima *et al.*, 2012). Dependiendo de las longitudes que se midan se pueden obtener distintos índices de vegetación, siendo los más comúnmente usados para la determinación del estado nutricional de los cultivos el NVDI (Normal Difference Vegetation Index), NVDI-G (Normalized difference vegetation index-Green) y CCCI (Canopy Chlorophyll Content Index).

El NVDI se emplea para estimar la biomasa verde, el índice de área foliar y la fracción de radiación fotosintéticamente absorbida (Pinter *et al.*, 2003) a partir de los valores de reflectancia de las longitudes de onda del infrarrojo cercano y del rojo. El NVDI-G es una variación del índice anterior en la que en vez de utilizar los valores de longitudes de onda del rojo se utilizan los del verde y aunque su utilización es menor en que el NVDI, Gitelson *et al.*, 1997 indican que la banda del verde es sensible a un rango más amplio de concentraciones de clorofilas que la del rojo, por lo que es posible que este índice permita discernir mejor estados de deficiencias en las plantas. Sin embargo, el índice CCCI es un indicador del contenido de N de la cubierta vegetal y ha mostrado su utilidad en los cultivos de trigo (Fitzgerald *et al.*, 2010), algodón y brócoli (El-Shikha *et al.*, 2008). Algunos de los equipos más empleados son el CropScan, GreenSeeker, CropSpec y Crop Circle, que acoplados a tractores y con el software y hardware adecuados, pueden llevar a cabo una aplicación variable de fertilizante en función de la reflectancia de la cubierta vegetal (Scharf *et al.*, 2009). Para la aplicación de estas mediciones a la fertilización nitrogenada es muy recomendable disponer de una zona de referencia en la que el cultivo no tenga déficit de N, de esta manera las medidas en cada zona se pueden comparar con las obtenidas en la zona de no déficit (Scharf *et al.*, 2009). Barker *et al.*, (2010) han remarcado la importancia del desarrollo de algoritmos a partir de las medidas de reflectancia para la utilización de estos sensores como herramienta para el manejo del N en la producción agrícola, pero advierten que estos algoritmos están limitados a las condiciones del cultivo similares a las que se emplearon en su desarrollo. Un estudio reciente sobre la viabilidad económica de la aplicación de este tipo de medidas en el cultivo de maíz en EEUU mostró que en la mayoría de los campos estudiados hubo un beneficio económico (Roberts *et al.*, 2010). Weber (2009) describe en su tesis doctoral sobre la relación existente entre reflectancia y SPAD en trigo y encuentra ajustes estrechos entre ambas metodologías analizadas, por lo que ambos equipos pueden ser utilizados para estimar la concentración de N en un cultivo. Campillo *et al.*, 2016 han demostrado la eficacia de las medidas de reflectancia para diferenciar el estado nutricional del tomate de industria en relación al abono nitrogenado.

1.6.8. Análisis mineral de otros materiales

Además de en hojas, se está trabajando en métodos de diagnóstico precoz en el estado nutricional en plantas superiores mediante el análisis de flores. En este sentido, hay numerosos estudios publicados en distintas especies, pera (Sanz *et al.*, 1994), manzano (Sanz *et al.*, 1998), melocotonero (Abadía *et al.*, 2000; Igartua *et al.*, 2000), naranjo (Pestana *et al.*, 2001; Pestana *et al.*, 2004), almendro (Bouranis *et al.*, 2001) y café (Martínez *et al.*, 2003), olivo (Ben *et al.*, 2010). En algunos de los trabajos, se han establecido buenas correlaciones entre concentraciones de nutrientes en hojas y flores (González *et al.*, 2009; Mirabdolbaghi

et al., 2008; Sanz *et al.*, 1993b; Sanz *et al.*, 1994; Sanz *et al.*, 1995a y 1995b; Sanz *et al.*, 1995a, 1995b; Sanz *et al.*, 1995c). Otros autores como Pestana *et al.* (2005), apuntan la utilidad del análisis de flores en la estimación del índice de madurez en frutos de naranjo. Paniagua *et al.* (2004) han observado que el contenido de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn en distintas partes de la flor de melocotonero difiere y es crucial que se establezcan normas para la toma de muestra para poder comparar resultados. Aunque los resultados obtenidos hasta el momento son buenos, se necesita de un mayor esfuerzo investigador para su puesta a punto.

Un paso más dirigido al diagnóstico precoz en frutales de hoja caduca sería el análisis de yemas (flor, vegetativas y madera) durante la fase de reposo del árbol, e incluso, el análisis de madera (González *et al.*, 2006; Paniagua *et al.*, 2005; El-Jendoubi *et al.*, 2012). Estos antecedentes abren una ventana a la investigación para llegar a utilizar tejidos diferentes a la hoja como herramientas de diagnóstico y anticiparse sensiblemente el momento de intervención respecto al análisis foliar.

1.7. Consideraciones generales sobre los métodos de diagnóstico nutricional

Los métodos bioquímicos son los más estudiados hasta el momento, aunque los protocolos de medición están muy ajustados al elemento estudiado, la variabilidad que presentan dado el tamaño muestral estudiado por rendimiento económico, y la variabilidad a la hora de coger las muestras los descartan para ser usados en diagnósticos sistemáticos. En el otro extremo, el método visual es el que presenta menor variabilidad en el muestreo, ya que se analiza todo el cultivo, sin embargo, es el método más tardío para las correcciones nutricionales. En el análisis de savia, la savia puede variar por múltiples factores, por lo que su análisis debe usarse fundamentalmente para determinar problemas nutricionales puntuales, reservas a lo largo del ciclo o la incidencia de un fertilizante. La fotografía aérea infrarroja es una técnica que permite identificar diferencias entre árboles individuales pero no es posible diferenciar problemas nutricionales de otro tipo de problemas que afecten al desarrollo de los cultivos. El uso de la reflectancia y del SPAD solo se ha visto que está relacionado para determinados nutrientes. Y el análisis de flores y de yemas, aunque se han encontrado buenos resultados, requiere de un mayor esfuerzo investigador para su puesta a punto, en cuanto a la capacidad de detectar una deficiencia además de ser el subjetivo ya que depende de la pericia del observador.

Para que un método de diagnóstico nutricional ofrezca suficiente confianza como para emplearlo en la práctica, es necesario verificar su fiabilidad para las especies, variedades y condiciones concretas de un determinado cultivo de forma que se garantice la productividad y rentabilidad de una plantación. Esta necesidad en ocasiones exigirá la puesta a punto y reajuste de las técnicas disponibles, o bien el desarrollo de otras nuevas. En las Vegas del Guadiana de

Extremadura existe una falta de información relacionada con el estado nutricional obtenida en la zona para orientar la toma de muestras y diagnósticos mediante análisis foliar. Bueno *et al.* (1996) realizaron un estudio titulado “Caracterización de suelos y estudio del periodo de estabilización nutricional en frutales en las Vegas Bajas del Guadiana”, se trata de un trabajo orientado a realizar una evaluación del estado nutricional de melocotonero y ciruelo japonés en las Vegas del Guadiana, para verificar los periodos de estabilización y establecer las relaciones entre concentraciones de nutrientes y producción en estas condiciones climáticas y así disponer de la información suficiente para realizar un diagnóstico que sirva de apoyo a un programa de fertilización adecuado a las necesidades nutritivas de los frutales.

El diagnóstico nutricional es necesario para el buen uso de una de las prácticas más comúnmente usadas por los agricultores de todo el mundo para mejorar el rendimiento de sus plantaciones como es la fertilización. El objetivo es garantizar un correcto estado nutricional a los árboles a lo largo del ciclo de cultivo, evitando situaciones de “deficiencia” que afecten negativamente a la producción y/o calidad de la cosecha o la vida útil de la plantación, o excesos que incrementen innecesariamente los costes y aumenten los riesgos de contaminación de suelos y agua, o situaciones de toxicidad. En general las plantaciones de melocotonero y ciruelo japonés en Extremadura disponen de riego localizado y la mayor parte de los casos con fertirrigación.

1.8. Referencias

- FAOSTAT. (2019). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Hancock, J. F., Scorza, R., & Lobos, G. A. (2008). *Temperate Fruti Crop Breeding. Germplasm to Genomics*. (J. F. Hancock, Ed.). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6907-9_9
- Lozano, M., Bernalte, M. J., Ayuso, M. C., Vidal-Aragón, M. C., Hernández, M. T., Velardo, B., & Martín, M. J. (2007). Caracterización nutricional de diferentes variedades de ciruela japonesa (*Prunus salicina* Lindl.) producidas en Extremadura. *XI Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas*, 422–425.
- MAPA. (2004). *Métodos oficiales del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Okie, W. R. 2008. (2008). *Prunus domestica* (European plum) and *Prunus salicina* (Japanese plum). In J. Janick & R.E. Paull Cambridge (UK): Cambridge University Press (Ed.), *The Encyclopedia of Fruit and Nuts* (pp. 694–705).
- Okie, W. R., & Hancock, J. F. (2008). *Plums. Temperate Fruit Crop Breeding* (J. F. Hancock, Ed.).
- ONU. (2021). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/fruits-vegetables-2021/es/>
- Situación Producción Integrada en Extremadura. (2021). In *Junta de Extremadura*. <http://www.juntaex.es/con03/situacion-produccion-integrada-en-extremadura>

OBJETIVOS GENERALES

En esta tesis doctoral se ha estudiado el estado nutricional de numerosas parcelas de ciruelo japonés y melocotonero a lo largo de las Vegas del Guadiana en Extremadura. La cuantificación de los nutrientes se ha efectuado mediante diversos métodos de análisis, desde los realizados en laboratorio hasta los nuevos sistemas con dispositivos especializados.

El estudio ha abordado varios aspectos fundamentales: (i) Análisis, comparación y valoración del estado nutricional de variedades de ambas especies localizadas en zonas de cultivo diferentes. (ii) Realizar un seguimiento de la concentración de nutrientes minerales en planta para ciruelo japonés, desde su contenido en flores hasta la caída de hojas, tomando como objetos de muestreo plantaciones sometidas a un plan de abonado y otras sin abonar. (iii) Validar cuatro aparatos de toma de medidas no destructivas de estado nutricional de planta en hoja.

Los objetivos planteados se desglosan en los siguientes objetivos parciales:

- ⇒ Capítulo I. Empleando los protocolos establecidos en bibliografía hasta el momento y los niveles de referencia publicados para ambas especies, se evalúa el estado nutricional de las plantaciones de ciruelo japonés y melocotón en Extremadura, buscando posteriormente, si las diferencias existentes se deben a la localización de las parcelas, la longitud del ciclo u otros factores.

- ⇒ Capítulo II. Caracterizar la dinámica de movimiento de nutrientes en árboles de ciruelo japonés. Identificar aquellos periodos en los que la evolución en la concentración de estos permanece estable y aquellos puntos en los que se detectan diferencias entre árboles que han recibido un abonado y los que no; buscando el momento óptimo para llevar a cabo un análisis nutricional de las plantaciones lo más temprano posible. Por último, se plantea emplear las flores de los árboles como órganos para la detección precoz de posibles deficiencias nutricionales a lo largo del ciclo.

- ⇒ Capítulo III. Evaluar la calidad de la información proporcionada por cuatro aparatos de medición del estado nutricional de planta. Se analizará la precisión que estos aparatos poseen tomando como referencia los valores obtenidos por análisis bioquímico en las mismas plantaciones.

CAPÍTULO 1.

Estado nutricional de ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl.) y melocotonero (*Prunus persica*, L. Batsch) en las Vegas del Guadiana (Extremadura)

3.1. Introducción

La importancia del sector frutícola en el conjunto de la economía de la región extremeña y su relevancia mundial, especialmente en la producción y comercialización de la fruta de hueso, se ve favorecido en los últimos tiempos por la modernización del sector gracias a la introducción de nuevos cultivares con mejores salidas al mercado, la reconversión y las mejoras estructurales que permiten una producción cada vez más adaptada a las demandas del mercado por parte de los productores. Entre los frutales de hueso se incluye, ciruelo, melocotonero y cerezo, que representan a nivel nacional el 47%, 8 % y 27 % respectivamente de la superficie nacional, y en producción, un 50 % en ciruelo, un 6% en melocotón y un 27 % en cerezo de las toneladas que se producen anualmente en España (MAPA, 2020). Observando estas cifras se pone de manifiesto que el sector de la fruta en nuestra región representa un pilar en el desarrollo económico, social y ambiental de Extremadura. La mayoría de producción de cereza en Extremadura se ubica en el norte de la provincia de Cáceres, principalmente en la comarca del Valle del Jerte, aunque también se extienden a La Vera, Las Hurdes, en el Valle del Ambroz y en las Vegas del Guadiana, por el contrario, el cultivo del ciruelo y del melocotón que necesitan otras condiciones climatológicas distintas, se ubica principalmente a lo largo de todas las Vegas del Guadiana (Vegas Altas y Vegas Bajas).

El manejo del cultivo de los frutales, entre el que se encuentra la fertilización, va a depender entre otros factores, de la localización en donde se encuentren. Las características edafoclimáticas de la zona de cultivo son determinantes, así en las Vegas Altas del Guadiana caracterizados por suelos con una textura Franco Arenosa frente a los suelos de Vegas Bajas con una textura Franca o Franca Arcillosa van a hacer que las técnicas de cultivo empleadas sean distintas para rentabilizar la absorción del agua y los elementos minerales. En el caso del cerezo, aunque es posible producir cerezas en otras condiciones de suelo y climatología distintas a las del Valle del Jerte, la producción de esta comarca se ve favorecida por las características de suelo y microclima, que hacen que la calidad en los frutos sea distinta a la del resto de las zonas cultivadas avalada por la Denominación de Origen Protegida “Cereza del Jerte”.

Para que un cultivo pueda alcanzar su máxima productividad es indispensable mantenerlo en unas buenas condiciones de nutrición, y por tanto es necesario fijar unas normas de fertilización, que permitan cubrir la demanda de nutrientes por parte de la planta. En este sentido es indispensable disponer de una serie de instrumentos como el análisis foliar, el análisis de suelo y el análisis de agua de riego, que correctamente interpretados suministrarán suficiente información para racionalizar el aporte de nutrientes y alcanzar o mantener el adecuado estado nutritivo del cultivo.

Además de la localización, otro de los aspectos a tener en cuenta para que el estado nutricional de la planta sea correcto, es conocer el ciclo anual del frutal. Como consecuencia de un mercado cada vez más competitivo, se tiende a establecer cultivares precoces, con un periodo de crecimiento más corto, permitiendo ser cosechados antes en comparación con los cultivares más tradicionales. Es necesario ajustar la dosis y época de aplicación de los fertilizantes a la duración de ciclo vegetativo de las plantas.

Algunos frutales de hueso presentan un inconveniente añadido, la autoincompatibilidad en ciruelo (Guerra et al., 2011) y cerezo (Rodrigo et al., 2019), que les exige de variedades polinizadoras compatibles y coincidentes en floración para garantizar la producción (Guerra et al., 2012). En cerezo, Ono et al., (2018) han encontrado en cultivares de origen español una mutación en un gen modificador que confiere autocompatibilidad en el polen, abriendo un nuevo campo de estudio para la implementación de estas variedades en explotaciones comerciales.

Las herramientas clásicas que habitualmente se utilizan para conocer el estado nutricional de los cultivos son: el análisis foliar, análisis de suelo y análisis del agua de riego, y con base en estas informaciones, se diseñan o se corrigen los programas de fertilización.

El análisis del tejido foliar permite conocer la concentración de nutrientes en una parte de una planta o incluso en su totalidad, en un determinado momento de su desarrollo. Para el diseño de los programas de fertilización es muy útil, porque permite cuantificar qué cantidad de cada nutriente extrae la planta a lo largo de su ciclo productivo, ajustando las dosis de abonado a las necesidades del cultivo. De forma tradicional, las hojas se han considerado como tejido de referencia para el diagnóstico nutricional, ya que aunque se trata de una medida destructiva, presenta grandes ventajas, como su fácil recogida, el no comprometer la producción y permitir hacer muestreos antes de la formación del fruto, pudiendo realizar correcciones si fuera necesario. Por el contrario, la variabilidad de hojas que se encuentran en la planta al mismo tiempo hace que sea estrictamente necesario el establecer protocolos de toma de medida para garantizar su fiabilidad.

En el diagnóstico foliar es fundamental establecer la fecha óptima para la recogida del material, siendo imprescindible fijar el momento fenológico, ya que la composición mineral de la planta varía durante el ciclo vegetativo. En el hemisferio norte está aceptado que la toma de muestras en frutales se debe realizar entre la segunda quincena de julio y la primera de agosto (Lattata, 1987b), aunque se han propuesto otras fechas anteriores. Para la mayoría de los cultivares de frutales de hueso en nuestra área, esta fecha se corresponde entre los 120 y 150 días después de plena floración (Espada, 1990). En plantaciones de melocotonero situadas en el Valle del Ebro, Sanz & Montañés, (1993) establecieron la recogida de hojas 60 días después de plena floración como diagnóstico precoz. Sin embargo, tanto a los 60 como a los 120 días después de plena

floración, la mayoría de los cultivares de melocotonero y ciruelo japonés se encuentran ya recolectadas o a punto de serlo. Por lo tanto, las posibles deficiencias nutricionales ya habrían afectado a la cosecha y sería necesario esperar al año siguiente para saber si ha tenido efecto el abonado de corrección adoptado. Por ello, conocer la evolución de los nutrientes a lo largo de todo el ciclo vegetativo ofrece la posibilidad de intervenir de forma prematura y estudiar la eficacia del abonado de corrección realizado, siendo muy interesante en el caso de cultivares precoces. En este sentido, trabajos llevados a cabo en Australia establecieron factores de corrección en melocotonero para ajustar los contenidos foliares de muestras tomadas antes o después de la época estándar y así poder compararlos con los de referencia (D. R. Leece & Gilmour, 1974). También se han establecido para otras especies como ciruelo europeo (D. R. Leece, 1975a), cerezo (D. R. Leece, 1975b) y albaricoque (D. Leece & Ende, 1975).

En Extremadura, se realizó un estudio para caracterizar la disponibilidad de nutrientes en diferentes suelos de la CCAA en los que se situaban plantaciones frutales. Al mismo tiempo, se determinó el periodo de estabilización nutricional de nutrientes en hojas de frutales situados en las Vegas Bajas del Guadiana (Bueno et al., 1996). Del estudio se concluyó que la época de estabilización nutricional varía con la especie e incluso entre cultivares de la misma especie. Sin embargo, de forma general se observó un periodo de solapamiento para todas las especies y cultivares estudiados, comprendido entre el 20 y el 30 de agosto (150 días después de plena floración), en el que se producía el periodo de estabilización de los elementos minerales en hojas de frutales (datos no publicados).

A la hora de realizar un muestreo, la planta presenta distintos tipos de hojas, nuevas, maduras y senescentes. Según la especie el tipo de hoja a muestrear es distinto: en coliflor, una hoja recientemente expandida (Prieto et al., 2014); en tomate, hojas entre el segundo y tercer racimo (Corradini, 2023); en melocotonero y pera, hojas del tercio central del brote del año (Montañés et al., 1990), (González et al., 2006); en olivo, hojas maduras de la parte central de crecimiento del año (Nieto et al., 2006); en ciruelo, hojas del tercio medio de los brotes del año (Barroso, 1998) y, a la altura del hombro y alrededor de toda la copa (González et al., 2006). En frutales, el nivel de nutrientes en hojas varía durante el crecimiento y desarrollo de los frutos, así como también si los brotes son vegetativos o frutíferos, por ello es habitual tomar como órgano de muestreo la rama del crecimiento del año (Zoppolo & Fasiolo, 2016). Las hojas recogidas deben estar libres de daños mecánicos, de insectos y de enfermedades, de lo contrario los resultados de la determinación química podrían ser erróneos.

El contenido de un nutriente en la planta no es constante, sino que varía a lo largo de su ciclo biológico. Leece & Gilmour, (1974) establecieron en melocotonero el periodo de menor cambio en la composición de la hoja (pleno verano) comprendido entre 8 y 12 semanas después de plena floración, que corresponde con los 120 días después de plena floración (Montañés & Sanz, 1994) en melocotonero situado en el Valle del Ebro. En

ciruelo no hay información en bibliografía a nivel nacional ni regional del momento óptimo para diagnóstico foliar.

Para poder llevar a cabo el diagnóstico nutricional por medio del análisis foliar, es necesario disponer de unos valores de referencia (óptimos nutricionales) que permitan la correcta interpretación de los datos analíticos. El inconveniente de los estándares determinados es que están elaborados bajo unas condiciones de suelo, temperatura, patrón, cultivar, desarrollo del cultivo, estado sanitario... determinados, por lo que es arriesgado compararlos en cultivos que con características edafoclimática distintas.

En cuanto a los valores de referencia, existen diferentes tablas en las que se establecen rangos de concentración de nutrientes. En general estas tablas establecen para un cultivo unos valores de referencia como "exceso", "normal" o "deficiente" (Cobianchi et al., 1989; Jones et al., 1991a; Sanz et al., 1993), y permiten clasificar el estado nutricional del mismo. En las numerosas tablas publicadas hay una gran variación en los niveles de referencias de los nutrientes, de ahí la importancia de verificar y reajustar estos niveles para unas condiciones de cultivo concretas. Por ejemplo, (Sanz & Montañés, 1993) han establecido valores de referencia a 60, 90, 120, 150 y 180 días después de plena floración para melocotonero en el Bajo Aragón. En nuestra región, (Coletto et al., 1989), han establecido valores críticos y satisfactorios de nutrientes en hojas en frutales de regadío, en el que se engloban a todas las especies frutales, mientras que (Jones et al., 1991a) las han publicado para ciruelo europeo y melocotonero, aunque bajo unas condiciones climáticas en particular. No se han encontrado valores de referencia para ciruelo japonés. Es de especial importancia constituir niveles de referencia en nuestras condiciones climáticas, lo que permitiría hacer posibles correcciones de abonado, ajustando las dosis con el fin de obtener la máxima producción y evitando la contaminación del medio ambiente.

El objetivo de este capítulo es realizar una evaluación del estado nutricional de diversos cultivares de ciruelo japonés y melocotonero, ubicados a lo largo de las Vegas del Guadiana. Para lograr este objetivo se emplearán los protocolos descritos en bibliografía de análisis bioquímico y los valores de referencia publicados para cada especie. Además, se buscarán posibles diferencias existentes debidas a la localización, la longitud del ciclo o la variedad.

Tabla 1- 1 Características de las parcelas comerciales de ciruelo japonés, nomenclatura, variedades, longitud de ciclo, año de plantación, superficie de la parcela (ha) y marco de plantación (m) en los años de estudio 2004, 2005, 2018 y 2019.

Nomenclatura	Variedad	Longitud de ciclo	Año plantación	Superficie parcela (ha)	Marco plantación (m)
Parcelas objeto de estudio en los años 2004 y 2005					
RB_1	Red Beaut	Corto	1998	1.00	5x3
RB_2	Red Beaut	Corto	1997	1.25	5x4
RB_3	Red Beaut	Corto	1994	3.35	5x5
RB_4	Red Beaut	Corto	1997	2.00	5x5
RB_5	Red Beaut	Corto	1997	0.60	5x4.75
BA_1	Black Amber	Corto	1990	2.25	5x3
BA_2	Black Amber	Corto	1983	1.00	5x2.75
BA_3	Black Amber	Corto	1996	0.18	5x3
BA_4	Black Amber	Corto	1992	1.80	5x3
BA_5	Black Amber	Corto	1996	0.10	5x3
SG_1	Sun Gold	Largo	1994	4.45	5x4
SG_2	Sun Gold	Largo	1995	0.75	5x4
SG_3	Sun Gold	Largo	1994	1.42	5x4
SG_4	Sun Gold	Largo	1996	2.00	5x4
SG_5	Sun Gold	Largo	1995	1.00	5x4
L_1	Larry Ann	Largo	1996	1.10	5x2.7
L_2	Larry Ann	Largo	1999	0.90	5x2.75
L_3	Larry Ann	Largo	1997	2.94	5x3
L_4	Larry Ann	Largo	1992	0.94	5x3
L_5	Larry Ann	Largo	1996	0.25	4.5x3
Parcelas objeto de estudio en los años 2018 y 2019					
RB_6	Red Beaut	Corto	2005	1.00	6x4
A_1	Angeleno	Largo	2010	9.03	6x3

Tabla 1- 2 Características de las parcelas comerciales de melocotonero, nomenclatura, variedades, longitud de ciclo, año de plantación, superficie de la parcela (ha) y marco de plantación (m) en los años de estudio 2004 y 2005

Nomenclatura	Variedad	Longitud de ciclo	Año plantación	Superficie parcela (ha)	Marco plantación (m)
SL_1	Spring Lady	Corto	1995	2.28	5x3
SL_2	Spring Lady	Corto	1995	1	5x3
SL_3	Spring Lady	Corto	1998	1.45	5x3
SL_4	Spring Lady	Corto	1997	1	5x3
SL_5	Spring Lady	Corto	1998	1.15	5x3
RG_1	Royal Glory	Corto	1996	0.9	5x3
RG_2	Royal Glory	Corto	1998	0.62	5x3
RG_3	Royal Glory	Corto	1994	0.9	5x3
RG_4	Royal Glory	Corto	1998	1	5x4
RG_5	Royal Glory	Corto	1997	0.75	5x3
RL_1	Rich Lady	Largo	1994	1.5	5x3
RL_2	Rich Lady	Largo	1997	0.5	5x3
RL_3	Rich Lady	Largo	1997	1	5x3
RL_4	Rich Lady	Largo	1995	1.85	5x3
RL_5	Rich Lady	Largo	1997	0.81	5x3
EL_1	Elegant Lady	Largo	1998	1.6	5.2x3
EL_2	Elegant Lady	Largo	2000	1.1	5x3
EL_3	Elegant Lady	Largo	2000	0.45	5x3
EL_4	Elegant Lady	Largo	2000	0.95	5x2.75
EL_5	Elegant Lady	Largo	1999	1.33	5x3

En las parcelas comerciales de ciruelo japonés la toma de muestra de las variedades ‘Red Beaut’, ‘Black Amber’, ‘Sun Gold’ y ‘Larry Ann’ se realizó durante los años 2004 y 2005 y; en 2018 y 2019 en la parcela experimental con las variedades ‘Red Beaut’ y ‘Angeleno’. En melocotonero la toma de muestras de las variedades ‘Spring Lady’, ‘Rich Lady’, ‘Royal Glory’ y ‘Elegant Lady’ se realizó durante los años 2004 y 2005 en parcelas comerciales.

Para ambas especies, durante los años 2004 y 2005 se seleccionaron 3 árboles. En todos los casos, la selección de árboles en cada una de las parcelas se hizo al azar, y siempre teniendo en cuenta que estuvieran en plena producción y sanos.

3.2.2. Análisis foliar

De cada uno de los árboles seleccionados recogí 100 hojas sanas situadas en el tercio medio de los brotes del año Figura 1- 2 a la altura de los ojos y alrededor de toda la copa. El muestreo lo hicimos a mediados de julio que se corresponde con los 120 días después de plena floración (ddpf), momento descrito como idóneo para la caracterización nutricional de los árboles según (Lattata, 1987a) y (Martin-Prével et al., 1987) .

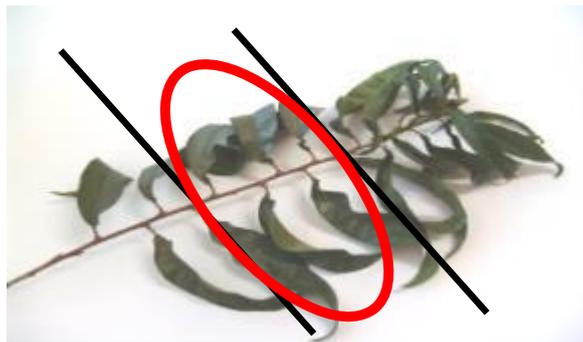


Figura 1- 2 Brote de melocotonero. La elipse indica el lugar para la recogida de las hojas que se corresponde con el tercio medio de los brotes del año.

Tras su recogida, guardé las hojas en bolsas de papel y se mantuvieron refrigeradas en una nevera portátil para su procesamiento posterior en el laboratorio. Para el acondicionamiento de las hojas y su determinación analítica empleamos el protocolo de lavado descrito por (Jomaa, 2002). Posteriormente las hojas se secaron a 60°C en estufa de ventilación forzada hasta peso constante y, finalmente realizamos una molienda con el cabezal de molienda por corte MF 10 (IKA) con un tamiz MF 0.25 Sieve.

Las determinaciones de Nitrógeno foliar se hicieron con un analizador elemental LECO FP-528 siguiendo el método Dumas (AOAC, 2005) , la determinación de Fósforo se realizó de acuerdo con el método desarrollado por (Cottenie, 1984) y la determinación de Potasio siguiendo el protocolo descrito por (CTADF, 1969) . Las determinaciones de Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn se llevaron a cabo siguiendo la metodología descrita por (Pinta, 1973) .

A diferencia de lo que ocurre en el ciruelo japonés, en el melocotonero se dispone de bibliografía para determinar el estado nutricional de esta especie, Heras et al., (1990) establece que el momento óptimo para la toma de muestras es a los 60 ddpf, contrastando con Montañes et al., (1990) o Jones et al., (1991). De acuerdo a la fecha de muestreo y empleando los mismos protocolos en la toma de muestras y análisis, se

observa que la concentración óptima de los elementos minerales es distinta, sin duda, por el hecho de que los estados fenológicos son diferentes y por tanto, también lo son las necesidades de los cultivos.

Tabla 1- 3 Diferencia en los valores de referencia de los elementos minerales de acuerdo con la fecha de muestreo en melocotonero

Melocotonero			
Autor	(Heras et al., 1990)	(Montañas et al., 1990)	(Jones et al., 1991b)
Elementos minerales	60 ddpf	120 ddpf	120 ddpf
N (%)	3,84	3,31	1,8-3,5
P (%)	0,26	0,16	0,13-0,25
K (%)	2,68	2,51	1,75-3
Ca (%)	1,49	2,09	1,5-2,7
Mg (%)	0,61	0,82	0,3-0,8

Los valores de referencia empleados para ambas especies han sido los descritos por Jones et al. (1991), quien estableció unos umbrales de concentración de nutrientes en hoja para su correcto funcionamiento fisiológico. (Tabla 1- 4); aun perteneciendo a la misma familia, las necesidades cambian ligeramente.

Tabla 1- 4 Valores de referencia empleados para ambas especies descritas (Jones et al., 1991)

Elementos minerales	Ciruelo		Melocotonero	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
N (%)	2,4	3	1,8	3,5
P (%)	0,14	0,25	0,13	0,25
K (%)	1,6	3	1,75	3
Ca (%)	1,5	3	1,5	2,7
Mg (%)	0,3	0,8	0,3	0,8
Fe (ppm)	100	250	50	800
Cu (ppm)	6	16	5	20
Mn (ppm)	40	160	40	230
Zn (ppm)	20	100	15	125

3.2.3. Análisis de suelo

Con el fin de conocer las características físico-químicas del suelo realicé dos mediciones, una en 2003 en cada una de las parcelas comerciales en ambas especies, y otra en 2018 en la parcela experimental de ciruelo; en cada muestreo seleccioné dos puntos que estuvieran cerca de las raíces de uno de los árboles muestreados.

De cada uno de los puntos con la ayuda de una barrena manual (Eijkkelkamp, modelo Edelman, tipo combinado) (Figura 1- 3) extraje 4 muestras de tierra a las profundidades de: 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm y 90-120 cm. Las muestras de la misma profundidad las mezclé y homogeneicé, resultando un total de 4 muestras de suelo por parcela que guardé en bolsas de polietileno, selladas inmediatamente después de la toma de muestras y mantenidas refrigeradas en una cámara a 4°C hasta su posterior procesado.

Para la determinación de las características físico-químicas del suelo se extendieron las muestras de suelo en recipientes individuales con el fin de secarlas al aire libre durante un periodo de 5 a 7 días (Figura 1- 4), para posteriormente pasarlas por un tamiz con luz de malla de 2.0 mm (Figura 1- 5), siguiendo el protocolo descrito por VWR (Test Sieve ISO 3310, NF ISO 3310, BS 410).



Figura 1- 3 a) Barrena para la extracción manual de muestras de tierra modelo Eijkkelkamp. b) Muestras de suelo fresco.



Figura 1- 4 Secado de muestras de suelo a temperatura ambiente.

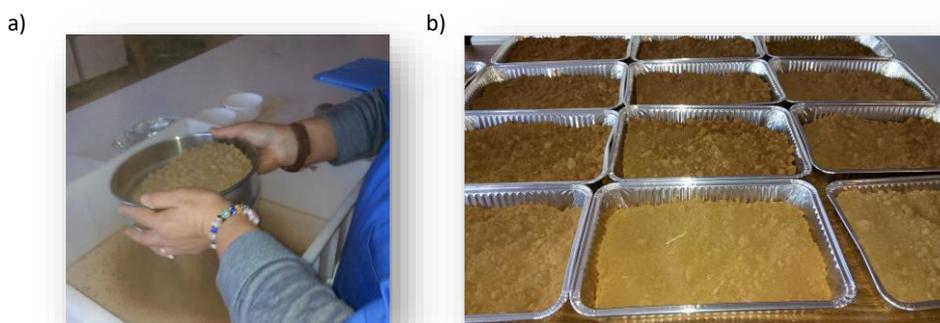


Figura 1- 5 a) Proceso de tamizado de las muestras de suelo y b) Muestras de suelo después del tamizado

Las determinaciones analíticas que se efectuaron se hicieron siguiendo los protocolos establecidos de acuerdo con las referencias publicadas para cada uno (Tabla 1- 5), para la interpretación de resultados se buscaron escalas fáciles de visualizar y con solidez bibliográfica, se muestran en Tabla 1- 6. En la tabla Tabla 1- 7 se indican los valores de referencia de las características físico-químicas en muestras de suelo recogidas en el para pH (1/2,5 s/a), CE (mmhos/cm), mo (%), CIC, N total (%), P asimilable (ppm), K⁺ (meq/100g), Ca²⁺ (meq/100g), Mg²⁺ (meq/100g) y Na⁺ (meq/100g).

Capítulo 1

Tabla 1- 5 Tipos de determinaciones analíticas efectuadas y sus protocolos

Determinación	Método
Textura	(Bouyoucos, 1936)
pH	(BOE, 1976)
Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	(Richards, 1954)
Materia Orgánica Oxidable (%)	(Nelson & Sommers, 2015)
Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100g)	(BOE, 1976)
N total (%)	(AOAC, 1995)
P asimilable (ppm)	(Olsen & Sommers, 1982)
K (meq/100g), Ca asimilable (meq/100g), Mg (meq/100g) y Na (meq/100g)	(Thomas, 1982)

Tabla 1- 6 Escalas empleadas para la interpretación de resultados en los valores analíticos realizados

Determinación	Interpretación
Textura	(USDA, 1999)
pH	(Villarroel, 1988)
Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	(Richards, 1964)
Materia Orgánica Oxidable (%)	(Walkley, 1934)
Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100g)	(Villarroel, 1988)
N total (%)	(AOAC, 2000)
P asimilable (ppm)	(Olsen & Sommers, 1982)
K (meq/100g), Ca asimilable (meq/100g), Mg (meq/100g) y Na (meq/100g)	(Villarroel, 1988)

Capítulo 1

Tabla 1- 7 Clasificación de las características físico-químicas en muestras de suelo de los parámetros analizados.

Determinación	Sigla	Descripción
pH (1/2.5 s/a)	DA	Débilmente alcalino
	MA	Moderadamente alcalino
	FA	Fuertemente alcalino
	N	Neutro
	DAC	Débilmente ácido
	MAC	Moderadamente ácido
	FAC	Fuertemente ácido
CE (mmhos/cm)	P	Prosperan todos los cultivos
mo (%)	MB	Muy Bajo
	B	Bajo
CIC (meq/100g)	MB	Muy bajo
	B	Bajo
	M	Moderado
N total (%)	MB	Muy Bajo
	B	Bajo
	A	Alto
	MA	Muy Alto
P (ppm)	MB	Muy bajo
	B	Bajo
	M	Medio
	A	Alto
	MA	Muy alto
K ⁺ (meq/100g)	MB	Muy bajo
	B	Bajo
	M	Moderado
	A	Alto
Ca ²⁺ (meq/100g)	MB	Muy Bajo
	B	Bajo
	M	Moderado
	A	Alto
Mg ²⁺ (meq/100g)	B	Bajo
	M	Moderado
Na ⁺ (meq/100g)	M	Moderado

	A	Alto
	F	Franca
	FA	Franco Arenosa
	FARC	Franco Arcillosa
Textura	A	Arcillosa
	FAA	Franco Arcillo-Arenosa
	FL	Franco Limosa

3.2.4. Plan de abonado

Los aportes de N, P y K inorgánico se efectuaron mediante fertirrigación. Las dosis de fertilizante aplicadas en las variedades de estudio durante los años 2004 y 2005 fueron marcadas por los técnicos de las cooperativas y se realizaron en función de la producción esperada para ciruelo japonés y melocotonero respectivamente (Tabla 1- 8 y Tabla 1- 9).

En la parcela experimental en las variedades Red Beaut y Angeleno, establecimos dos tratamientos, uno con solución inorgánica nitrogenada, fosfórica y potásica en función de la estimación de la producción anual y, otro tratamiento en el que no se realizó aplicación alguna de nitrógeno, fósforo y potasio (Tabla 1- 10).

Capítulo 1

Tabla 1- 8 Cantidad de N, P y K (kg/ha) aplicados en parcelas comerciales de ciruelo japonés durante los años 2004 y 2005.

Nomenclatura	Nitrógeno (UF)		Fósforo (UF)		Potasio (UF)	
	2004	2005	2004	2005	2004	2005
RB_1	243	243	89	89	304	304
RB_2	119	119	58	58	151	151
RB_3	354	354	164	164	469	469
RB_4	117	117	44	44	152	152
RB_5	62	62	22	22	76	76
BA_1	151	151	144	144	196	196
BA_2	67	67	79	79	86	86
BA_3	108	108	102	102	140	140
BA_4	77	77	82	82	96	96
BA_5	60	60	235	235	108	108
SG_1	292	292	142	142	469	469
SG_2	92	92	36	36	137	137
SG_3	132	132	62	62	188	188
SG_4	337	337	160	160	464	464
SG_5	234	234	89	89	304	304
L_1	80	80	76	76	104	104
L_2	24	24	80	80	72	72
L_3	277	277	297	297	348	348
L_4	129	129	123	123	168	168
L_5	86	86	53	53	113	113

Capítulo 1

Tabla 1- 9 Cantidad de N, P y K (kg/ha) aplicados en parcelas comerciales de melocotonero durante los años 2004 y 2005.

Nomenclatura	Nitrógeno (UF)		Fósforo (UF)		Potasio (UF)	
	2004	2005	2004	2005	2004	2005
SL_1	405	405	148	148	507	507
SL_2	81	81	30	30	101	101
SL_3	243	243	89	89	304	304
SL_4	108	108	41	41	131	131
SL_5	74	74	39	39	124	124
RG_1	155	155	148	148	200	200
RG_2	86	86	83	83	108	108
RG_3	129	129	124	124	162	162
RG_4	108	108	103	103	135	135
RG_5	210	210	287	287	295	295
RL_1	162	162	59	59	203	203
RL_2	62	62	22	22	76	76
RL_3	102	102	37	37	127	127
RL_4	162	162	59	59	203	203
RL_5	118	118	37	37	149	149
EL_1	99	99	85	85	123	123
EL_2	36	36	120	120	233	233
EL_3	95	95	91	91	120	120
EL_4	113	113	133	133	142	142
EL_5	219	219	234	234	261	261

Tabla 1- 10 Cantidad de N, P y K (kg/ha) aplicados mediante fertirrigación en la parcela experimental (RB_6 y A_2) durante los años 2018 y 2019.

Nomenclatura	Nitrógeno (UF)		Fósforo (UF)		Potasio (UF)	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
RB_6	133	111	66	52	248	123
A_2	194	176	96	97	300	290

3.2.5. Análisis de agua

En las parcelas comerciales situadas en las Vegas Altas, el agua de riego procede de pozos que en algunos casos se suplementa con el agua del Canal de Orellana, mientras que en las parcelas situadas en las Vegas Bajas el agua de riego proviene del Canal de Montijo, en ambos casos el agua de riego procede de la Cuenca Hidrográfica del Guadiana. El sistema de riego para todas las parcelas es de riego localizado, trasvasando el agua de las acequias al pozo y de ahí a las plantaciones. Las muestras de agua las recogí antes de la incorporación de los fertilizantes en el sistema de riego con el fin de evitar contaminación de las muestras y por tanto resultados erróneos.

En los años 2004 y 2005 recogí una muestra de agua de riego de cada una de las parcelas comerciales de ciruelo japonés y melocotonero. En 2018 y 2019 recogí muestras de agua de riego de la parcela experimental de ciruelo japonés para realizar una caracterización química del agua de riego. Las muestras de agua las guardé inmediatamente en una nevera portátil para evitar evaporación y/o volatilizaciones y las congelé a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ para su posterior análisis químico en laboratorio.

Las determinaciones realizadas en laboratorio fueron: concentración de Ca^{2+} (mg/l), Mg^{2+} (mg/l), Na^{+} (mg/l) y NO_3^{-} (mg/l) siguiendo el protocolo descrito en (APHA-AWWA-WEF, 1995) y para NH_4^{+} (ppm) el descrito por (APHA-AWWA-WEF, 1999). El cálculo de la Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) se hizo con el conductímetro EC-Metro Basic 30 (Crison Instruments).

3.2.6. Datos agroclimáticos.

La información relativa a los datos climáticos de temperatura y precipitación fueron recogida en los años 2004 y 2005 en la estación agroclimática de Don Benito (BA08) y la recogida en los años 2018 y 2019 en la estación agroclimática de La Orden (BA205) (Figura 1- 6 y Figura 1- 7) a partir de los datos obtenidos de la Red de Asesoramiento al Regante de Extremadura (REDAREX) de la Junta de Extremadura. Los datos que registra son: temperatura y humedad relativa; precipitación, velocidad y dirección del viento; radiación solar y; algunas, flujo de calor y temperatura de suelo, a partir de dichos datos, se calcula la Evapotranspiración de referencia por diversos métodos.



Figura 1- 6 Estaciones agroclimáticas Don Benito (a) y La Orden (b) en Extremadura. Modelo de estación agroclimática (c). Imágenes tomadas de la página web de REDAREX

Estación: Don Benito (BA08)				Estación: La Orden (BA205)			
Ficha				Ficha			
Nombre: Don Benito				Nombre: La Orden			
Provincia: Badajoz Municipio: Don Benito				Provincia: Badajoz Municipio: Lobón			
Localización				Localización			
	Longitud	Latitud	Altitud		Longitud	Latitud	Altitud
Coord. geográficas:	055345710W	385539620N	267	Coord. geográficas:	063956180W	385136600N	188
	X	Y	Huso		X	Y	Huso
Coord. UTM:	248949	4312738	30	Coord. UTM:	702548	4303848	30

Figura 1- 7 Ubicación de las estaciones agroclimáticas Don Benito y Badajoz

En la Figura 1- 8 se representa la evolución estacional de las temperaturas medias máximas y mínimas y la pluviometría total mensual de los años 2004, 2005, 2018 y 2019. Los datos fueron recogidos corresponden a las estaciones agroclimáticas La Orden (BA205) localizada en las Vegas Bajas del Guadiana y Don Benito (BA08) situada en las Vegas Altas del Guadiana (Figura 1- 9). Se observó que la precipitación mensual fue más abundante en Vegas Altas del Guadiana que en Vegas Bajas durante los años 2004 y 2005. En la evolución de la temperatura máxima se observó en Vegas Altas y Vegas Bajas que los meses más calurosos fueron junio en el año 2004 y, agosto durante 2005, 2018 y 2019.

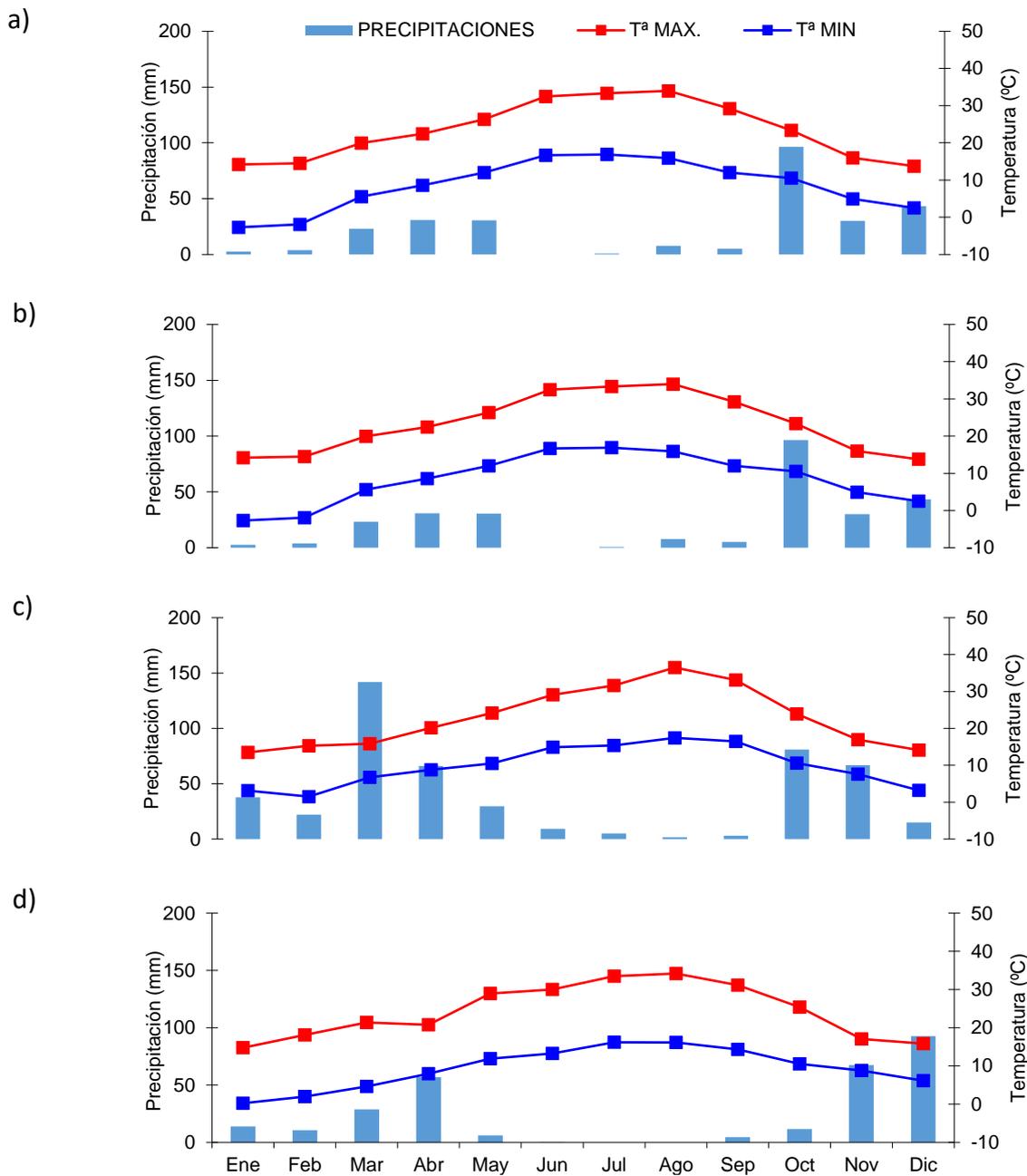


Figura 1- 8 Diagrama de ombrotérmico de los datos obtenidos en la estación agroclimática de La Orden (Vegas Bajas) durante los años a) 2004; b) 2005; c) 2018 y d) 2019). La Temperaturas (líneas), y precipitaciones (barras) representan la media mensual y las precipitaciones supone la suma mensual.

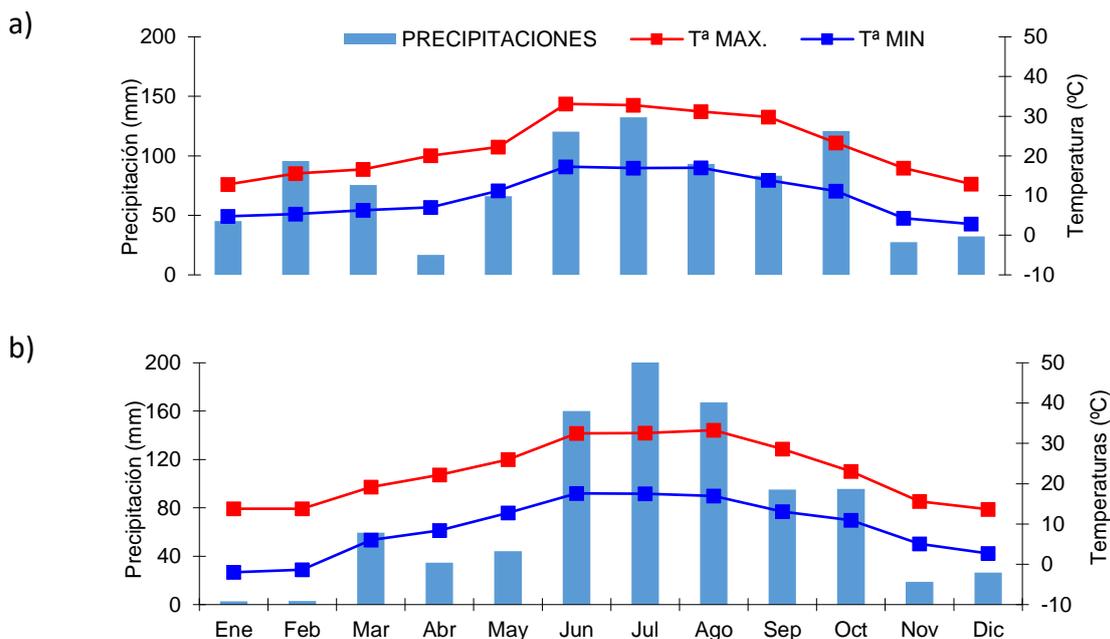


Figura 1-9 Diagrama de ombrotérmico de los datos obtenidos en la estación agroclimática de Don Benito (Vegas Bajas) durante los años a) 2004 y b) 2005. La Temperaturas (líneas), y precipitaciones (barras) representan la media mensual y las precipitaciones supone la suma mensual.

La temperatura media máxima en los años 2004 y 2005 fue más alta en la estación agroclimática La Orden. La temperatura media mínima fue menor en 2004 en la estación de Don Benito, mientras que en 2005 fue en la de La Orden. El año 2004 fue más lluvioso en Vegas Bajas y, en el año 2005 lo fue en Vegas Altas. Tanto en la estación agroclimática de La Orden como la de Don Benito, se observó un aumento de la temperatura media anual máxima. La temperatura media anual mínima en Vegas Altas también presentó un incremento de 2004 a 2005 sin embargo, en Vegas Altas en 2005 fue más baja respecto a 2004 y, en 2019 respecto a 2018.

3.2.7. Análisis estadístico

Para el análisis de los datos he realizado distintos tipos de análisis con el programa estadístico IBM SPSS Statistics versión 22:

- Efecto de la longitud de ciclo y localización y, la interacción de ambos sobre la concentración de nutrientes en ciruelo japonés y melocotonero en los años 2004 y 2005 a través del análisis multivariante de varianza (MANOVA). Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) cuando hubo interacción entre localización y longitud de ciclo.
- Efecto de la longitud de ciclo y tratamientos y, la interacción de ambos sobre la concentración de nutrientes en ciruelo japonés de la parcela experimental en los años 2018 y 2019, a través de un análisis del análisis multivariante de varianza (MANOVA).

3.3. Resultados y discusión

3.3.1. Análisis edáfico.

Los resultados de las características físico-químicas de las muestras de suelo en parcelas comerciales de ciruelo japonés recogidas en 2003 (Tabla 1- 11 y Tabla 1- 12) indican que los suelos de las parcelas situadas en Vegas Altas presentan una gran mayoría una textura Franco Arenosa, mientras que los de Vegas Bajas tienen en su mayoría una textura Franca. El valor de pH de las muestras de suelo de las parcelas situadas en Vegas Bajas son alcalinos mientras que los de Vegas Altas ácidos. La conductividad eléctrica está dentro de la normalidad y son suelos no salinos. Todas las parcelas de muestreo presentaron muy bajos niveles de m.o. y de N total y, la mayoría con baja CIC mientras que la concentración de Na^+ fue alta. El contenido de P en Vegas Altas es más elevado que en Vegas Bajas. La concentración de K^+ es baja en la mayoría de los suelos. Los contenidos de Ca^{2+} y Mg^{2+} son más bajos en las muestras de suelo de las parcelas situadas en Vegas Altas.

Los resultados de las muestras de suelo analizadas en 2018 en la parcela experimental de ciruelo japonés se indican en la Tabla 1- 13. La textura de las muestras de suelo de la parcela experimental es Franco Arcillosa Arenosa. El valor de pH es neutro, la CE indica que los suelos no son salinos y el contenido de materia orgánica y N total es muy bajo y; la CIC es baja. Los valores de P y Na^+ son elevados al contrario que los de K^+ y Ca^{2+} . La concentración de Mg^{2+} es moderada.

En las Tabla 1- 14 y Tabla 1- 15 se indican los resultados de las muestras de suelo, recogidas en parcelas comerciales de melocotonero en 2003. La textura de los suelos en las parcelas situadas en Vegas Altas es Franco Arenosa mientras que en Vegas Bajas las encontramos con una textura Franca, Franco Arcillosa y Franco Arenosa. El pH en los suelos de Vegas Bajas es alcalino mientras que los de Vegas Altas son más ácidos. La CE está dentro de la normalidad, siendo por tanto suelos no salinos. La concentración de materia orgánica y N total es baja en todas las muestras y la mayoría presenta baja CIC. El contenido de P en Vegas Altas es más elevado que en Vegas Bajas, mientras que la concentración de K^+ y Ca^{2+} es baja en la mayoría de los suelos. En Vegas Altas todas las muestras recogidas de suelo presentaron un bajo contenido de Mg^{2+} mientras que en Vegas Bajas fueron moderados. El contenido de Na^+ en Vegas Bajas son más elevados que en Vegas Altas.

En general, las clases texturales de los suelos a lo largo de las Vegas del Guadiana son muy variables entre parcelas de muestreo. Los suelos con textura Franca son los idóneos para el desarrollo de los cultivos, con una capacidad media para retener nutrientes y de fácil laboreo. Los suelos Franco Arcillosos están caracterizados por presentar una fertilidad media, pero una alta capacidad de retener nutrientes que

requieren de un mayor laboreo del suelo porque son más susceptibles a compactación por lo tanto, se recomienda agregar materia orgánica para mejorar la condición física del suelo (Schoonover et al., 2015). Los suelos con textura Franco Arcillosa Arenosa y Franca Arenosa son también favorables para el crecimiento de las plantas, presentan una mejor aireación del suelo, permitiendo a los cultivos una mejor respiración (Alejo, 2023), pero tiene la desventaja que retienen poca cantidad de agua y nutrientes, especialmente los Franco Arenosos.

Aunque hay una gran variabilidad en los resultados en las muestras de suelo, se puede observar que las parcelas estudiadas son pobres en algunos nutrientes como en potasio, consecuencia del agotamiento de los reservorios de elemento mineral en suelo. Por tanto, si este nutriente no se incluyera en los planes de fertilización, habría problemas severos en la producción porque es un elemento mineral imprescindible en la formación y calidad de los frutos (Gordillo et al., 2004).

Así mismo son bajos en nitrógeno total y, aunque el nitrógeno determinado en mediante el análisis químico, es la suma de las formas de nitrógeno orgánico, nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal, no todas las formas están disponibles para los cultivos. Las plantas absorben el nitrógeno principalmente en forma de nitrato y en menor parte en forma de amonio (Gallegos-Vázquez et al., 2000), este elemento es indispensable para el crecimiento de las plantas y lo extraen, al igual que con el potasio, de la aplicación que se realiza con los planes de fertilización, de lo contrario, las plantas presentarían síntomas de deficiencia y afectaría al desarrollo vegetativo y por tanto a la fructificación.

Todas las parcelas presentan niveles de materia orgánica muy por debajo de lo recomendable, se tratan de terrenos con una alta intensidad de laboreo que favorece la disminución de su contenido (Gutiérrez et al., 2002) y que, unido a una baja incorporación de materia orgánica, dan como resultado suelos con baja capacidad de retención de agua y nutrientes, baja aireación para las raíces y una pérdida de la estructura del suelo. Además, la presencia de pH ácidos en las parcelas de Vegas Altas impide que la descomposición de la materia orgánica, que ya de por sí es baja, sea lenta e incompleta (García, 2008).

La CIC de todos los suelos es baja, es decir la cantidad de cationes que pueden retener es poca, con una menor capacidad de almacenaje de cationes y menor disponibilidad para las plantas (Bueno Buevas et al., 2019). Elementos minerales como el potasio, el magnesio, el calcio o el nitrógeno son los principales componentes de la CIC, ya que se solubilizan en el agua del suelo para ser absorbidos por las plantas. Si esta CIC es baja, como en el caso de numerosas parcelas de estudio, la capacidad de almacenaje de cationes es menor y por tanto menor disponibilidad para las plantas.

Los valores de concentración de fósforo en suelo han sido alto en todas las parcelas, este elemento presenta una baja movilidad en el perfil del suelo, por lo que no va a ser lixiviado en la mayoría de los suelos, sin embargo este elemento suele presentarse en

formas no asimilables por la planta, causando deficiencias nutricionales (Holford, 1997). Por ello, es habitual añadirlo abundantemente al suelo en forma de fertilizantes inorgánicos o de residuos orgánicos (Shen et al., 2011).

Para que un cultivo crezca de manera óptima se necesita una determinada cantidad de nutrientes presentes en el suelo, pero estos tienen que estar en forma accesible para las plantas, es decir, disponibles (Cremona & Enriquez, 2020). El pH afecta a la solubilidad de los nutrientes en el suelo y con ello la forma en que estos pueden ser utilizados por las plantas. Frutales como ciruelo y melocotonero que estén cultivados en suelos con pH alcalinos, como los suelos de las parcelas de Vegas Bajas, tienden a presentar deficiencias de hierro, zinc y manganeso ocasionando clorosis intervenal, inhibiendo el crecimiento de nuevos brotes y frutos de menor calidad (López-Jiménez et al., 2023; López-Jiménez et al., 2023) quienes para paliar el problema de los suelos alcalinos, además de reducir la cantidad de fertilizantes aplicados, el uso de herbicidas y favorecer la retención de humedad del suelo, aplicaron durante 10 años continuos el efecto de dos coberturas orgánicas con muy buenos resultados. Por el contrario, los cultivos que se desarrollan en un suelo ácido, como los encontrados en Vegas Altas, pueden presentar limitaciones en el crecimiento, afectando a la disponibilidad de fósforo y la toxicidad de aluminio, hierro, manganeso y nitratos (Echeverría-Pérez et al., 2023), que puede verse mejorado con el encalado, mediante la aplicación de carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio o manganeso (Mañana et al., 2021). Por tanto los cultivos situados en la zona de Vegas Altas, con un pH más ácido tenderán a tener deficiencias nutricionales distintas a los de Vegas Bajas, quienes tienen un pH neutro/alcalino.

Capítulo 1

Tabla 1- 11 Características físico-químicas de muestras de suelo recogidas en 2003 en parcelas comerciales de ciruelo japonés situadas en Vegas Bajas (Red Beaut y Sun Gold). Los valores representan la media de las cuatro profundidades. La simbología de la clasificación se detalla en la Tabla 1- 7

Nomenclatura	RB_1	RB_2	RB_3	RB_4	RB_5	SG_1	SG_2	SG_3	SG_4	SG_5
pH	7.24	7.53	7.73	6.59	7.76	7.07	7.76	8.01	7.69	7.83
Clasificación	DA	DA	MA	N	MA	N	MA	MA	MA	MA
CE(mmhos/cm)	0.249	0.245	0.351	0.099	0.019	0.259	0.272	0.151	0.241	0.249
Clasificación	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
mo (%)	1.3	1.43	1.66	1.03	0.9	1.06	1.53	1.36	1.26	1.23
Clasificación	B	B	B	MB	MB	B	B	B	B	B
CIC (meq/100g)	9.71	7.03	12.22	5.94	11.84	7.32	13.83	10.63	5.9	9.37
Clasificación	B	B	M	B	B	B	M	B	B	B
N total (%)	0.05	0.057	0.078	0.028	0.028	0.039	0.072	0.045	0.046	0.044
Clasificación	B	B	B	MB	MB	MB	B	MB	MB	MB
P (ppm)	13	10	55	8	4	13	30	27	37	24
Clasificación	B	B	MA	B	MB	B	A	A	A	M
K⁺ (meq/100g)	0.16	0.12	0.62	0.11	0.15	0.1	0.81	0.27	0.19	0.17
Clasificación	MB	MB	M	MB	MB	MB	A	B	MB	MB
Ca²⁺ (meq/100g)	8.71	5.58	12.29	4.4	14.31	4.7	9.04	7.79	3.83	4.52
Clasificación	M	M	A	B	A	B	M	M	B	B
Mg²⁺ (meq/100g)	2.41	1.76	3.23	1.72	2.39	1.56	2.57	2.91	1.63	2.37
Clasificación	M	M	M	B	M	B	M	M	M	M
Na⁺ (meq/100g)	1.04	0.96	1.08	1.02	0.92	0.83	1.14	1.01	0.81	1.06
Clasificación	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Textura	F	FA	F	FA	F	FA	F	F	FA	F

Capítulo 1

Tabla 1- 12 Características físico-químicas de muestras de suelo recogidas en 2003 en parcelas comerciales de ciruelo japonés situadas en Vegas Bajas Vegas Altas (Black Amber y Larry Ann). Los valores representan la media de las cuatro profundidades. La simbología de la clasificación se detalla en la Tabla 1- 7

Nomenclatura	BA_1	BA_2	BA_3	BA_4	BA_5	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5
pH	6.2	5.06	6.05	7.61	6.14	6.4	7.16	6.63	5.16	6.3
Clasificación	DAC	FAC	DAC	MA	DAC	DAC	DA	N	FAC	DAC
CE (mmhos/cm)	0.014	0.04	0.092	0.175	0.07	0.26	0.62	0.189	0.075	0.174
Clasificación	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
mo (%)	0.96	0.96	1.16	1.8	1.55	1.56	1.03	1.16	1.23	1.48
Clasificación	MB	MB	B	B	B	B	MB	B	B	B
CIC (meq/100g)	3.86	3.46	6.64	12.53	5.42	14.48	16.2	4.8	5.7	6.7
Clasificación	MB	MB	B	M	B	M	M	MB	B	B
N total (%)	0.022	0.035	0.044	0.078	0.051	0.065	0.044	0.034	0.052	0.034
Clasificación	MB	MB	MB	b	B	B	MB	MB	B	MB
P (ppm)	19	20	14	35	53	41	17	34	60	12
Clasificación	M	M	B	A	MA	A	M	A	MA	B
K+ (meq/100g)	0.26	0.15	0.29	0.37	0.22	0.42	0.31	0.22	0.43	0.42
Clasificación	B	MB	B	B	MB	B	B	MB	B	B
Ca2+ (meq/100g)	2.51	2.47	4.32	8.85	2.85	8.6	20.5	2.89	2.19	6.8
Clasificación	B	B	B	M	B	M	A	B	B	M
Mg2+ (meq/100g)	1.05	0.82	1.33	2.11	1.22	3.13	2.52	1	0.96	8.17
Clasificación	B	B	MB	M	B	M	M	B	B	A
Na+ (meq/100g)	1	0.88	0.96	0.58	0.86	0.84	0.96	0.88	0.78	0.88
Clasificación	A	A	A	M	A	A	A	A	A	A
Textura	FA	FA	FA	FAA	FA	FL	A	FA	FA	F

Capítulo 1

Tabla 1- 13 Características físico-químicas de muestras de suelo recogidas en 2018 de parcela experimental (Red Beaut y Angeleno). Los valores representan la media de las cuatro profundidades. La simbología de la clasificación se detalla en la Tabla 1- 7

Nomenclatura	RB_6/A_2
pH	6.94
Clasificación	N
CE (mmhos/cm)	0.135
Clasificación	P
mo (%)	0.49
Clasificación	MB
CIC (meq/100g)	10.78
Clasificación	B
N total (%)	0.02
Clasificación	MB
P (ppm)	21
Clasificación	M
K+ (meq/100g)	0.19
Clasificación	MB
Ca ²⁺ (meq/100g)	9.31
Clasificación	M
Mg ²⁺ (meq/100g)	1.78
Clasificación	M
Na+ (meq/100g)	0.99
Clasificación	A
Textura	FAA

Capítulo 1

Tabla 1- 14 Características físico-químicas de muestras de suelo recogidas en 2003 en parcelas comerciales de melocotonero situadas en Vegas Bajas (Spring Lady y Rich Lady). Los valores representan la media de las cuatro profundidades. La simbología de la clasificación se detalla en la Tabla 1- 7

Nomenclatura	SL_1	SL_2	SL_3	SL_4	SL_5	RL_1	RL_2	RL_3	RL_4	RL_5
pH	7.97	8.12	7.73	8.13	7.16	7.11	7.99	7.63	7.54	7.55
Clasificación	MA	FA	MA	FA	DA	DA	MA	MA	DA	DA
CE (mmhos/cm)	0.28	0.23	0.33	0.14	0.25	0.24	0.29	0.27	0.23	0.14
Clasificación	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
mo (%)	1.23	1.16	1.16	1.20	0.56	1.26	1.23	1.06	1.00	1.20
Clasificación	B	B	B	B	MB	B	B	MB	MB	B
CIC (meq/100g)	11.91	5.77	6.25	11.68	13.52	12.81	14.41	7.86	8.36	9.61
Clasificación	B	MB	B	B	M	B	M	B	B	B
N total (%)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.04	0.05
Clasificación	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
P (ppm)	13	14	23	9	0	9	8	8	5	25
Clasificación	B	B	M	B	MB	B	B	B	MB	M
K+ (meq/100g)	0.22	0.09	0.18	0.24	0.11	0.12	0.28	0.13	0.18	0.28
Clasificación	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	MB	MB	B
Ca2+ (meq/100g)	11.65	4.87	4.36	7.03	7.39	8.48	11.44	5.85	9.25	7.04
Clasificación	A	B	B	M	M	M	A	M	M	M
Mg2+ (meq/100g)	2.92	1.77	1.76	3.43	3.49	3.59	3.43	1.79	2.30	2.53
Clasificación	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Na+ (meq/100g)	1.09	0.93	1.22	0.87	0.47	1.35	1.02	0.66	0.68	0.89
Clasificación	A	A	A	A	M	A	A	M	M	A
Textura	F	FA	FA	FARC	FARC	F	FARC	FA	FA	F

Capítulo 1

Tabla 1- 15 Características físico-químicas de muestras de suelo recogidas en 2003 en parcelas comerciales de melocotonero situadas en Vegas Altas (Royal Glory y Elegant Lady). Los valores representan la media de las cuatro profundidades. Los valores representan la media de las cuatro profundidades. La simbología de la clasificación se detalla en la Tabla 1- 7

Nomenclatura	RG_1	RG_2	RG_3	RG_4	RG_5	EL_1	EL_2	EL_3	EL_4	EL_5
pH	5.36	5.69	8.29	5.92	6.03	6.82	5.23	5.85	5.71	7.43
Clasificación	MAC	MAC	FA	MAC	DAC	N	FAC	MAC	MAC	DA
CE (mmhos/cm)	0.11	0.04	0.13	0.30	0.07	0.09	0.11	0.08	0.13	0.10
Clasificación	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
mo (%)	1.03	1.06	0.83	0.90	0.86	1.06	1.00	1.00	0.93	0.80
Clasificación	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
CIC (meq/100g)	5.74	2.98	5.81	4.98	4.25	6.81	6.09	6.04	7.33	7.16
Clasificación	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	B	B	B
N total (%)	0.04	0.04	0.02	0.03	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03
Clasificación	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
P (ppm)	23	44	24	8	21	27	21	7	20	22
Clasificación	M	A	A	B	M	A	M	B	M	M
K+ (meq/100g)	0.29	0.20	0.10	0.27	0.11	0.34	0.27	0.20	0.70	0.09
Clasificación	B	MB	MB	B	MB	B	B	MB	M	MB
Ca²⁺(meq/100g)	3.29	2.88	19.90	4.14	2.99	4.49	3.02	3.63	4.23	5.61
Clasificación	B	B	A	B	B	B	B	B	B	M
Mg²⁺(meq/100g)	1.13	0.67	1.46	0.88	1.08	1.13	0.86	0.93	1.01	1.48
Clasificación	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Na+(meq/100g)	0.76	0.59	0.69	0.30	0.75	0.48	0.39	0.42	0.75	0.42
Clasificación	A	M	M	B	A	M	M	M	A	M
Textura	FA	FA	FA	FA	FA	FA	FA	FA	FA	FA

3.3.2. Análisis de agua

Para la interpretación de los resultados del análisis de agua de riego se emplearon los valores de referencia publicados por Ayers & Westcott, (1985), (Tabla 1- 16). Los resultados sobre las características químicas del agua de riego analizadas en 2004 y 2005 indican que la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), la concentración de Ca^{2+} (mg/ml), Na^+ (mg/ml) y NH_4^+ (mg/ml) se encuentran clasificados dentro de los valores de normalidad. La concentración de Mg^{2+} (mg/mgl) y NO_3^- (mg/ml) es elevada y en especial en las aguas de riego cuyas parcelas están localizadas en las Vegas Bajas del Guadiana para ambas especies (Tabla 1- 17 y Tabla 1- 18).

Sin embargo, en las muestras de agua de riego analizadas en 2018 y 2019 (Tabla 1-19), en la parcela experimental de ciruelo japonés, la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), la concentración de Ca^{2+} (mg/ml), Mg^{2+} (mg/mgl), Na^+ (mg/ml) y NH_4^+ (mg/ml) se encuentran clasificados dentro de los valores de normalidad. Se muestran concentraciones elevadas en la concentración de NO_3^- (mg/ml). Los resultados de la parcela experimental representan el promedio de los resultados obtenidos en agua de riego de acequia y de pozo.

La calidad del agua de riego afecta de forma muy relevante a la estabilidad estructural del suelo, a las plantas que están cultivadas (Tartbull & Betancourt, 2016) y a los acuíferos. Determinados compuestos entre los que encuentran los nitratos se lixivian fácilmente en el perfil del suelo y llegan hasta los acuíferos. Si las explotaciones agrícolas son regadas con agua subterránea, como hemos visto en muchas de las parcelas, todos los elementos o compuestos químicos que se lavan fácilmente en el perfil se acumulan en acuíferos y finalmente se aplican a los cultivos. Entre estos compuestos se encuentran los nitratos, en las muestras de agua de riego analizadas, se encuentra en concentraciones elevadas. El nitrógeno es el principal elemento mineral necesario para que una explotación frutícola sea exitosa (Curetti & De Rossi, 2020).

Varios autores afirman que existe una relación lineal entre el rendimiento y la absorción de nutrientes y en particular con la cantidad de nitrógeno (López, 2023; Sonneveld & Voogt, 2009). En el lado opuesto y como consecuencia de una aplicación excesiva de este nutriente a través del abonado para evitar mermas en producción, agravado por la facilidad que tiene este elemento mineral en lavarse por el perfil del suelo, las Vegas del Guadiana han sido declaradas como zona vulnerable por la contaminación de nitratos de origen agrario (Orden de 4 de marzo de 2019, 2019) y es de obligado cumplimiento seguir un Programa de Actuación que conlleva una aportación máxima de fertilización nitrogenada a los cultivos.

Conocer la concentración de nitratos del agua de riego, además de suponer un ahorro en los costes económicos de una explotación, al reducir la aplicación de

nitrógeno en la fertilización, ayuda a paliar los efectos negativos que genera el nitrógeno por ser un factor clave del cambio climático (Arce-Rodríguez et al., 2023).

También de forma general el agua de riego empleada en los cultivos ha presentado un alto contenido en magnesio de fuente desconocida. Elevadas concentraciones de este elemento en el agua pueden generar problemas de taponamiento y mal funcionamiento del sistema de riego. Las obturaciones constituyen uno de los problemas más importantes que se plantea en el manejo en los sistemas por fertirrigación, esta situación da lugar a pérdidas de uniformidad en los aportes de agua y fertilizantes y aumenta los costos de mantenimiento del sistema (Carmenates et al., 2013)

En general, los valores de CE en el agua de pozo son más elevados que los de acequia, esto es debido probablemente, a que la circulación del agua no permite la sedimentación de las sales como en el caso del agua de pozo o, que en el caso de los pozos, se encuentran sometidos a una contaminación por parte de la industria agraria, teoría muy plausible si se tienen en cuenta los estudios de contaminantes realizados en la zona, los cuales determinan un exceso de nutrientes que se percolan y contaminan las aguas subterráneas.

A pesar de que los nutrientes analizados en agua se mantienen en unos niveles adecuados para el cultivo, el Mg y el N destacan por estar presentes en una cantidad excesiva, el nitrógeno se ha asociado tradicionalmente con una mayor producción y calidad de las cosechas, abusando de él, lo que ha llevado a sobreabono de las parcelas y por tanto a una contaminación de acuíferos, el exceso de Mg se suele asociar a intrusiones de agua marina, aunque por la localización de la parcela se debe más a la naturaleza de la roca madre que a cualquier efecto marino.

Tabla 1- 16 Valores de referencia de las características químicas en muestras de agua de riego: CE ($\mu\text{S/cm}$), Ca^{2+} (mg/ml), Mg^{2+} (mg/ml), Na^+ (mg/ml), NO_3^- (mg/ml) y NH_4^+ (mg/ml) publicadas por (Ayers & Westcott, 1985)

CE	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	NO_3^-	NH_4^+
($\mu\text{S/cm}$)	(mg/ml)	(mg/ml)	(mg/ml)	(mg/ml)	(mg/ml)
0-3000	0-401	0-61	0-920	0-10	0-5

Capítulo 1

Tabla 1- 17 Análisis químico en muestras de agua de riego de las parcelas comerciales de ciruelo japonés (Red Beaut, Black Amber, Sun Gold y Larry Ann) recogidas en 2004 y En color rojo se indican las concentraciones en exceso, considerando los valores de referencia publicados de la Tabla 1- 16. Los asteriscos (*) simbolizan una falta de datos para ese compuesto.

Nomenclatura	Procedencia	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		Ca ²⁺ (mg/l)		Mg ²⁺ (mlg/l)		Na+ (mg/l)		NO3- (mg/l)		NH4+ (mg/l)	
		2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005
RB_1	Pozo	1746	1390	163	142	107	77	129	109	82.00	72.4	*	0.69
RB_2	Pozo	1602	978	167	80	82	41	107	76	84.00	15.2	*	0.55
RB_3	Pozo	1569	*	131	*	94	*	118	*	101.0	*	*	*
RB_4	Pozo	1218	1273	102	127	73	57	76	82	72.00	70.7	*	0.80
RB_5	Acequia	1568	787	115	66	94	32	99	42	8.00	17.7	*	0.55
BA_1	Pozo	199	135	21	13	13	5	16	8	3.00	1.00	*	0.16
BA_2	Pozo	1102	431	92	47	72	20	86	26	83.00	1.00	*	0.23
BA_3	Pozo	860	141	134	17	29	3	30	4	38.20	4.10	*	0.16
BA_4	Acequia	139	135	20	9	9	2	11	5	1.10	1.00	*	0.16
BA_5	Pozo	140	*	15	*	8	*	10	*	1.40	*	*	*
SG_1	Pozo	884	497	67	54	58	23	57	34	26.50	12.3	*	1.16
SG_2	Pozo	1102	1117	92	93	72	50	86	89	83.00	30.7	*	0.61
SG_3	Pozo	1731	1184	155	126	117	82	118	100	113.0	67.9	*	0.70
SG_4	Pozo	462	642	73	67	32	3	33	46	22.20	19.5	*	0.57
SG_5	Pozo	652	645	57	75	41	42	43	45	12.60	22.3	*	0.51
L_1	Pozo	159	135	20	7	9	2	11	4	0.80	1.00	*	0.16
L_2	Acequia	631	431	56	47	41	20	49	26	41.90	20.5	*	0.23
L_3	Pozo	1000	332	141	48	55	11	44	11	54.00	15.2	*	0.18
L_4	Pozo	140	135	15	12	8	4	10	7	1.40	1.00	*	0.66
L_5	Pozo	524	156	47	22	26	4	32	5	35.40	3.90	*	0.16

Tabla 1- 18 Análisis químico en muestras de agua de riego en la parcela experimental (Red Beaut y Angeleno) recogidas en 2018 y 2019. En color rojo se indican las concentraciones en exceso, considerando los valores de referencia de la Tabla 1- 16

Nomenclatura	Procedencia	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		Ca 2+ (mg/l)		Mg2+ (mg/l)		Na+ (mg/l)		NO3- (mg/l)		NH4+ (mg/l)	
		2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
RB_6	Pozo 2018	1023	666	59	41	44	23	231	181	34.3	12.0	0.07	0.13
A_2	Acequia 2019												

Capítulo 1

Tabla 1- 19 Características químicas en muestras de agua de riego de las parcelas de melocotonero (Spring Lady, Royal Glory, Rich Lady y Elengat Lady) recogidas en 2004 y 2005. En color rojo se indican las concentraciones en exceso, considerando los valores de referencia de la Tabla 1- 16.

Nomenclatura	Procedencia	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		Ca ²⁺ (mg/l)		Mg ²⁺ (mg/l)		Na ⁺ (mg/l)		NO ₃ ⁻ (mg/l)		NH ₄ ⁺ (mg/l)	
		2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005
SL_1	Pozo	1408	683	177	68	68	31	87	57	120	19.8	*	0.54
SL_2	Pozo	928	1043	101	93	68	69	61	70	47.0	70.9	*	0.25
SL_3	Pozo	895	611	93	39	62	40	46	45	20.0	7.30	*	0.17
SL_4	Pozo	1194	1301	103	103	78	86	75	80	82.0	82.9	*	0.97
SL_5	Pozo	1463	943	76	59	99	66	91	76	96.0	73.7	*	0.22
RG_1	Pozo	860	141	134	17	29	3	30	4	38.2	4.10	*	0.16
RG_2	Pozo	1167	135	22	8	10	2	11	3	1.70	1.00	*	0.16
RG_3	Pozo	642	143	75	17	42	5	31	6	58.0	6.30	*	0.16
RG_4	Pozo	143	135	20	4	8	1	10	2	1.10	1.00	*	0.16
RG_5	Pozo	135	135	14	12	7	4	9	7	1.60	1.00	*	0.66
RL_1	Pozo	921	455	120	35	59	22	54	39	12.3	4.80	*	0.31
RL_2	Pozo	558	1023	45	80	33	54	45	94	7.80	64.3	*	0.32
RL_3	Pozo	849	847	71	73	55	37	64	60	19.1	35.6	*	0.30
RL_4	Acequia	1614	1269	149	143	99	41	111	51	74.0	83.0	*	0.79
RL_5	Pozo	421	788	37	84	25	29	35	32	6.70	18.8	*	0.57
EL_1	Pozo	199	135	21	13	13	5	16	8	3.00	1.00	*	0.16
EL_2	Acequia	143	135	20	4	8	1	10	2	1.10	1.00	*	0.16
EL_3	Pozo	604	203	87	29	31	7	25	6	34.8	11.1	*	0.20
EL_4	Pozo	154	431	20	47	8	20	10	26	1.20	1.00	*	0.23
EL_5	Pozo	518	157	77	25	30	5	21	5	22.6	1.00	*	0.52

3.3.3. Efecto de la localización de la parcela sobre el estado nutricional en variedades de ciruelo japonés

En las Figura 1- 10 y Figura 1- 11Figura 1- 10 Concentración de hierro, cobre, manganeso y zinc en hojas de ciruelo japonés a los 120 ddpf en los años 2004 y 2005 de los cvs. Red Beaut (RB) y Sun Gold (SG) en Vegas Bajas y, en Vegas Altas, los cvs. Black Amber (BA) y Larry Ann (L). Cada caja representa el conjunto de 15 individuos para un mismo cultivar. La línea roja punteada indica los valores de referencia publicados por (Jones et al., 1991b). se muestra la concentración de los macro y micronutrientes respectivamente, de los cultivares localizados en Vegas Bajas: Red Beaut (RB) y Sun Gold (SG) y; en Vegas Altas: Black Amber (BA) y Larry Ann (L) en fincas comerciales a los 120 días después de plena floración (ddpf) analizados en los años 2004 y 2005. Para hacer más amena la comprensión se ha hecho un análisis de cada elemento por zona de cultivo para entender las diferentes necesidades que tiene cada cultivo.

Nitrógeno

La concentración de nitrógeno en hoja realizado en el año 2004 de los cvs. Red Beaut, Black Amber y Larry Ann, está dentro del rango de los valores de referencia, mientras que la del cv. Sun Gold fue más alta. En el año 2005, todos los cvs. presentaron una concentración de N por encima del límite superior. Se observó que los cultivares situados en Vegas Bajas (Red Beaut y Sun Gold) presentaron concentraciones más altas de N que los de Vegas Altas (Black Amber y Larry Ann), debido a que se aplicaron más Unidades Fertilizantes (UF) de nitrógeno en esta zona. Considerando que en los dos años de muestreo la aplicación de nitrógeno mediante la fertilización fue la misma y que el contenido de nitrato en agua de riego fue menor en el año 2005 que en el 2004 (Tabla 1- 17), los resultados de nitrógeno foliar fueron más elevados en 2005.

Fósforo

Los cvs. de Vegas Bajas (Red Beaut y Sun Gold) tuvieron una distribución más homogénea en el contenido de fósforo que los de Vegas Altas (Black Amber y Larry Ann), pero siendo más elevada la concentración de fósforo en los cultivares de Vegas Altas, en donde también se produjo una aplicación de la fertilización fosfórica más elevada que en Vegas Bajas (Tabla 1- 8 y Tabla 1- 10). Ambas localizaciones se caracterizaron por un tener un alto contenido de P asimilable en las muestras de suelo, como consecuencia de una fertilización excesiva durante largos periodos de tiempo. Los cultivares de Vegas Altas como el cv. Larry Ann, en el año 2004 tuvo un contenido de P dentro de los valores de referencia y, en 2005 se concentraron principalmente por encima del límite superior y, el otro cultivar, cv. Black Amber, también tuvo una concentración por encima del umbral superior, en el año 2005 todos los árboles y en el año 2004, la mayoría de ellos. En Vegas Bajas, los árboles del cv. Red Beaut en los dos años del muestreo presentaron

concentraciones que sobrepasaron el límite superior, en el cv. Sun Gold la distribución fue distinta según el año del muestreo y, aunque estuvieron dentro del rango de los valores de referencia, en 2004 su distribución fue más cercana al límite superior que la del año 2005 al inferior. La mayoría de los suelos son deficientes en formas de fósforo asimilable, por lo que requiere la aplicación de fertilizantes fosforados para alcanzar altos niveles de productividad (Fernández, 2007). Sin embargo, en los resultados hemos encontrado altos contenidos de P asimilable en suelo y en hojas por lo que no sería necesario aplicar mediante la fertirrigación este compuesto químico hasta comprobar que disminuyeran los niveles de P asimilable en suelo.

Potasio

El contenido de potasio en el año 2004 para los cvs. Red Beaut y Larry Ann estuvieron dentro de los valores de referencia, el del cv. Sun Gold la mayoría dentro de los límites y, el de Black Amber por encima del límite superior. En el año 2005 disminuyeron las concentraciones en los cvs. Red Beaut, Sun Gold y Black Amber y, por el contrario, en el cv. Larry Ann aumentó llegando a sobrepasar el límite superior. En suelo se vio que el contenido de K fue bajo en todas las Vegas del Guadiana, y este contenido está estrechamente relacionado con el tipo de materia parental y la pedogénesis (Mengel & Rahmatullah, 1994) , y aunque la aplicación de potasio tanto en el año 2004 como 2005, fue superior en los cultivares de Vegas Bajas que Vegas Altas (Tabla 1- 8), fueron los cultivares de Vega Altas los que tuvieron un mayor contenido de K foliar. A pesar de tener bajos contenidos de K en suelo, no es un elemento limitante para la productividad de un cultivo, generalmente se aplica en los planes de fertilización, principalmente en la fase de crecimiento del fruto y no va a comprometer la producción.

Calcio

La concentración de calcio en hojas a los 120 ddpf se caracterizó en el cv. Red Beaut en el año 2004 por hallarse por encima del umbral superior de los valores de referencia, la del cv. Sun Gold por estar dentro de los límites comparados y, la de los cvs. de Vegas Altas (Black Amber y Larry Ann) por presentar árboles con concentraciones dentro de los límites y, otros con el contenido por encima del límite superior. En el año 2005, en los cvs de Vegas Bajas (Red Beaut y Sun Gold), el cv. Red Beaut disminuyó la concentración mientras que en la del cv. Sun Gold aumentó. En Vegas Altas (cvs. Black Amber y Larry Ann) la concentración de calcio tuvo una distribución similar a la del año 2004 aunque con concentraciones más elevadas. El contenido medio de calcio añadido a través del agua de riego y el presente en suelo fue superior en las parcelas de Vegas Bajas, las concentraciones foliares de este elemento fueron más elevadas en Vegas Altas. Por otro lado, el contenido de sodio fue más elevado en las parcelas de Vegas Bajas, y como el calcio es un elemento mineral que compite con otros iones cargados positivamente entre los que se encuentra el sodio (Bataller, 2014) , este hecho puede disminuir la absorción de calcio por las plantas y explique el hecho que se encuentre un

menor contenido foliar en los cultivares de Vegas Bajas.

Magnesio

En los cvs. de Vegas Bajas (Red Beaut y Sun Gold) en el año 2004 tuvieron concentraciones de magnesio más elevadas que en el año 2005, mientras que en las de Vegas Altas (Black Amber y Larry Ann) se localizaron la mayoría dentro de los valores de referencia que coincide con el aporte realizado a través del agua de riego, siendo superior en los cultivares de Vegas Bajas. En el año 2005 el contenido de magnesio a través del agua de riego en las Vegas Bajas fue inferior y se tradujo en una disminución en contenido foliar. Por el contrario, en Vegas Altas en el cv. Black Amber se incrementó mientras que en el cv. Larry Ann disminuyó.

Hierro

El contenido de hierro de forma general se observó que estuvo dentro de los valores de referencia, aunque en Vegas Bajas en el cultivar de ciclo largo cv. Sun Gold algunas concentraciones estuvieron debajo del límite inferior y, en Vegas Altas en alguna de las parcelas del cv. Black Amber. En las Vegas del Guadiana no se han encontrado deficiencias de este elemento en los frutales, a pesar de que (Encinas & García, 1997) han indicado que la clorosis férrica está asociada a suelos con pH alcalino, pobres en materia orgánica, contenidos altos de calcio y magnesio, como los que tenemos en las Vegas Bajas del Guadiana pero en suelos muy arcillosos, y los suelos de las Vegas Bajas tuvieron una textura Franca, Franco Arcillosa y Franco Arenosa.

Cobre

El contenido de cobre es un elemento mineral que está presente en las formulaciones de gran parte de los productos fitosanitarios que se aplican a los cultivos para mantenerlos libres de plagas. Siempre que, para el mantenimiento de una plantación sana, esté incluido la utilización de productos químicos que tengan en su composición cobre, no debe considerarse un elemento clave en el diagnóstico nutricional, los árboles no van a ser deficientes en este nutriente tal y como se pone de manifiesto en los resultados. Se observó que la concentración de Cu está por encima del rango superior en todos los cvs. aunque no en exceso pudiendo llegar a ser tóxico para la planta.

Manganeso

La distribución de la concentración de manganeso fue distinta según la localización de las parcelas. En Vegas Bajas, los cvs. Red Beaut y Sun Gold tuvieron una concentración dentro de los valores de referencia mientras que el contenido de los cvs. Black Amber y

Larry Ann, localizados en Vegas Altas, sobrepasaron el límite superior. El pH de suelo es un factor limitante en la absorción de Mn por parte de las plantas, siendo mayor su disponibilidad a medida que disminuye el pH (Rolón et al., 2022). Un pH por encima de 6.5 bloquea este elemento y lo vuelve no disponible para la planta y aunque no hubo deficiencias de este elemento en Vegas Bajas caracterizado por tener un pH más alcalino, se observó que el contenido fue menor que en Vegas Altas con suelos con pH ácido.

Zinc

La concentración de zinc en los árboles de los cvs. de Vegas Bajas (Red Beaut y Sun Gold) presentaron una concentración por debajo del límite inferior en los dos años de muestreo. En el año 2004, los cvs. Black Amber y Larry Ann, localizados en Vegas Altas, tuvieron una concentración más elevada que en el año 2005 que, mientras para el cv. Black Amber está dentro de los valores de referencia, en el cv. Larry Ann llega a rebasar el límite superior. Este elemento mineral al igual que para manganeso, su absorción disminuye con pH alcalinos, al formar compuestos poco solubles con carbonatos y fosfatos (Favela et al., 2000). Los suelos de Vegas Bajas presentaron un pH alcalino y se pone de manifiesto en la concentración de Zn foliar, que estuvo por debajo del límite inferior.

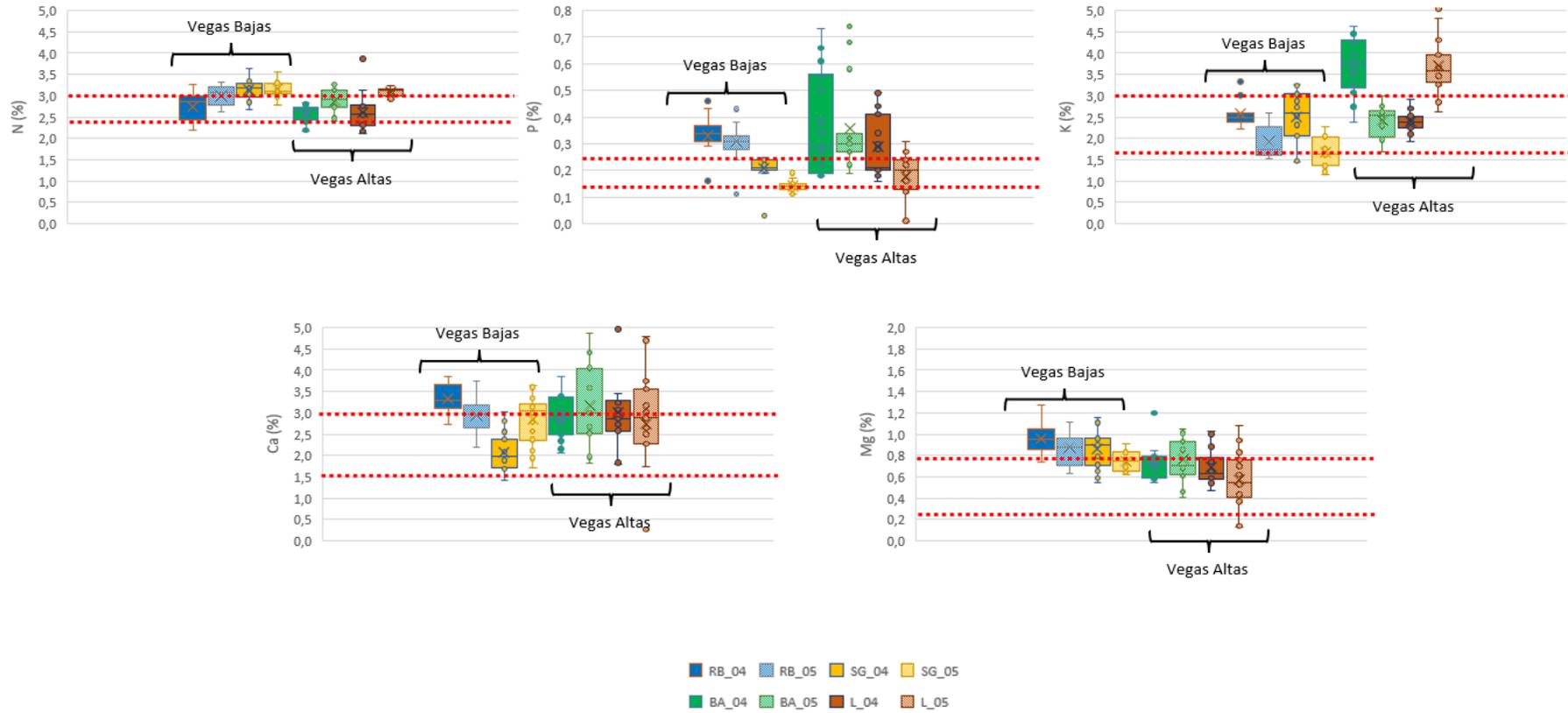


Figura 1- 10 Concentración de hierro, cobre, manganeso y zinc en hojas de ciruelo japonés a los 120 ddpf en los años 2004 y 2005 de los cvs. Red Beaut (RB) y Sun Gold (SG) en Vegas Bajas y, en Vegas Altas, los cvs. Black Amber (BA) y Larry Ann (L). Cada caja representa el conjunto de 15 individuos para un mismo cultivar. La línea roja punteada indica los valores de referencia publicados por (Jones et al., 1991b). Los puntos fuera de cada caja se consideran outliers, y no se han tenido en cuenta para el cálculo.

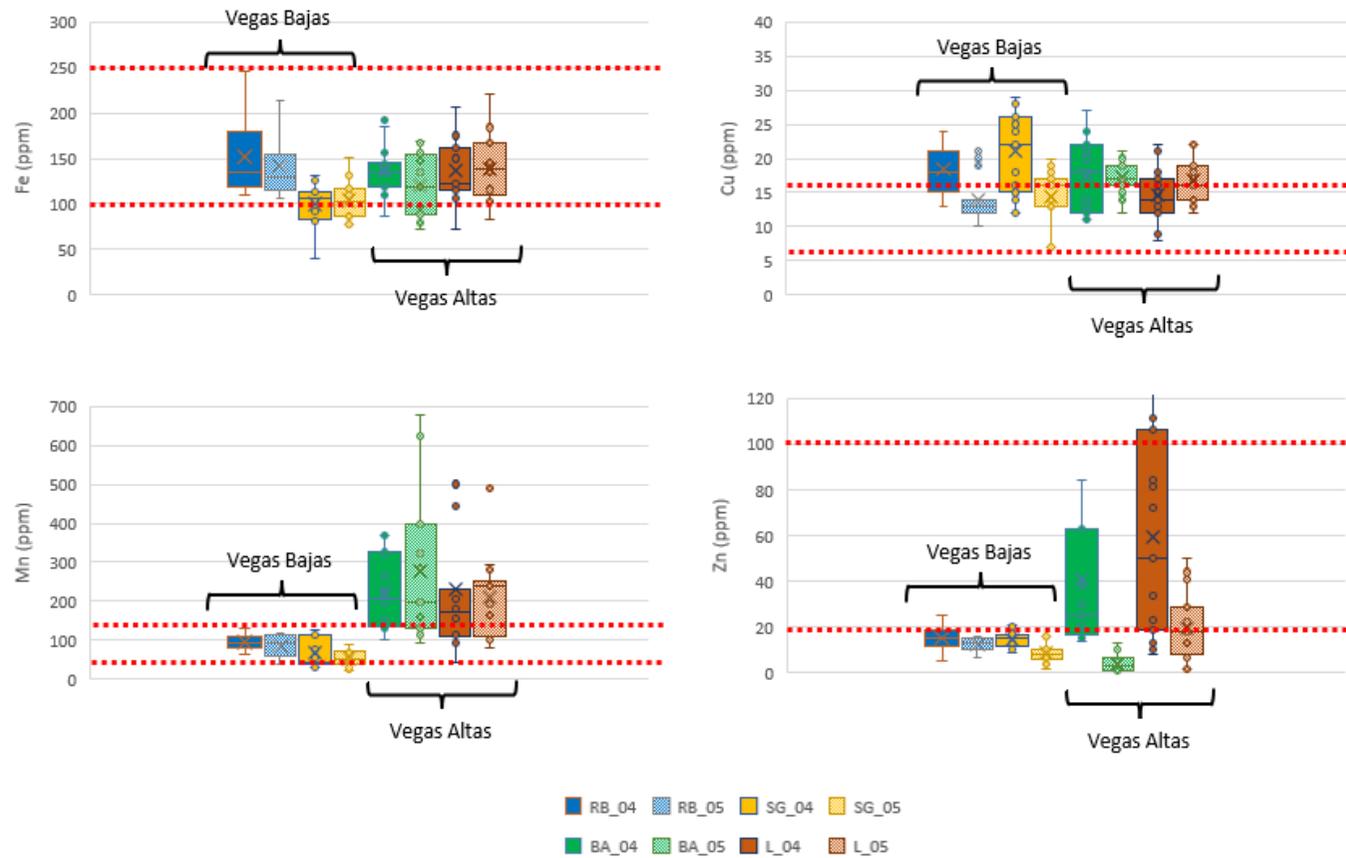


Figura 1- 11 Concentración de hierro, cobre, manganeso y zinc en hojas de ciruelo japonés a los 120 ddpf en los años 2004 y 2005 de los cvs. Red Beaut (RB) y Sun Gold (SG) en Vegas Bajas y, en Vegas Altas, los cvs. Black Amber (BA) y Larry Ann (L). Cada caja representa el conjunto de 15 individuos para un mismo cultivar. La línea roja punteada indica los valores de referencia publicados por (Jones et al., 1991b). Los puntos fuera de cada caja se consideran outliers, y no se han tenido en cuenta para el cálculo.

3.3.4. Efecto de la localización de la parcela sobre el estado nutricional en variedades de melocotonero

En las Figura 1- 12 y Figura 1- 13 figuras XX y XX se representa la concentración de nutrientes en los cultivares de melocotonero estudiados en las Vegas Bajas y Vegas Altas. El muestreo fue hecho a los 120 días, por lo que los umbrales de referencia superior e inferior empleados son los publicados por (Jones et al., 1991b). Los elementos analizados son los mismos que en ciruelo y para su interpretación se analizará cada elemento:

Nitrógeno

La concentración de nitrógeno del cv. Royal Glory (RG) en los dos años de muestreo se encuentra dentro de los valores de referencia. El resto de los cultivares, con la excepción el cv. Elegant Lady (EL) en el año 2004 que está por encima del límite superior, están dentro de los valores de referencia, aunque cercanos al límite superior. A pesar que la concentración de nitrato en agua de riego y la fertilización nitrogenada fue más elevada en las parcelas de las Vegas Bajas, la concentración foliar de forma general se mantuvo dentro de los valores de referencia.

Fósforo

El cv. Royal Glory (RG) en el año 2004 presentó algunos árboles con una concentración de fósforo por encima del rango superior de los valores de referencia, el resto de los cultivares están entre el límite superior e inferior y presentaron una concentración de fósforo más baja en 2005 que en el año 2004. Los resultados de P en las muestras de suelo indicaron que tiene un alto contenido de este elemento mineral, pero con la excepción del cv. Royal Glory que presentó una concentración foliar alta debida fundamentalmente a una fertilización fosfórica más elevada que el resto de los cultivares, ese P asimilable no es usado por las plantas y queda como residuo en el suelo.

Potasio

Al igual que para el fósforo, el contenido de potasio fue más bajo en las muestras recogidas en el año 2005 que en 2004 en todos los cultivares de melocotonero y con una tendencia más elevada en Vegas Altas. En el año 2004 el cv. Spring Lady (SL) presentó una concentración dentro de los valores de referencia, pero el resto de los cvs. Rich Lady (RL), Royal Glory (RG) y Ellegant Lady (EL) algunos de los árboles presentaron un contenido por encima del límite superior. Por el contrario, en el año 2005 el cv. Royal Glory (RG) fue el que no mostró concentraciones por debajo del límite inferior.

Calcio

Los cvs. de Vegas Bajas, cv. Spring Lady (SL) y cv. Rich Lady (RL) en el año 2004 y el cv. de Vegas Altas, Elegant Lady (EL) en los años 2004 y 2005, presentaron la concentración de calcio dentro de los valores de referencia. Se observó que en todos los cultivares, se produjo una disminución de la concentración de calcio en el año 2005, respecto del año 2004 y la causa fue una disminución del aporte de calcio a través del agua de riego, en 2004 fueron más elevados que en 2005. El cv. Royal Glory (RG) presentó mayor variabilidad en la concentración en los dos años de muestreo. Los aportes de calcio a través del agua de riego fueron menores en las parcelas de las Vegas Altas.

Magnesio

En el año 2004 la concentración de magnesio fue más elevada que en el año 2005, y concuerda con los resultados obtenidos en el análisis químico del agua de riego, en donde los contenidos de magnesio fueron mayores en 2004 y en particular en el cv. Spring Lady localizado en las Vegas Bajas. En el año 2005, el contenido foliar estuvo dentro de los valores de referencia mientras que coincidió con una disminución del aporte de este elemento a través del agua de riego.

Hierro

Todos los cultivares presentaron una concentración de hierro dentro de los valores de referencia. El límite superior es muy elevado, por lo que resulta difícil encontrar árboles en bajo contenido en hierro. A la vista de los resultados obtenidos se plantea la necesidad de reajustar los valores de referencia para hierro.

Cobre

Se observó que la concentración de cobre de los cultivares, Spring Lady (SL), Rich Lady (RL) y Elengant Lady (EL) estuvo en alguno de los árboles muestreados por encima del límite superior, en cambio el cv. Royal Glory (RG) se mostró dentro de los valores de referencia. No hubo diferencias de concentración entre años para un mismo cultivar. Al igual que hemos citado para ciruelo japonés, el cobre no tenemos que considerarlo como un elemento en el diagnóstico nutricional, siempre y cuando se hagan las prácticas agrícolas relativas a mantener un buen estado sanitario en la plantación a base de productos que tengan en su composición química cobre.

Manganeso

La concentración de manganeso fue distinta entre los cultivares de Vegas Bajas y Vegas Altas. En los años 2004 y 2005, en Vegas Bajas, el cv. Spring Lady (SL) y el cv. Rich Lady (RL), se mostró por debajo del límite inferior, mientras que en Vegas Altas, cv. Royal Glory (RG) y cv. Elengant Lady (EL), estuvieron dentro de los valores de referencia. Al igual que para el cobre, no hubo diferencias de concentración de este elemento entre

años para un mismo cultivar. Se observó que los cvs. de Vegas Altas, cv. Royal Glory (RG) y cv. Elegant Lady (EL) presentaron una concentración más heterogénea entre árboles en los dos años de muestreo.

Zinc

Al igual que para la concentración de hierro, el límite superior de los valores de referencia de zinc es muy alto. En esta situación es difícil encontrar concentraciones por encima del límite superior. Los cultivares de Vegas Bajas, cv. Spring Lady (SL) y cv. Royal Glory (RG) en ambos años, se mostraron en el límite inferior, mientras que los cultivares de Vegas Altas, cv. Rich Lady (RL) y cv. Ellegant Lady (EL) estuvieron dentro de los valores de referencia. Como hemos citado en este capítulo, la presencia de un suelo con pH alcalino, dificulta la absorción de Zn, por ello las parcelas situadas en las Vegas Bajas con un pH alcalino frente a las de Vegas Altas, con un pH más ácido, presenta deficiencias de este elemento mineral en hojas.

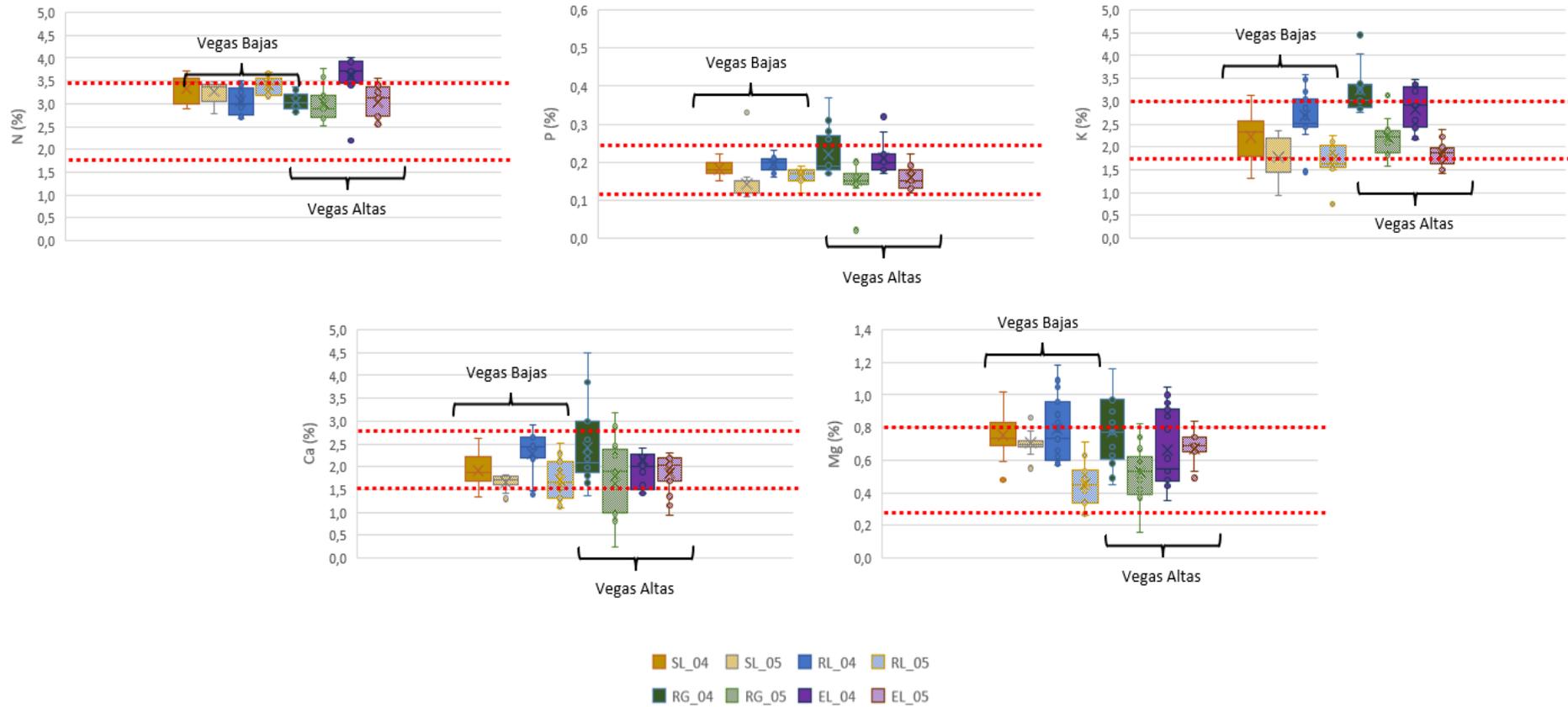


Figura 1- 12 Concentración de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en hojas de melocotonero a los 120 ddpf en los años 2004 y 2005 de los cvs. Spring Lady (SL) y Rich Lady (RL) en Vegas Bajas y en Vegas Altas Royal Glory (RG) y Elegant Lady (EL). Cada caja representa el conjunto de 15 individuos para un mismo cultivar. La línea roja punteada indica los valores de referencia publicados por (Jones et al., 1991b) para melocotonero

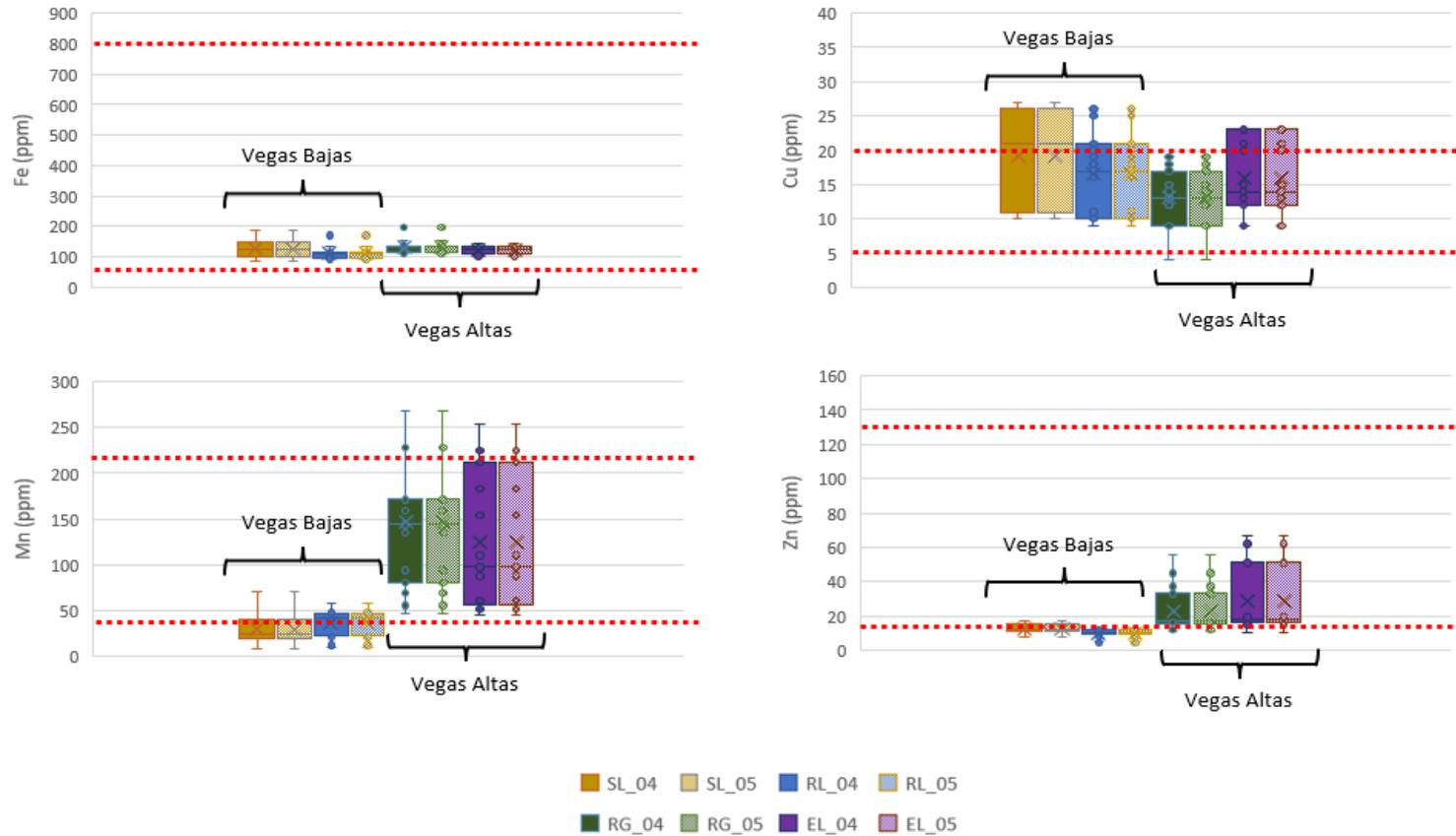


Figura 1- 13 Concentración de hierro, cobre, manganeso y zinc en hojas de melocotonero a los 120 ddpf en los años 2004 y 2005 de los cvs. Spring Lady (SL) y Rich Lady (RL) en Vegas Bajas y en Vegas Altas Royal Glory (RG) y Elegant Lady (EL). Cada caja representa el conjunto de 15 individuos para un mismo cultivar. La línea roja punteada indica los valores de referencia publicados por (Jones et al., 1991b) para melocotonero..

3.3.5. Efecto de los planes de abonado sobre el estado nutricional de los árboles

En consecuencia del diseño de la parcela experimental, ha sido posible comparar las diferencias nutricionales entre individuos sometidos a un plan de abonado e individuos sin abonar, ambos en la misma parcela de estudio, con los mismos aportes hídricos y bajo las mismas condiciones de cultivo.

El análisis de los cultivares de la parcela experimental y la parcela comercial objeto de análisis durante los años 2018 y 2019 se puede apreciar en la Figura 1- 14 y Figura 1- 15. En estas figuras se observan las diferencias en las concentraciones de nutrientes en hoja de aquellos árboles que han sido abonados y los que no.

Nitrógeno

En los cvs. Red Beaut fertilizado (RB_F) y sin fertilizar (RB_SF) de las muestras recogidas en 2018 y 2019 se aprecia que los valores de este elemento están dentro de los valores de normalidad. Mientras que la concentración de nitrógeno en el cv. Red Beaut fertilizado y sin fertilizar disminuyó entre años, en el cv. Angeleno fertilizado (A_F) y sin fertilizar (A_SF) aumentó. A pesar de que en agua de riego el contenido de nitratos fue elevado en la parcela experimental, no se observó un aumento en la concentración foliar de N respecto al resto de los cultivares que no tuvo este aporte extra.

Fósforo

Se observó que la concentración de fósforo del cv. Red Beaut en el año 2018 fertilizado y sin fertilizar (RB_F) y (RB_SF) tuvo una concentración por encima del límite superior mientras que la del cv. Angeleno en el año 2018 estuvo entre los valores de referencia y en el año 2019 fue baja. El contenido de fósforo en suelo fue elevado en todas las muestras analizadas y la aplicación de la fertilización fosfórica fue distinta entre años y cultivares. No se observó una relación entre la aplicación de fósforo a través de los planes de abonado con el contenido presente en hojas.

Potasio

Los cvs. de la parcela experimental (RB y A) presentaron un rango variable de concentración de potasio, en el que el cv. Angeleno estuvo dentro de los valores de normalidad. En el año 2018, la concentración de potasio de los dos tratamientos del cv. Red Beaut, estuvo por debajo del límite inferior, por el contrario en el año 2019 se situó dentro de los valores de referencia. En la parcela experimental, a pesar de que el pH de suelo es neutro, por lo que no hay problemas de disponibilidad de este elemento mineral, el contenido de potasio en suelo fue bajo, pero no fue limitante para el desarrollo del cultivo, porque este elemento se aplica mediante los planes de fertilización. El cv. Angeleno (A) de la parcela experimental también presentó una

concentración dentro de los valores de normalidad, en los dos tratamientos y años.

Calcio

La concentración de calcio en el cv. Red Beaut tanto en el tratamiento fertilizado (RB_F) como en el sin fertilizar (RB_SF) fueron más bajas en el año 2018 que en 2019. El cv. Angeleno fertilizado (A_F) aunque estuvo dentro de los valores de normalidad, disminuyó la concentración en el año 2019 respecto a la del año 2018, mientras que el tratamiento sin fertilizar (A_SF), presentó más homogeneidad en los resultados del año 2018, e incluido dentro de los valores de referencia, que en el año 2019 con más heterogeneidad en la concentración entre los árboles.

Magnesio

Aún encontrando muestras de suelo con bajo contenido en magnesio, de forma general la concentración de magnesio foliar estuvo dentro de los valores de referencia en todos los cultivares analizados, aunque algunos cvs. en el año 2018 con un aporte elevado de magnesio a través del agua de riego, presentaron concentraciones por debajo del límite inferior como el cv. Red Beaut fertilizado y sin fertilizar (RB_F) y (RB_SF). Por encima del umbral superior se observó el cv. Red Beaut y el cv. Angeleno sin fertilizar en el año 2019 (RB_SF) y (A_SF). La concentración de magnesio del año 2018 al año 2019 se incrementó en el cv. Red Beaut fertilizado y sin fertilizar (RB_F) y (RB_SF) y el cv. Angeleno sin fertilizar (A_SF).

Hierro

La concentración de hierro se observó que es muy heterogénea dentro de los individuos de un mismo cultivar. El cv. Red Beaut y cv. Angeleno fertilizado (RB_F) y (A_F) mostraron concentraciones por debajo del límite inferior. En la parcela experimental salvo para el cv. Angeleno sin fertilizar (A_SF), que aumentó su concentración del año 2018 al año 2019, el resto, cv. Red Beaut fertilizado y sin fertilizar (RB_F) y (RB_SF) y, el cv. Angeleno fertilizado (A_F) la disminuyeron de un año para otro de muestreo. El pH del suelo de la parcela comercial fue ligeramente alcalino pero no fue impedimento para tener una concentración foliar dentro de los valores de referencia.

Manganeso

La concentración de manganeso se ha visto que estuvo dentro de los valores de referencia en todos los cvs. En el tratamiento fertilizado de los cvs. de la parcela experimental, cv. Red Beaut y cv. Angeleno (RB_F) y (A_F) la concentración de manganeso disminuyó de 2018 a 2019, mientras que en tratamiento sin fertilizar (RB_SF) y (A_SF) aumentó en el cv. Red Beaut (RB_SF) y se mantuvo igual en el cv. Angeleno (A_SF).

Zinc

La concentración de zinc estuvo por debajo del límite inferior en los cvs. Red Beaut

y Angeleno fertilizado (RB_F) y (A_F) en el año 2019. En el resto de los cultivares el contenido de zinc estuvo incluido dentro de los valores de referencia, pero muy próximos al umbral inferior. El contenido de zinc en los cultivares de la parcela experimental cv. Red Beaut (RB) y cv. Angeleno (A), tratamiento fertilizado y sin fertilizar (RB_F), (RB_SF), (A_F) y (A_SF) en el año 2019 fue inferior respecto al año 2018 por el contrario, en el cv. Angeleno (A) aumentó.

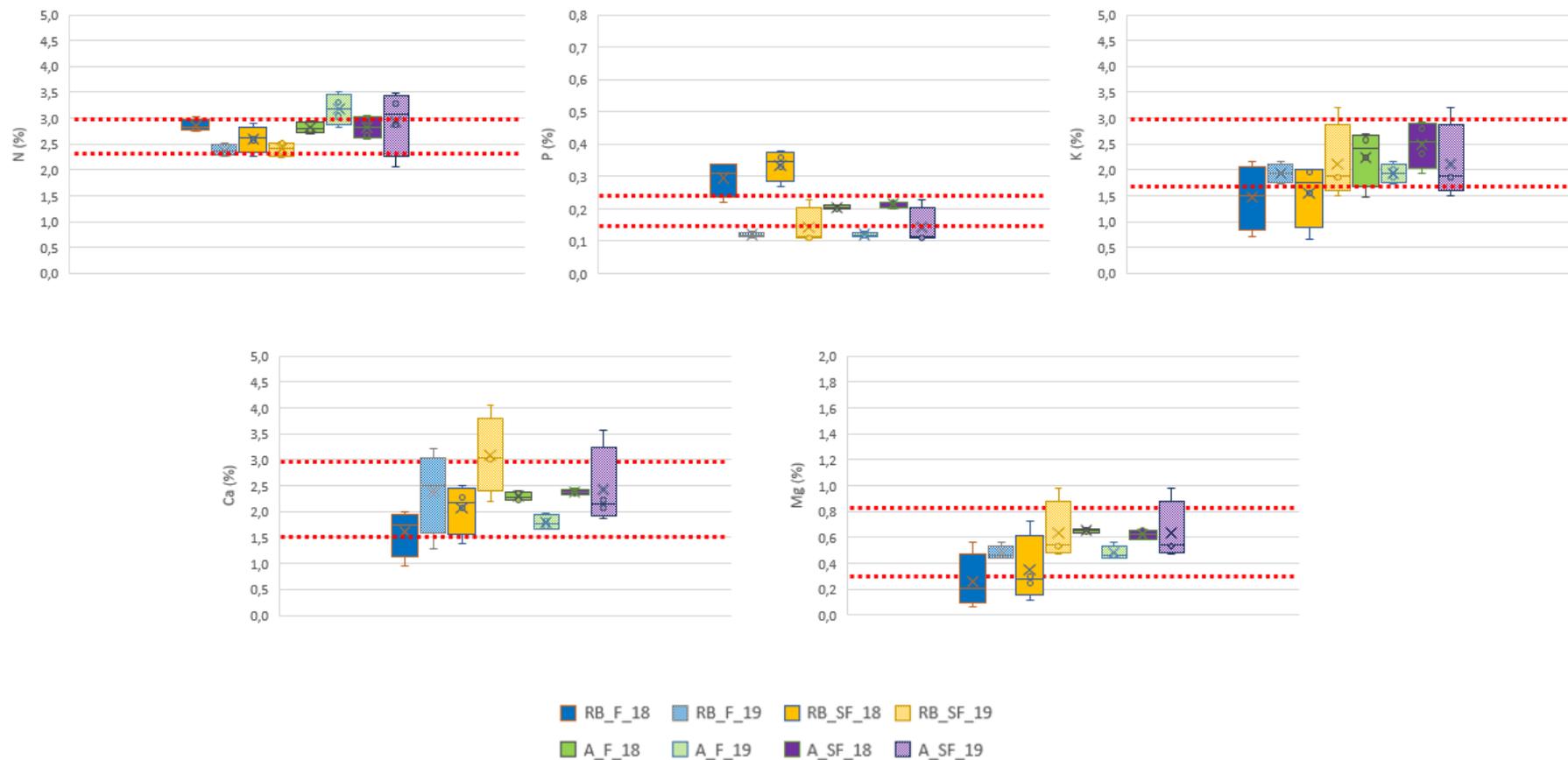


Figura 1- 14 Concentración de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en hojas de ciruelo japonés a los 120 ddpf en los años 2018 y 2019 de los cvs. Red Beaut fertilizado (RB_F_18), (RB_F_19) y sin fertilizar (RB_SF_18), (RB_SF_19), Angeleno fertilizado (A_F_18), (A_F_19) y sin fertilizar (A_SF_18), (A_SF_19). Cada caja representa el conjunto de 4 individuos para un mismo cultivar. La línea roja punteada indica los valores de referencia publicados por (Jones et al., 1991b).

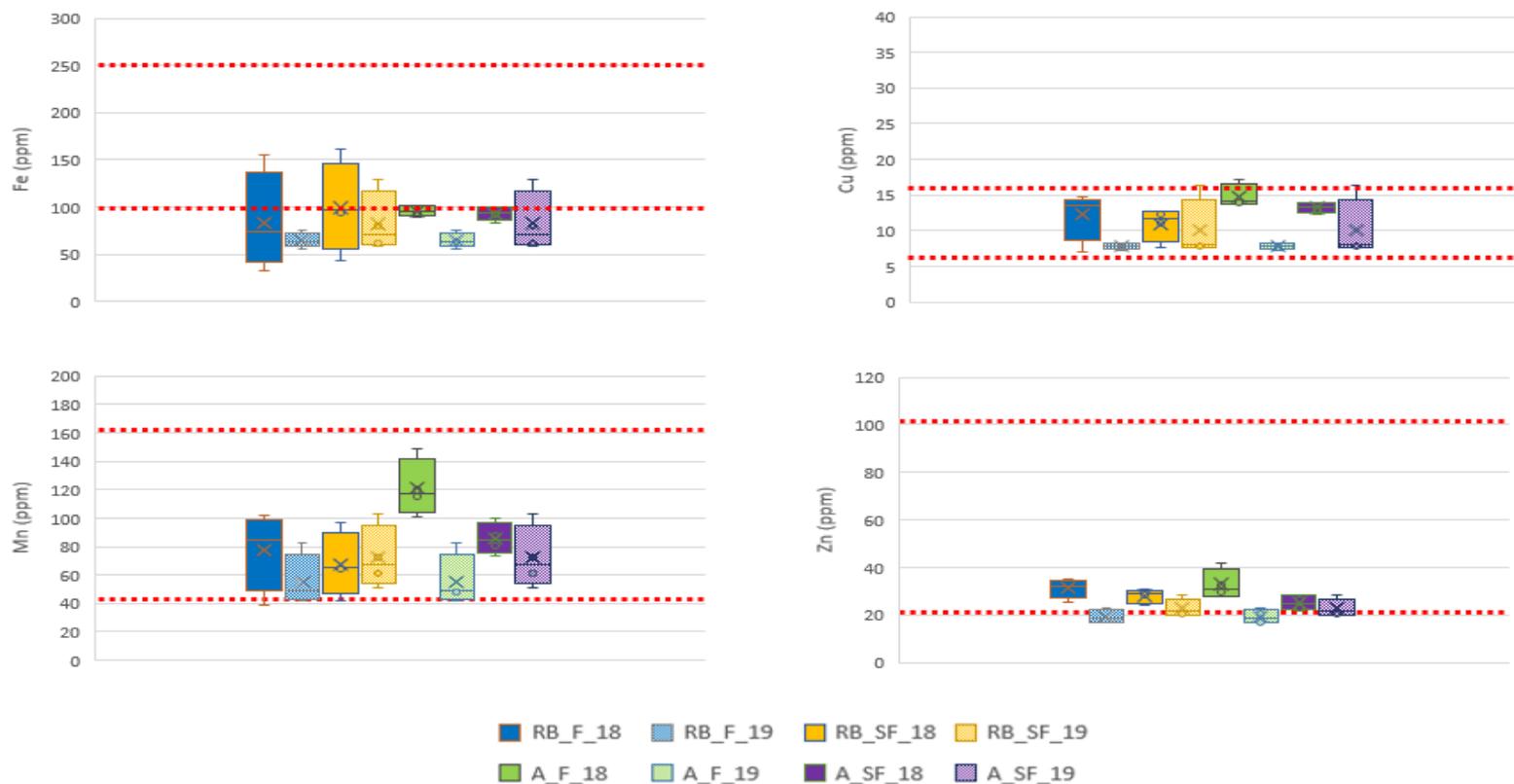


Figura 1- 15 Concentración de hierro, cobre, manganeso y zinc en hojas de ciruelo japonés a los 120 ddpf en los años 2018 y 2019 de los cvs. Red Beaut fertilizado (RB_F_18), (RB_F_19) y sin fertilizar (RB_SF_18), (RB_SF_19), Angeleno fertilizado (A_F_18), (A_F_19) y sin fertilizar (A_SF_18), (A_SF_19). Cada caja representa el conjunto de 4 individuos para un mismo cultivar. La línea roja punteada indica los valores de referencia publicados por (Jones et al., 1991b).

La concentración de nitrógeno en algunas parcelas se mostró por debajo del límite inferior propuesto y pocas parcelas con un contenido de este elemento por encima del límite superior; la concentración de fósforo está por encima del límite superior en algunos de los árboles; el contenido de potasio se ajusta más a los valores de referencia; la concentración de calcio, además de mostrarse árboles por encima del umbral superior, también se hallan por debajo del límite inferior; la de magnesio ha disminuido con los años y en algunos casos se muestran por debajo del límite inferior; el contenido de hierro, se manifestó con parcelas por debajo del límite inferior; la de cobre con concentraciones dentro de los valores de referencia, el contenido de manganeso descendió en los años 2018 y 2019 y se colocó dentro de los valores de referencia y; la de zinc, disminuyó el contenido al igual que la de manganeso.

Es necesario ajustar estos valores de referencia a las condiciones edafoclimáticas de la zona al encontrar que estos límites para algunos elementos minerales están desajustados.

A través de un análisis multivariante de la varianza (MANOVA) se analizó el efecto de la longitud de ciclo de los cvs. “Red Beaut” (ciclo corto) y “Angeleno” (ciclo largo), y el efecto de los tratamientos, con fertilización y sin fertilización, sobre la concentración de nutrientes en hojas recogidas a los 120 ddpf (días después de plena floración) en los años 2018 y 2019 (Tabla 1- 20).

Los resultados indicaron que no hay diferencias entre ambos factores, longitud y tratamientos, pero analizada cada variable por separado se manifiestan diferencias significativas. Cuando se analizó el factor longitud mostraron diferencias significativas en el año 2018 la concentración de P con un contenido más elevado en los cultivares de ciclo corto y, en K, Ca, Mg y Mn con un mayor contenido en los cultivares de ciclo largo; y en el año 2019 con una concentración más elevada en los de ciclo largo. Si el análisis se hizo teniendo en cuenta el factor tratamiento, se reflejaron en Zn (ppm) en 2018 con un mayor contenido en el tratamiento fertilizado y en Cu (ppm) y Mn (ppm) en 2019 con alto contenido en el tratamiento sin fertilizar.

En la concentración de nutrientes influyó más el factor longitud de ciclo que el factor tratamiento. La interacción de ambos factores no fue determinante en la concentración de los elementos minerales.

Capítulo 1

Tabla 1- 20 Análisis estadístico del efecto de la longitud de ciclo, el efecto del tratamiento abonado y la combinación de ambos en los nutrientes estudiados. Los datos se analizan a los 120 ddpf en la parcela experimental de ciruelo tipo japonés, cvs. "Red Beaut" (RB_6_F) y (RB_6SF) y "Angelena" (A_2_F) y (A_2_SF) en los tratamientos con fertilización y sin fertilizar durante los años 2018 y 2019. Se representa el promedio de las cuatro repeticiones de cada cultivar. n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

Elemento	Año	RB_6_F	RB_6_SF	A_2_F	A_2_SF	MANOVA		
						Longitud	Tratamiento	Long*Trat
N	2018	2,86	2,59	2,81	2,82	n.s.	n.s.	n.s.
	2019	2,38	2,41	3,17	2,93	**	n.s.	n.s.
P	2018	0,3	0,34	0,21	0,22	***	n.s.	n.s.
	2019	0,12	0,14	0,12	0,14	n.s.	n.s.	n.s.
K	2018	1,47	1,55	2,25	2,49	*	n.s.	n.s.
	2019	1,94	2,11	1,94	2,11	n.s.	n.s.	n.s.
Ca	2018	1,61	2,06	2,3	2,38	*	n.s.	n.s.
	2019	2,37	3,08	1,79	2,43	n.s.	n.s.	n.s.
Mg	2018	0,26	0,35	0,65	0,62	**	n.s.	n.s.
	2019	0,48	0,63	0,48	0,63	n.s.	n.s.	n.s.
Fe	2018	84	99	96	93	n.s.	n.s.	n.s.
	2019	65	83	65	83	n.s.	n.s.	n.s.
Cu	2018	12	11	15	13	n.s.	n.s.	n.s.
	2019	8	10	8	10	n.s.	*	n.s.
Mn	2018	78	67	121	85	*	n.s.	n.s.
	2019	55	72	55	72	n.s.	*	n.s.
Zn	2018	31	28	33	25	n.s.	*	n.s.
	2019	19	23	19	23	n.s.		n.s.

3.3.6. Efecto de la longitud de ciclo y localización sobre la concentración de nutrientes en ciruelo japonés y en melocotonero

Para interpretar los resultados de la concentración foliar a los 120 ddpf de los cultivares de ciruelo japonés de fincas comerciales se ha analizado el efecto de la longitud de ciclo - corto o largo- la localización de las parcelas -Vegas Altas o Vegas Bajas- y la interacción de ambos factores.

En ciruelo, el análisis de los factores localización y longitud de ciclo de manera independiente puso de manifiesto que, el factor longitud de ciclo no ocasiona diferencias significativas en los árboles de muestreo salvo para la concentración de fósforo en el año 2005, siendo más elevada en los cultivares de ciclo corto (Tabla 1- 21). El factor localización ocasionó diferencias significativas en el año 2004 en la concentración de N y Mg con contenidos más elevados en las Vegas Bajas, en magnesio el agua de riego de esta zona presentó mayor contenido de este elemento y, de Zn en las Vegas Altas. También hubo diferencias significativas en los dos años de muestreo 2004 y 2005 con una concentración más elevada en las Vegas Altas en el contenido de K y Mn.

En ciruelo hubo más diferencias significativas debido a la localización de las parcelas que a la longitud de ciclo.

Tabla 1- 21 Análisis estadístico de la concentración foliar de los nutrientes, los valores se tomaron a los 120 ddpf en la parcela comercial de ciruelo tipo japonés, cvs. Red Beaut (RB), Black Amber (BA), Sun Gold (SG) y Larry Ann (L) durante los años 2004 y 2005. Se representa el promedio de las cinco parcelas de cada cultivar. El valor n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

Elemento	Año	Cultivar				MANOVA		
		RB	BA	SG	L	Localización	Ciclo	Ciclo-Localización
N	2004	2,75	2,58	3,14	2,62	**	n.s.	n.s.
	2005	3,00	2,88	3,16	3,08	n.s.	n.s.	n.s.
P	2004	0,33	0,38	0,21	0,29	n.s.	n.s.	n.s.
	2005	0,30	0,36	0,14	0,18	n.s.	***	n.s.
K	2004	2,57	3,69	2,51	3,72	***	n.s.	n.s.
	2005	1,94	2,41	1,68	2,19	**	n.s.	n.s.
Ca	2004	3,33	2,89	2,85	3,01	n.s.	n.s.	n.s.
	2005	2,92	3,17	2,30	2,73	n.s.	n.s.	n.s.
Mg	2004	0,96	0,73	0,86	0,69	**	n.s.	n.s.
	2005	0,87	0,76	0,74	0,57	n.s.	n.s.	n.s.
Fe	2004	152 a	136 ab	100 b	137 ab	n.s.	n.s.	*
	2005	142	121	103	139	n.s.	n.s.	n.s.
Cu	2004	18	17	21	15	n.s.	n.s.	n.s.
	2005	14	17	14	17	n.s.	n.s.	n.s.
Mn	2004	96	222	67	231	**	n.s.	n.s.
	2005	87	277	54	210	**	n.s.	n.s.
Zn	2004	15	41	15	59	*	n.s.	n.s.
	2005	12 ab	4 b	9 ab	20 a	n.s.	n.s.	*

En melocotonero, considerando el factor longitud se vio que en los dos años se produjeron diferencias significativas en el contenido de Mn y Zn, en el año 2004 en la concentración de K y en el año 2005 en Fe, con concentraciones más elevadas en las parcelas situadas en Vegas Altas, También hubo diferencias en la concentración de Mg en el año 2005 debidas al efecto localización, pero en este caso el contenido más elevado se presentó en las parcelas situadas en las Vegas Bajas. La longitud de ciclo no estableció diferencias de concentración entre cultivares. La interacción entre localización y longitud de ciclo mostró diferencias en el año 2004 en N, en K y Mn y, en el año 2005 en Mg (ver tabla 24). Las diferencias significativas se debieron fundamentalmente a la localización de las parcelas que a la longitud de ciclo.

Capítulo 1

Tabla 1- 22 Análisis estadístico de la concentración foliar de los nutrientes, los valores se tomaron a los 120 ddpf en la parcela comercial de ciruelo tipo japonés, cvs. Spring Lady (SL), Royal Glory (RG), Rich Lady (RL) y Elegant Lady (EL) durante los años 2004 y 2005. Se representa el promedio de las cinco parcelas de cada cultivar. El valor n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

Elemento	Año	Cultivar				MANOVA		
		SL	RG	RL	EL	Localización	Ciclo	Ciclo-Localización
N	2004	3,33 ab	3,04 b	3,07 b	3,59 a	n.s.	n.s.	**
	2005	3,26	2,96	3,04	3,41	n.s.	n.s.	n.s.
P	2004	0,18	0,22	0,19	0,21	n.s.	n.s.	n.s.
	2005	0,14	0,15	0,16	0,17	n.s.	n.s.	n.s.
K	2004	2,22 b	3,25 a	2,68 ab	2,83 ab	*	n.s.	*
	2005	1,78	2,22	1,85	1,71	n.s.	n.s.	n.s.
Ca	2004	1,91	2,41	2,28	1,85	n.s.	n.s.	n.s.
	2005	1,66	1,72	1,85	1,7	n.s.	n.s.	n.s.
Mg	2004	0,76	0,77	0,79	0,66	n.s.	n.s.	n.s.
	2005	0,71 a	0,53 ab	0,67 a	0,46 b	**	n.s.	*
Fe	2004	126	133	111	124	n.s.	n.s.	n.s.
	2005	99	155	114	157	*	n.s.	n.s.
Cu	2004	19	13	17	16	n.s.	n.s.	n.s.
	2005	16	13	8	16	n.s.	n.s.	n.s.
Mn	2004	30 c	147 a	35 bc	125 ab	***	n.s.	**
	2005	19	150	32	131	**	n.s.	n.s.
Zn	2004	13	23	10	28	*	n.s.	n.s.
	2005	5	10	9	11	*	n.s.	n.s.

3.4. Conclusiones

La movilidad de los elementos en el suelo suele ser baja, exceptuando casos como el nitrógeno; esto hace que los planes de abonado no sean cruciales para el año en curso aunque si tengan repercusiones de unos años a otros; haciendo por tanto imprescindible un correcto plan de abonado para asegurar el mantenimiento de los rendimientos en plantaciones comerciales.

Dada la baja movilidad de los elementos, y procurando la mayor eficiencia de los planes de abonado, se deben hacer análisis iniciales de elementos en suelo para evitar abonos excesivos que produzcan toxicidad en plantas.

Así mismo, el agua de riego puede ser una fuente de nutrientes si se extrae de acuíferos contaminados, como es el caso de las parcelas estudiadas, las cuales presentan un contenido elevado de nitratos y, en menor medida por magnesio, lo cual supone un aporte nutricional extra que debe ser tenido en cuenta en los planes de abonado. Este factor cobra más importancia con la tendencia en el cambio climático que se observa en la zona es decir, un aumento de las temperaturas en la estación seca con un descenso de las precipitaciones, esto hace que la demanda evapotranspirativa sea mayor y se deba suplir con aportes de riego, procedentes de fuentes contaminadas de nutrientes que aumentarán la concentración en tejidos de estos compuestos, pudiendo llegar a niveles tóxicos y afectar de manera negativa al rendimiento de los cultivos.

Otro de los factores que son claves en la elaboración de los planes de abonado son las características físicas del suelo. Los terrenos de las Vegas Altas son arenosos, franco-arenosos, requiriendo unos aportes de agua y fertilizantes más frecuentes y de menor cantidad debido a la tendencia al lavado que tienen. En el caso de Vegas Bajas, los suelos son más arcillosos y pueden retener más los compuestos y el agua, por lo que los abonados que se dispongan pueden ser en formas de liberación más lenta.

Todas las parcelas estudiadas comparten algunas características, como el bajo contenido de materia orgánica o un elevado contenido en sodio; esto ocasiona que aunque no hay problemas de salinidad, si puede inducir a largo plazo un deterioro de las propiedades físicas y químicas del suelo afectando a la estructura y permeabilidad y, por tanto sobre el rendimiento de los cultivos.

Teniendo en cuenta la localización de las parcelas, se observó un menor contenido de calcio y magnesio en las muestras de suelo en las parcelas de Vegas Altas que las de Vegas Bajas, confirmando que son suelos más ácidos y que ambos elementos son unos indicadores del pH del suelo

Los suelos de las Vegas Bajas son principalmente alcalinos, esto ocasiona problemas de solubilidad de elementos y dificulta su asimilación por parte de las plantas,

generando en ocasiones deficiencias, se ha demostrado que una combinación de limitación de abonados con un incremento en los aportes de materia orgánica a lo largo del tiempo es beneficioso para asegurar revertir esta situación.

La CIC de las parcelas estudiadas es baja, por lo que la disponibilidad de elementos minerales en ellas no será escasa y, requiere de unos aportes continuados de los mismos si se quiere mantener un nivel nutricional óptimo para asegurar la producción.

En las parcelas comerciales de ciruelo japonés, los contenidos foliares a los 120 ddpf presentaron una tendencia excedentaria para la mayoría de los elementos minerales analizados, solo la concentración de Fe se mostró dentro de los valores de referencia.

Los contenidos foliares a los 120 ddpf de las parcelas comerciales de melocotonero, presentaron concentraciones dentro de los valores de referencia.

La concentración foliar a los 120 días después de plena floración (ddpf) en distintos cultivares comerciales de ciruelo japonés y melocotonero se vio influenciada más por la localización de las parcelas, que por la longitud de ciclo.

La falta de uniformidad de los planes de abonado entre parcelas del mismo cultivar, se traduce en un deterioro de las propiedades del suelo, aumento de la contaminación de los acuíferos, problemas de intoxicación en las planta y pérdidas económicas para el productor.

El análisis foliar presentó la sensibilidad suficiente para detectar diferencias entre distintas estrategias de fertilización sin embargo, tiene el inconveniente de falta de inmediatez en los resultados para una rápida intervención.

3.5. Bibliografía

- Alejo, K. J. (2023). Distribución espacio temporal de los parámetros de fertilidad de los suelos de Canchán, 2022. *Tesis Doctoral*, 1–65.
- AOAC. (1995). *Official Methods of Analysis* (14th ed.). Association of Official Analytical Chemist.
- AOAC. (2000). *International. Official Methods of Analysis* (17th ed.).
- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis. Dumas Method (990.03). 15 th edition. Washington D.C., USA.*
- APHA-AWWA-WEF. (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition. New York.*
- APHA-AWWA-WEF. (1999). Standard Methods for the examination of water and wasterwater. *American Public Heath Association, American Water Works Association, Water Enviroment Federation.*
- Arce-Rodríguez, K., Sibaja-Brenes, J., Ramírez-Amador, S., Vega-Fonseca, A., & Tobar-López, D. (2023). Emisiones de óxido nitroso y metano en pasturas activas en la zona de vida bosque húmedo tropical en Costa Rica. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial* , 21(2), 130–145. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n2.2023.1610>
- Ayers, R. S., & Westcott, D. W. (1985). FAO. Water Quality or Agriculture. In *Irrigation and Drainage* (Vol. 29).
- Barroso, J. (1998). Evaluation of different rootstocks for “Greengage” plum. *Acta Horticulturae*, 478, 331–339. <https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.1998.478.54>
- Bataller, V. (2014). El calcio y su asimilación por parte de las plantas. *Cannabis Magazine*, 125, 58–63. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4813146>
- BOE. (1976). Orden de 5 de diciembre de 1975 por la que se aprueban como oficiales los métodos de análisis de suelos y aguas. *Boletín Oficial Del Estado*, 6458–6491.
- Bouyoucos, G. J. (1936). Directions for making mechanical analysis of solis by the hydrometer method. *Soil Science*, 4, 25–228. https://journals.lww.com/soilsci/citation/1936/06000/the_state_in_which_the_hygroscopic_moisture_exists.4.aspx
- Bueno Buelvas, R., Cristian Fernández Lizarazo, J., Buelvas, B., Lizarazo, F., & Cristian, J. (2019). La capacidad de intercambio catiónico del suelo: una bóveda de nutrición clave en la producción de alimentos. *Ciencia.Lasalle.Edu.Co.* <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1029&context=ai>

- Bueno, J., Trabadelo, E., & Rituerto, J. R. (1996). Caracterización de suelos y estudio del periodo de estabilización nutricional en frutales en las Vegas Bajas del Guadiana. In *Consejería de Agricultura y Medio Ambiente. Junta de Extremadura. No publicado.*
- Carmenates, D., Hidalgo, Y., Nurse, O., Mujica, A., & Paneque, P. (2013). Influencia de la calidad del agua para el riego en las obturaciones de los emisores en Ciego de Ávila. *Revista Ciencias Agropecuarias*, 22(1), 36–38. http://www.fao.org/index_es.htm
- Cobianchi, D., Bergamini, A., & Cortesí, A. (1989). *El Ciruelo* (Ed. Mundi-Prensa).
- Coletto, J. M., Anarte, J. M., & Esteban, G. (1989). Fertilización de cultivos en Extremadura. In *Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de la Universidad de Extremadura & Consejería de Agricultura, Industria y Comercio de la Junta de Extremadura* (p. 161).
- Corradini, F. (2023). Referencias para análisis foliares: valores esperados para la prognosis de deficiencias nutricionales. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA*, 483, 1–170.
- Cottenie, A. (1984). *Los análisis de suelos y plantas como base para formular las recomendaciones sobre fertilizantes*. Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación. Boletín de Suelos de La FAO 38/2.Roma. https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Cottenie%2C+A.+1984.+Los+an%C3%A1lisis+de+suelos+y+plantas+como+base+para+formular+las+recomendaciones+sobre+fertilizantes.+Organizaci%C3%B3n+de+las+Naciones+Unidad+para+la+Agricultura+y+la+Alimentaci%C3%B3n.+Bolet%C3%ADn+de+suelos+de+la+FAO+38%2F2.+Roma.+&btnG=
- Cremona, M. V., & Enriquez, A. S. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. *Presencia*, 73, 5–8.
- CTADF. (1969). *CTADF (Comité Inter-Instituts d'Etude des Techniques Analytiques du Diagnostic Foliare). Méthodes de référence pour la détermination des éléments minéraux dans les végétaux.* 24. https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=CTADF+%28Comit%C3%A9+Inter-Instituts+d%E2%80%99Etude+des+Techniques+Analytiques+du+Diagnostic+Foliare%29.+1969.+M%C3%A9thodes+de+r%C3%A9f%C3%A9rence+pour+la+d%C3%A9termination+des+%C3%A9l%C3%A9ments+min%C3%A9raux+dans+les+veg%C3%A9taux.+Oleagineux%2C+24.&btnG=
- Curetti, M., & De Rossi, R. (2020). *Fertilización con nitrógeno en montes frutales*. Fruticultura.
- Echeverría-Pérez, E. G., Castañeda-Hidalgo, E., Robles, C., Martínez-Gallegos, V., Santiago-Martínez, GM., & Rodríguez-Ortiz, G. (2023). INDICADORES DE CALIDAD COMO HERRAMIENTAS ÚTILES PARA EVALUAR EL ESTADO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 10(1), 60–83.

<https://doi.org/10.601587rma.v10i1.376>

- Encinas, M. S., & García, L. M. (1997). Diagnóstico visual de la clorosis férrica. *ITEA*, 93(1), 7–22. <https://digital.csic.es/handle/10261/13790>
- Espada, J. L. (1990). Melocotón tardío de Calanda. *Hortofruticultura*, 1, 48–51.
- Favela, E., Cortés, J. I., Alcántar, G., Etchevers, J. D., Baca, G. A., & Rodríguez, J. (2000). Foliar Spray Applications of Zinc on Pecan Trees in Alkaline Soils. *Terra*, 18(3), 239–245.
- Fernández, M. T. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. *Instituto Cubano de Investigaciones de Los Derivados de La Caña de Azúcar*, XLI(2), 51–57. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223114970009.pdf>
- Gallegos-Vázquez, C., Olivares-Sáenz, E., Vázquez-Alvarado, R., & Zavala-García, F. (2000). Absorción de nitrato y amonio por plantas de nopal en hidroponía. *Terra Latinoamericana*, 18(2), 133–139.
- García, A. (2008). La materia orgánica y su papel en lucha contra la degradación del suelo. *XI Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo*.
- Gonzalez, V., Abadía, A., Abadía, J., Vivas, A., & Prieto, M. H. (2006). Estado nutricional del ciruelo japonés (*Prunus salicina*) en las Vegas del Guadiana. *Vida Rural*, 222, 34–38.
- González, V., Abadía, A., Abadía, J., Vivas, A., & Prieto, M. H. (2006). Estado nutricional en las Vegas del Guadiana del melocotonero. *Vida Rural*, 223, 78–82.
- Gordillo, O. P., Fischer, G., & Guerrero, R. (2004). Efecto del riego y de la fertilización sobre la incidencia del rajado en frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en la zona de Sylvania (Cundinamarca). *Agronomía Colombiana*, 22(1), 53–62.
- Guerra, M. E., López Corrales, M., Rodrigo García, J., & Wünsch, A. (2012). La polinización en ciruelo japonés (Parte II): selección de variedades polinizadoras. *Revista de Fruticultura*, ISSN 2013-5742, N°. 18, 2012, Págs. 20-25, 18, 20–25. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3918778>
- Guerra, M. E., López Corrales, M., Wünsch, A., & Rodrigo García, J. (2011). La polinización en ciruelo japonés (Parte I): autoincompatibilidad. *Revista de Fruticultura*, ISSN 2013-5742, N°. 16, 2011, Págs. 14-19, 16, 14–19. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3804358>
- Gutiérrez, N., Noemí, C., Venialgo, C., Agrotecnia, J. G.-, & 2002, undefined. (2002). Materia orgánica en sistemas de labranza y cultivos en la serie Tizón. *Revistas.Unne.Edu.Ar*, 9. <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/agr/article/view/468>
- Heras, L., Sanz, M., Gómez, V., & Montañés, L. (1990). *Diagnóstico precoz de la situación del melocotonero. Valores de referencia*.
- Holford, I. C. R. (1997). Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. *Soil*

Research, 35(2), 227–240. <https://doi.org/10.1071/S96047>

Jomaa, A. B. (2002). *Clorosis férrica: respuestas de las plantas y métodos de corrección*. Universidad de Lleida, CSIC - Estación Experimental de Aula Dei (EEAD).

Jones, J. B. Jr., Wolf, B., & Mills, H. A. (1991a). *Plant Analysis Handbook II*. Micro-Macro Pubs.

Jones, J. B. Jr., Wolf, B., & Mills, HA. (1991b). *Plant Analysis Handbook. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide* (Inc. Micro-Macro Publishing, Ed.). <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19921969819>

Lattata, J. (1987a). Metodi e interpretazione delle analisi fogliari in frutticoltura. *Frutticoltura*, 6–7.

Lattata, J. (1987b). Metodi ed interpretazione delle analisi fogliari in frutticoltura. *Frutticoltura*, 6–7, 71–76.

Leece, D., & Ende, B. den. (1975). Diagnostic leaf analysis for stone fruit. 6. Apricot. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 15(72), 123–128. <https://doi.org/10.1071/EA9750123>

Leece, D. R. (1975a). Diagnostic leaf analysis for stone fruit. 4. Plum. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 15(72), 112–117. <https://doi.org/10.1071/EA9750112>

Leece, D. R. (1975b). Diagnostic leaf analysis for stone fruit. 5. Sweet cherry. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 15(72), 118–122. <https://doi.org/10.1071/EA9750118>

Leece, D. R., & Gilmour, A. R. (1974). Diagnostic leaf analysis for stone fruit 2. Seasonal changes in the leaf composition of peach. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 14.

López, J. (2023). *Curvas de absorción de nitrógeno y potasio en tomate bajo invernaderos con distintos niveles de fertirrigación*. Universidad de la República. Facultad de Agronomía.

López-Jiménez, A., Cortés-Flores, J. I., Cruz-Hernández, J. P., & Acosta-Hernández, R. (2023). Producción sustentable de árboles de ciruelo (*Prunus domestica* L.) en alta densidad en suelos alcalinos. *Agrodivulgacion*, 26–27. <https://doi.org/10.54767/ad.v3i4.223>

Mañana, B., Covacevich, F., Sanz H.R., Barbieri, P. A., & Commatteo, J. G. (2021). Encalado en suelos agrícolas acidificados de la región pampeana: efecto sobre actividad de hongos micorrizicos. *Ciencia Del Suelo*, 39(1), 20–38. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672021000100020&script=sci_arttext

MAPA.Ministerio de Agricultura, P. y A. (2020). Anuario de Estadística. Estadísticas Agrarias. <https://www.mapa.gob.es/Es/Estadistica/Temas/Publicaciones/Anuario-de-Estadistica/2021/Default.aspx?Parte=3&capitulo=07&grupo=9&seccion=11>.

- Martin-Prével, P., Gagnard, J., Gautier, P., & Holmes, M. (1987). *Plant analysis as a guide to the nutrient requirements of temperate and tropical crops*. <https://agritrop.cirad.fr/350150/>
- Mengel, K., & Rahmatullah. (1994). Exploitation of potassium by various crop species from primary minerals in soils rich in micas. *Biology and Fertility of Soils*, 17(1), 75–79. <https://doi.org/10.1007/BF00418676>
- Montañés, L., & Sanz, M. (1994). Prediction of reference values for early leaf analysis for peach trees. *Journal of Plant Nutrition*, 17(10), 1647–1657. <https://doi.org/10.1080/01904169409364837>
- Montañés, L., Sanz, M., Gómez, V., & Heras, L. (1990). Optimos nutricionales en melocotonero. *Anales de La Estación Experimental de Aula Dei*, 20(1–2), 7–13.
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (2015). *Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter*. 539–579. <https://doi.org/10.2134/AGRONMONOGR9.2.2ED.C29>
- Nieto, J., Arroyo, P., Hidalgo, J., Hidalgo, J. C., & Pastor, M. (2006). Determinación del momento de muestreo para la caracterización del estado nutritivo de plantaciones de olivar de regadío de la variedad Picual mediante análisis foliar. *Fruticultura*, 161, 61–68.
- Olsen, S. R., & Sommers, L. E. (1982). Phosphorus. Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. In *American Society of Agronomy and Soil Science Society of America*. (Second Edition). https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Olsen%2C+S.R.%3B+Sommers%2C+L.+E.+1982.+Phosphorus.+Methods+of+solil+analysis.+Part+2%3A+Chemical+and+Microbiological+Properties.+Second+Edition.+American+Society+of+Agronomy+and+Soil+Science+Society+of+America.+ISBN+9780891180722.&btnG=
- Ono, K., Akagi, T., Morimoto, T., Wünsch, A., & Tao, R. (2018). *Genome Re-Sequencing of Diverse Sweet Cherry (Prunus avium) Individuals Reveals a Modifier Gene Mutation Conferring Pollen-Part Self-Compatibility*. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcy068>
- Orden de 4 de marzo de 2019. (2019). por la que se declaran las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos de origen agrario en la Comunidad Autónoma de Extremadura. In *Diario Oficial de Extremadura* (pp. 11220–11228).
- Pinta, M. (1973). *Méthodes de référence pour la détermination des éléments minéraux dans les végétaux. Détermination des éléments Ca, Mg, Fe, Mn, Zn et Cu par absorption*. <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCAL7332012073>
- Prieto, M. H., González, J. A., Campillo, C., Fórtés, R., Millán, S., & González, V. (2014). Evaluación de diferentes medidas de planta para la guía de la fertilización nitrogenada de la coliflor. *Ensayos en Extremadura. V Jornadas Fertilización SECH*, 66, 31–36.

- REDAREX. (n.d.). *Red de Asesoramiento al Regante de Extremadura (REDAREX)*. Junta de Extremadura. Retrieved November 18, 2023, from http://redarexplus.juntaex.es/RedarexPlus/index.php?modulo=estaciones&pagina=datos.php&enlace=Estaciones&camino=Datos%20de%20las%20estaciones&id_estacion=205&id_provincia=6
- Richards, L. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=KP8_AAAAIAAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Richards,+L.A.+1954.+Diagnosis+and+improvement+of+saline+and+alkali+soils.+Agriculture+Handbook.+60.+USDA.&ots=hgufp75qhA&sig=ddASM-1n-Li3-XTWwKDv4UxycLM
- Richards, LA. (1964). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos* (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Ed.; Tercera Edición). https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=diagn%C3%B3stico+y+rehabilitaci%C3%B3n+de+suelos+salinos+y+s%C3%B3dicos&btnG=
- Rodrigo, J., Negueroles, J., & Wünsch, A. (2019). Elección de variedades polinizadoras en cerezo. *Revista de Fruticultura, ISSN 2013-5742, Nº. Extra 70, 2019 (Ejemplar Dedicado a: Cerezo), Págs. 68-71, 70, 68–71*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7109805&info=resumen&idioma=ENG>
- Rolón, M. P., Rolón, G. A., Fatecha, D. A., Ortiz, C. E., Leguizamón, C. A., & Rasce, J. W. (2022). Disponibilidad de manganeso en suelos de la región oriental del Paraguay. *Rev. Investig. Cient. Tecnol*, 6(1), 58–69. [https://doi.org/10.36003/Rev.investig.cient.tecnol.V6N1\(2022\)5](https://doi.org/10.36003/Rev.investig.cient.tecnol.V6N1(2022)5)
- Sanz, M., Carrera, M., & Montañés, L. (1993). El estado nutricional del peral. Posibilidad del diagnóstico floral. *Hortofruticultura 10*, 60–62.
- Sanz, M., & Montañés, L. (1993). Diagnóstico foliar continuado en melocotonero. Valores de referencia. *ITEA, 89V(2)*, 79–89.
- Schoonover, J., Water, J. C.-J. of C., & 2015, undefined. (2015). An introduction to soil concepts and the role of soils in watershed management. *Wiley Online Library/JF Schoonover, JF CrimJournal of Contemporary Water Research & Education, 2015•Wiley Online Library, 154(1)*, 21–47. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2015.03186.x>
- Shen, J., Yuan, L., Zhang, J., Li, H., Bai, Z., Chen, X., Zhang, W., & Zhang, F. (2011). Phosphorus dynamics: from soil to plant. *Plant Physiology, 156*, 997–1005. <https://academic.oup.com/plphys/article-abstract/156/3/997/6109050>
- Tartbull, T., & Betancourt, C. (2016). La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan. *Revista Científica Agroecosistemas*, 4(1), 47–61. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/75>

- Thomas, G. W. (1982). Exchangeable cations Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. In *American Society of Agronomy and Soil Science Society of America* (Second Edition).
https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Thomas%2C+G.+W.+1982.+Exchangeable+cations+Methods+of+soil+analysis.+Part+2%3A+Chemical+and+Microbiological+Properties.+Second+Edition.+American+Society+of+Agronomy+and+Soil+Science+Society+of+America.+ISBN+9780891180722.&btnG=
- USDA. (1999). Soil Taxonomy. A Basic of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. *Segunda Edición*, 869.
- Villarroel, J. A. (1988). Manual práctico para la interpretación de análisis de suelos en laboratorio. *Universidad Mayor de San Simón. Agroecología Universidad Cochabamba (AGRUCO)*, 10, 1–42. <http://atlas.umss.edu.bo:8080/jspui/handle/123456789/142>
- Walkley, A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29–38.
https://journals.lww.com/soilsci/citation/1934/01000/an_examination_of_the_degtjareff_method_for.3
- Zoppolo, R., & Fasiolo, C. (2016). Hortifructicultura Diciembre 2016-Revista INIA. *Hortifructicultura*, 47, 27–30.

CAPÍTULO 2.

ESTUDIO Y EVALUACIÓN DEL ESTADO NUTRICIONAL DE DOS VARIETADES DE CIRUELO JAPONÉS (*PRUNUS SALICINA* L.) EN LA COMARCA DE VEGAS BAJAS (EXTREMADURA).

4.1. Introducción

La fruticultura tiene gran importancia económica y social en la agricultura de regadío de Extremadura. Las Vegas del Guadiana es la zona regable más extensa de esta región y donde se localiza la mayor superficie de frutales de regadío, en su práctica totalidad con frutales de hueso: ciruelo japonés, melocotón, nectarina, paraguayo, algo de albaricoque y más recientemente platerina. Se trata de una zona muy adecuada en cuanto a climatología, suelos y disponibilidad de agua, con un amplio rango de cultivares temprano, medio y tardíos que comprenden un periodo de recolección de finales de mayo a principios de septiembre.

Extremadura es la principal productora nacional de ciruela, en todas sus variedades amarilla, roja y negra con una producción de 77.600 t y es la primera región por superficie plantada con 6.764 ha del total nacional que ascienden a 14.406 ha (MAPA, 2020).

La fruta que se produce en la comunidad extremeña se caracteriza por ser de alta calidad, con unas características organolépticas excepcionales, alto nivel de azúcar y color en las producciones y con un sistema de producción respetuoso con el medio ambiente. A esto se le une a que cada vez es mayor el número de investigaciones que indican que un consumo habitual de frutas es un factor determinante en la prevención de muchas enfermedades, en particular con un aumento de los indicadores de las defensas antioxidantes y disminución del daño oxidativo inflamatorio (Cedeño et al., 2023).

El estado nutricional de la planta afecta directamente a las características de las cosechas, sobre la calidad de los frutos (Yang et al., 2021) y la durabilidad del almacenamiento (Cuquel et al., 2011). Trabajos realizados por Sotiropoulos et al., (2010) ponen de manifiesto que aplicaciones foliares de fertilizantes influyen sobre la calidad del melocotonero, afectando a la concentración de minerales en los frutos y a su valor nutritivo. En este sentido, el manejo de la fertilización representa un pilar fundamental a tener en cuenta dentro de las prácticas de cultivo. Aunque los planes de fertilización en especies frutales se suelen basar en los análisis de la composición mineral del suelo y las hojas (Lisek & Stępień, 2021), la concentración de nutrientes en las hojas depende de una multitud de factores, siendo los más importantes: el tipo y contenido mineral del suelo (Zydlik et al., 2011), el tipo de fertilizante (Komosa & Szewczuk, 2002), el portainjerto (Boyhan et al., 1995; Mestre et al., 2017), las especies y variedades de árboles (Tagliavini et al., 1992), las condiciones climáticas (Zydlik Z & Pacholak E, 2006; Sosna, 2010), la edad de los árboles (Treder & Olszewski, 2004), la densidad de plantación (Olszewski & Mika, 1986; Tomita et al., 2008), las prácticas agrícolas (Pešaković et al., 2020), el riego (Intrigliolo & Castel, 2010), la poda (Tehrani & Leuty, 1987; Stepanyan et al., 2021), la fase del crecimiento del cultivo (Alexandrova, 2022) y la disponibilidad de agua en el suelo (Fernández Hernández et al., 2009). Teniendo en cuenta la cantidad de factores y condiciones variables, la identificación de las necesidades de fertilización de los frutales es una

tarea difícil (Lisek & Stępień, 2021).

Una de las consecuencias derivadas del cambio climático es el aumento de la concentración atmosférica de gases con efecto invernadero, entre los que se encuentra el CO₂. Este hecho condiciona el funcionamiento de las plantas al incidir directamente en ciclo del carbono y por tanto, afectando a los procesos de fotosíntesis, fotorrespiración y respiración. Además, estos gases retienen parte de la radiación infrarroja emitida por el planeta y provoca un aumento de la temperatura. En condiciones de estrés térmico, la planta disminuye su concentración de clorofila para prevenir la captura excesiva de energía lumínica que pueda afectar a la fotosíntesis, fenómeno observado por Reyes Santamaría et al., 2023. En casos extremos esta clorosis ocasiona pérdidas del tejido foliar y posteriormente la senescencia. Por otra parte, el cambio climático aumenta la frecuencia e intensidad de las sequías y se ha reconocido como la amenaza potencialmente más grave para la productividad de cultivos en todo el mundo, ya que limita el crecimiento y por lo tanto, el rendimiento de las plantas. Conforme disminuye el contenido relativo de agua en el suelo, la respiración, la fotosíntesis y el movimiento de los estomas, disminuyen (Liu et al., 2019).

La Comisión Europea ha integrado transversalmente la política medioambiental y climática en las demás políticas comunitarias, como se refleja en el Pacto Verde Europeo “Objetivo 55” y plasmado finalmente en Reglamento (UE) 2021/1119, de 30 de junio de 2021 con unos objetivos ambientales muy ambiciosos, entre los que se encuentra uno referido a la fertilización y buen estado agronómico de los suelos. Este reglamento establece como meta reducir para 2030, como mínimo la mitad de las pérdidas de nutrientes sin deteriorar la fertilidad del suelo, lo que reducirá el uso de fertilizantes en al menos un 20 % de aquí a 2030.

En este sentido, el Gobierno de España a través del Real Decreto 1051/2022, de 27 de diciembre, que entrará en vigor el 1 de enero de 2024 establece normas para la nutrición sostenible en los suelos agrarios y consolida cambios para la gestión de los purines y fertilizante. El objetivo de esta norma es reducir las emisiones de gases contaminantes y evitar la contaminación de suelos y aguas. Para ello será obligatorio que todas las explotaciones agrícolas dispongan de un plan de abonado realizado por un técnico, en el que se incluya una estimación de los nutrientes necesarios y el momento de aplicación, en función del cultivo y de la analítica de suelo.

En Extremadura, la Orden de 9 de marzo de 2009 recoge una serie de medidas que son obligatorias en las zonas declaradas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias. Sin embargo, es preciso establecer una norma que regule un marco general básico de aplicación en toda España para regular un aporte sostenible de nutrientes en los suelos, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otros gases contaminantes para evitar la contaminación de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, preservar y mejorar las propiedades biológicas de los suelos agrarios, evitar la acumulación de metales pesados y otros contaminantes en los suelos agrarios, y salvaguardar la biodiversidad ligada a

los suelos agrarios. Es necesario llegar a un equilibrio entre la regulación en vigor y la que comenzará a aplicarse en el 1 de enero de 2024 sobre contaminación por nitratos y normas para la nutrición sostenible.

Sobre el marco legislativo presentado hay que tener en cuenta que las plantaciones comerciales deben seguir recibiendo aportes minerales para sostener su productividad y que estos nutrientes deben ser asimilables por las plantas, ser solubles en la solución del suelo, estar en cantidades adecuadas y equilibradas de acuerdo con el momento de la demanda del cultivo y encontrarse de forma accesible al sistema radicular (excepto cuando se proporcionan vía foliar). Sin embargo, que un nutriente esté disponible para la planta no implica que ésta lo absorba, ya que la absorción radicular obedece tanto a la presencia de elementos solubles en la rizosfera, como a diversos factores metabólicos (Fernández-Escobar et al., 2006). Las plantas reciben los nutrientes de numerosas fuentes, entre ellas se pueden citar las reservas del suelo, los fertilizantes minerales, el nitrógeno atmosférico a través de la fijación biológica, agua de riego, aguas subterráneas o inundación y sedimentación provocada por las escorrentías.

Para diagnosticar el estado nutricional de una plantación se considera hasta la fecha que el mejor método es el análisis foliar (Razeto & Palacios, 2007). La hoja representa el pool activo de reservas nutricionales dentro de la planta ya que muchos elementos minerales se encuentran dentro de la vacuola y cumplen un rol fundamental como fuente de aporte inmediato de nutrientes. Este análisis puede utilizarse para: a) definir o confirmar diagnósticos basados en síntomas visuales de deficiencia o toxicidad; b) identificar niveles por debajo del óptimo antes de la aparición de síntomas visuales; c) identificar desequilibrios de nutrientes en presencia de síntomas visuales que no se corrigen por la adición de un solo elemento; d) identificar interacciones o antagonismos entre iones; y e) en suma, como una guía para la fertilización (Fernandez-Escobar & Parra, 1985).

El análisis foliar es un buen indicador del estado nutricional de los frutales, siempre que el resultado de su análisis químico sea comparado con estándares originados en zonas edafoclimáticas similares, para muestras colectadas en fechas relativamente similares. Además, otros factores para un correcto diagnóstico nutricional son la metodología de muestreo y el método de la determinación química (D. R. Leece, 1975a). El problema radica en que no hay valores de referencia adaptados a las condiciones edafoclimáticas de las Vegas del Guadiana, lo que dificulta la evaluación del estado nutricional de los frutales y corregir los desórdenes nutricionales que puedan llegar a comprometer la producción y calidad de los frutos. Durante los años 1990 a 1993 el Servicio de Producción Agraria de la Consejería de Agricultura y Comercio de la Junta de Extremadura, realizó una caracterización de suelos y un estudio del periodo de estabilización nutricional en frutales en las Vegas Bajas del Guadiana, entre los que incluye el ciruelo japonés. Este trabajo fue realizado por Enrique Trabadelá Gómez del Consejo de Abonado con ayuda de José Ramón Rituerto Gómez en fincas colaboradoras. Aunque estos datos no fueron publicados, determinaron que el periodo de estabilidad de los elementos

minerales en hojas estaba el comprendido entre 20 y 30 de agosto.

Para realizar un correcto análisis foliar, hay que tener en cuenta que el contenido mineral de la hoja no permanece constante a lo largo de todo el periodo vegetativo. Durante las diferentes etapas de desarrollo de un frutal se van produciendo cambios estacionales en la concentración de nutrientes (Sánchez-Alonso & Lachica, 1987; Montañés et al., 1990; Orduz-Ríos et al., 2020). Estos cambios de concentración están relacionados con las necesidades nutricionales que tienen los distintos órganos de las plantas (El-Jendoubi et al., 2013), con el grado de movilidad interna de cada elemento y con las interacciones de sinergismo o antagonismo que se producen entre ellos. Por ello es crucial establecer el momento óptimo de muestreo que idealmente debería estar lo suficientemente anticipado a la fecha de recolección, para que la corrección nutricional tenga éxito y no comprometa la producción y calidad de los frutos de esa campaña.

En frutales, de acuerdo a bibliografía, la fecha estándar para la realización del diagnóstico foliar es la de 120 días después de plena floración (Sanz & Montañés, 1993), que se corresponde, dependiendo de los cultivares, a mediados de verano en el Hemisferio Norte, entre el 15 de julio y 15 de agosto, y que en nuestras condiciones se sitúa entre junio y julio. En esta fecha la mayoría de los cultivares están recogidos o a punto de ser recogidos, sobre todo en el caso de cultivares tempranos, por lo que las medidas de corrección aplicadas no serían efectivas en la producción de ese año. Sin embargo, en trabajos previos realizados en melocotonero en el Valle del Ebro se han obtenido resultados positivos con adelantado la toma de muestras hasta los 60 días después de plena floración o incluso extendiéndola a lo largo de todo su ciclo vegetativo (Sanz & Montañés, 1993). Otros autores han conseguido para diversos frutales, como melocotonero (D. R. Leece & Gilmour, 1974), ciruelo (Leece, 1975^a), cerezo (Leece, 1975^b) y albaricoquero (Leece & Ende, 1975) establecer modelos matemáticos que permiten adelantar la época en la que es posible el diagnóstico. Sin embargo, hay muy pocos trabajos publicados en esta línea sobre ciruelo japonés y en ningún caso validados en las condiciones de cultivo de las Vegas del Guadiana en Extremadura.

La información sobre la dinámica nutricional de los cultivos en etapas tempranas facilita la sincronización de la edad fisiológica con la cantidad de nutrientes que requiere un cultivo (Orduz-Ríos et al., 2020). En la actualidad se están llevando estudios sobre otros órganos de los cultivos que permitirían adelantar la fecha de intervención y posiblemente reducir los efectos negativos de una deficiencia o exceso sobre la cosecha. La posibilidad de realizar el diagnóstico floral, mediante el análisis de flores y su interpretación, adelantaría notablemente el momento en que es posible conocer el estado nutricional de los cultivos y realizar aportes nutricionales en caso necesario. Se han establecido buenas correlaciones entre concentraciones de nutrientes en hojas y en flores (González et al., 2009) en melocotonero, y (Sanz et al., 1993) (Sanz et al., 1994) en peral, y (Sanz et al., 1995), (Sanz & Montañés, 1995a) y (Sanz & Montañés, 1995b). Ben Khelil et al., (2010) han obtenido buenas correlaciones de concentración de

nutrientes entre flores y hojas de olivo siempre que no se tuviera en cuenta el lugar de experimentación. La posibilidad de utilizar materiales precoces como yemas o madera ha sido también explorada con buenas perspectivas (González et al., 2006; El-Jendoubi et al., 2011) .

Los objetivos planteados en este trabajo son los siguientes. Por una parte, se estudiará y caracterizarán las dinámicas de acumulación de diversos macro y microelementos, en árboles de ciruelo japonés con diversa longitud de ciclo mediante su análisis en hojas. Una vez conocidos los patrones de movimiento de estos elementos, se buscará un periodo de tiempo en el que la concentración de estos elementos en hoja no varíe, revelándose como momento óptimo para llevar a cabo los análisis nutricionales de planta. Por último, se llevará a cabo una correlación entre el periodo de estabilización de los elementos y su concentración inicial en flores, buscando una detección aún más precoz del estado nutricional de los árboles.

4.2. Materiales y métodos

4.2.1. Selección de las parcelas

El ensayo se llevó a cabo en una parcela experimental ubicada en la finca La Orden (38° 51'N, 6° 40'N, elevación 184 m), perteneciente al Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX) y localizada en las Vegas Bajas. La ubicación de las parcelas se puede encontrar en la Figura 2- 1. La especie objeto de estudio fue ciruelo tipo japonés (*Prunus salicina*, Lindl), una variedad de ciclo corto “Red Beaut” y otra de ciclo largo “Angeleno” sobre un patrón Mariana 2624, con polinizadores rodeando ambas variedades; para “Red Beaut” los polinizadores fueron “Ambra” y Black Diamond” y los polinizadores de “Angeleno” fueron “Fortune” y Larry Ann”. Para asegurar la correcta polinización se colocaron colmenas de abejas en la plantación durante la floración distribuyendo 8 colmenas/ha. La plantación se realizó con orientación Este-Oeste (5° hacia el Norte) en las filas y con un sistema de formación de vaso abierto. Los años de análisis de la variedad “Red Beaut” fueron 2018 y 2019 y, los de “Angeleno” los años 2018, 2019, 2021 y 2022. La descripción de la parcela, así como las variedades empleadas y las características del material vegetal, se pueden encontrar en la Tabla 2- 1.



Figura 2- 1 Imagen digital de la parcela experimental de ciruelo japonés, variedades “Red Beaut” y Angeleno en La Finca La Orden (CICYTEX).

Tabla 2- 1 Características de la parcela experimental de ciruelo japonés en los años de estudio 2018, 2019, 2021 y 2022.

Nomenclatura	Variedad	Longitud de ciclo	Año plantación	Superficie parcela (ha)	Marco plantación (m)
RB	Red Beaut	Corto	2005	1.00	6x4
A	Angeleno	Largo	2005	1.00	6x4

En la parcela experimental se establecieron dos tratamientos: uno sin aportes nutricionales (color naranja) y otro en la que se estableció un plan de abonado con fertilización inorgánica (color verde) en función de la producción esperada y bajo la Norma Técnica Específica en Producción Integrada de los frutales de hueso de la Junta de Extremadura (Orden de 2 de abril de 2001). En la parcela se realizó un diseño de bloques al azar, con 4 repeticiones por bloque y 4 árboles por repetición (n=16) (Figura 2- 2 y Figura 2- 3). Los muestreos realizados y el tipo de muestra recogida se detallan en la Tabla 2- 2.

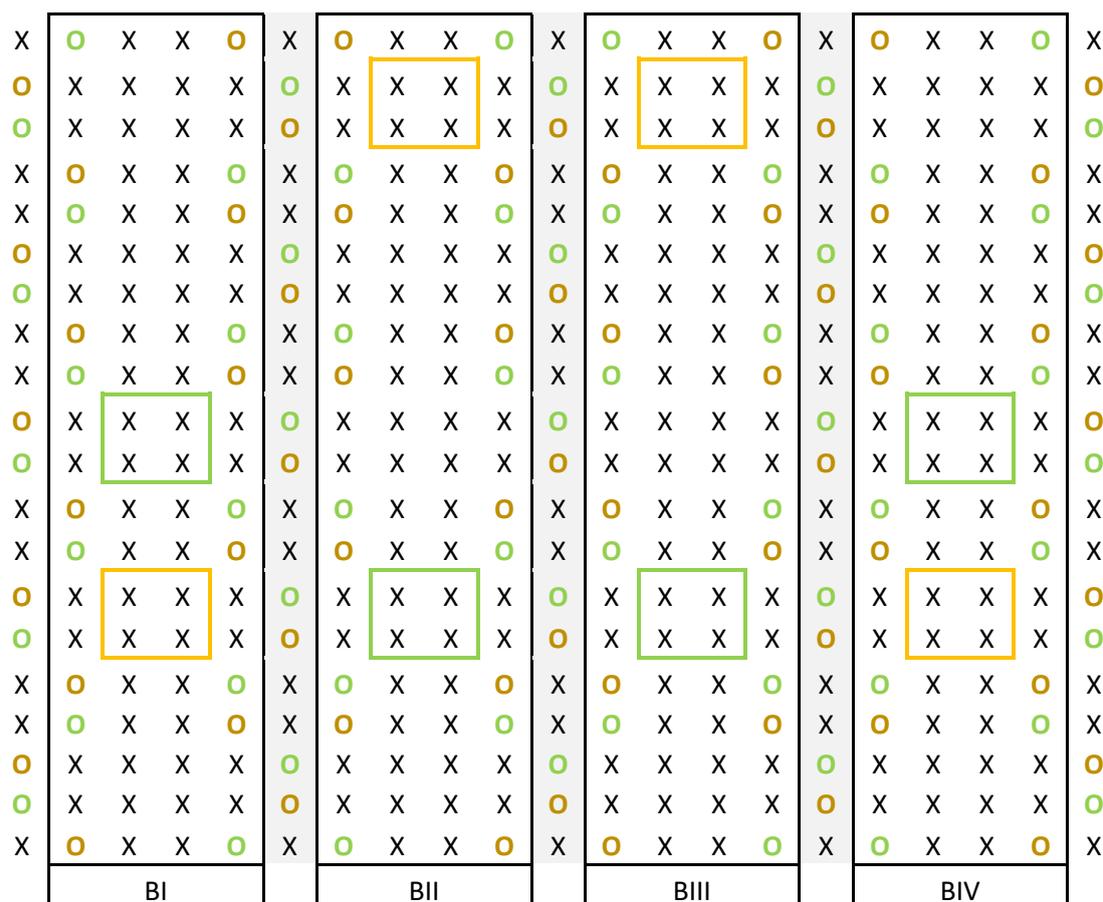


Figura 2- 2. Diseño experimental para la variedad "Red Beaut" (cruz negra). Tratamiento sin fertilizar (cuadro naranja) y tratamiento fertilizado (color verde). Los polinizadores fueron "Ambra" (círculos marrones) y "Black Diamond" (círculos verdes).

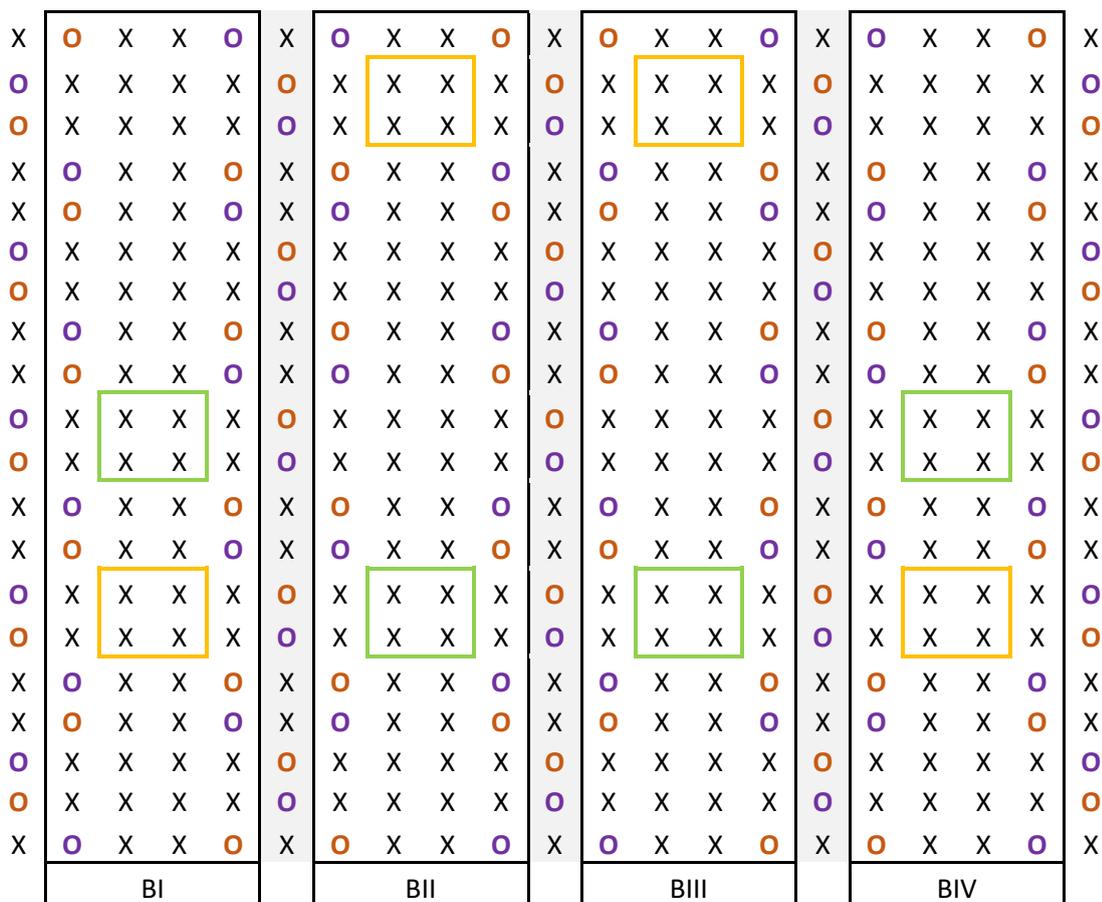


Figura 2- 3. Diseño experimental para la variedad “Angeleno” (cruz negra). Tratamiento sin fertilizar (cuadro naranja) y tratamiento fertilizado (color verde). Los polinizadores fueron “Fortune” (círculos morados) y “Larry Ann” (círculos marrones).

Tabla 2- 2. Muestras analizadas y épocas de muestreo realizado en la parcela experimental de ciruelo japonés, variedades “Red Beaut” y “Angeleno” en 2018 y 2019 y para los años 2021 y 2022.

Variedad		Flores	Hoja-30	Hoja-60	Hoja-90	Hoja-120	Hoja-150		Hoja-180	Hoja-210	Hoja-240	
							2018	2019			2018 y 2019	2018
RB	Red Beaut	x	x	x	x	x		x	x	x		x
A	Angeleno	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Variedad		Flores	Hoja-30	Hoja-60	Hoja-90	Hoja-120	Hoja-150	Hoja-180	Hoja-210	Hoja-240
	Angeleno	x	x	x	x	x	x	x	x	

4.2.2. Análisis de flores

De los cuatro árboles que integraban cada uno de los bloques, recogí 400 flores a lo largo de toda la copa del árbol y siempre a la altura de los ojos en el tratamiento fertilizado y sin fertilizar de los cvs. Red Beaut y Angeleno, un total de 16 muestras. El momento para la toma de muestras fue aquel que coincide con el 80% de las flores abiertas (Figura 2- 4). La recogida de flores la hice de manera cuidadosa respetando todas las partes de ésta, incluyendo el cáliz, los estambres y los pistilos que habitualmente se pierden por quedarse adheridos a las ramas, ya que esta parte contiene más de un 50% de los elementos totales contenidos en flor (Paniagua et al., 2004).



Figura 2- 4 Flores de ciruelo tipo japonés en estado fenológico de plena floración.

Una vez recogidas las flores, las deposité en bolsas de papel y se mantuvieron refrigeradas en una nevera portátil hasta su procesamiento posterior en el laboratorio. Después permanecieron 24 horas a 60°C en una estufa de ventilación forzada hasta peso constante. Finalmente molí las muestras con el cabezal de molienda por corte MF 10 (IKA) con un tamiz MF 0.25 Sieve.

Las determinaciones de nitrógeno se hicieron con un analizador elemental LECO FP-528 siguiendo el método Dumas AOAC, (2005), la determinación de fósforo se realizó de acuerdo con el método desarrollado por Cottenie, (1984) y la determinación de potasio siguiendo el protocolo descrito por CTADF, (1969). Las determinaciones de Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn se llevaron a cabo siguiendo la metodología descrita por (Pinta, 1973).

4.2.3. Análisis foliar

Siguiendo la misma metodología de muestreo que para el análisis de flores, recogí 100 hojas sanas situadas en el tercio medio de los brotes del año a la altura de los ojos y alrededor de toda la copa, desde los 30 días después de plena floración (ddpf) hasta los 120, 150, 180, 210 o 240 ddpf dependiendo del tipo de parcela muestreada de forma mensual (ver tablas 2 y 3). Guardé las hojas en bolsas de papel y refrigeradas en una nevera portátil para su procesado posterior. Para el acondicionamiento de las hojas y su determinación analítica empleé el protocolo de lavado descrito por Jomaa, (2002) (Figura 2- 5). Posteriormente las hojas se secaron a 60°C en estufa de ventilación forzada hasta peso constante. Finalmente realicé un triturado de las muestras con el cabezal de molienda por corte MF 10 (IKA) con un tamiz MF 0.25 Sieve.

Para las determinaciones de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, manganeso y zinc, empleé la misma metodología que para flores, descrita en el apartado anterior.



Figura 2- 5 Lavado de hojas de ciruelo tipo japonés.

4.2.4. Análisis de suelo

Para conocer las características físico-químicas del suelo, tomé muestras de tierra en la parcela experimental en 2018. Seleccioné dos puntos de la parcela en la línea de cultivo y cercanos a las raíces de los árboles de estudio.

De cada uno de los puntos con la ayuda de una barrena manual (Eijkelkamp, modelo Edelman, tipo combinado) (ver fig. 6a) se extrajeron 4 muestras de tierra a las profundidades de: 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm y 90-120 cm. Las muestras de la misma profundidad las mezclé y homogeneicé, resultando un total de 4 muestras de suelo por parcela que guardé en bolsas de polietileno (Figura 2- 6), selladas inmediatamente después de la toma de muestra y mantenidas refrigeradas en una cámara a 4°C hasta su posterior procesado.



Figura 2- 6 a) Barrena para la extracción manual de muestras de tierra modelo Eijkelkamp. b) Muestras de suelo fresco.

Un primer paso para la determinación de las características físico-químicas del suelo fue extender cada muestra de suelo en recipientes individuales para secarlas al aire libre de 5 a 7 días (Figura 2- 7), y posteriormente pasadas por un tamiz con luz de malla de 2.0 mm VWR (Test Sieve ISO 3310, NF ISO 3310, BS 410) (Figura 2- 8), desechando aquello que no pasó por el tamiz.



Figura 2- 7 Secado de muestras de suelo a temperatura ambiente.

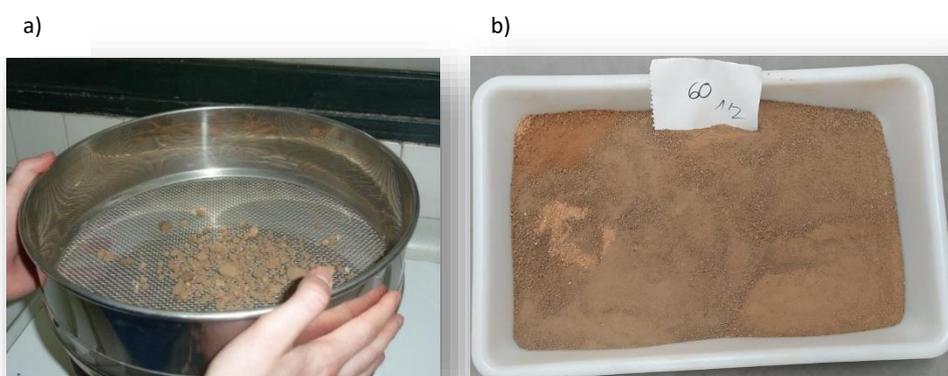


Figura 2- 8 Proceso de tamizado de muestras de suelo seco. b) Muestras de suelo después de tamizadas.

Las determinaciones analíticas, protocolos y metodología fue la que se describe en la *Tabla 2- 3*. Para la interpretación de resultados, se emplearon las clasificaciones que se emplearon las clasificaciones que se muestran en la *Tabla 2- 4*.

Tabla 2- 3 Determinación analítica de las muestras de suelo.

Determinación	Método
Textura	Bouyoucos, 1936
pH	BOE. (1982)
Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	Richards, 1954
Materia Orgánica Oxidable (%)	Nelson et al., 1982
Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100g)	BOE. (1982)
N total (%)	AOAC,1995
P asimilable (ppm)	Olsen et al. 1982
K (meq/100g), Ca asimilable (meq/100g), Mg (meq/100g) y Na (meq/100g)	Thomas, 1982

Tabla 2- 4 Escalas empleadas para la interpretación de resultados en los valores analíticos realizados.

Determinación	Interpretación
Textura	(USDA, 1999)
pH	Cochrane, 1971
Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	Richards, 1977
Materia Orgánica Oxidable (%)	Walkley and Black, 1934
Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100g)	Villarroel, 1988
N total (%)	Kendjahl, 1883
P asimilable (ppm)	Olsen et al., 1982
K (meq/100g), Ca asimilable (meq/100g), Mg (meq/100g) y Na (meq/100g)	Villarroel, 1988

4.2.5. Plan de abonado

Los aportes de N, P y K inorgánico se efectuaron mediante fertirrigación. En las variedades de estudio, “Red Beaut” y “Angeleno” se establecieron dos tratamientos, uno con solución inorgánica nitrogenada, fosfórica y potásica en función de la estimación de la producción anual y en base a la Norma Técnica Específica en Producción Integrada de los frutales de hueso de la Junta de Extremadura (Orden de 2 de abril de 2001), con un máximo de 200 UF de abono nitrogenado y, otro tratamiento en el que no se realizó aplicación alguna de nitrógeno, fósforo y potasio durante 2018 y 2019 para ambas especies y en 2021 para la variedad “Angeleno”. En el año 2022 no se realizó fertilización a ninguno de los tratamientos en la variedad “Angeleno” (Tabla 2- 5).

La composición de las soluciones fue:

-Solución nitrogenada: 20% N. Un 10% en forma nítrica y un 10% en forma amoniacal.

-Solución fosfórica: 20% de P₂O₅ libre de cloruros.

-Solución potásica: 15% de K₂O procedente de cloruro potásico.

Tabla 2- 5. Cantidad de N, P y K (kg/ha) aplicados en la parcela experimental en las variedades “Red Beaut” durante los años 2018 y 2019 y para “Angeleno” durante los años 2018, 2019, 2021 y 2022.

Variedad	Nitrógeno (UF)				Fósforo (UF)				Potasio (UF)			
	2018	2019	2021	2022	2018	2019	2021	2022	2018	2019	2021	2022
RB	133	111	*	*	66	52	*	*	248	123	*	*
A	194	176	48	0	96	97	30	0	300	290	168	0

4.2.6. Datos agroclimáticos

La información relativa a los datos climáticos de temperatura y precipitación fueron recogidos de la estación agroclimática automática en La Orden (BA205) (Figura 2- 9) a partir de los datos obtenidos de la Red de Asesoramiento al Regante de Extremadura (REDAREX) de la Junta de Extremadura. Los datos que registra para el cálculo de la evapotranspiración de referencia son: temperatura y humedad relativa; precipitación, velocidad y dirección del viento; radiación solar y; algunas, flujo de calor y temperatura de suelo. Desde la página web se descargó la información relativa a temperatura máxima y mínima (°C) y precipitación (mm) a los años 2018, 2019, 2021 y 2022. En la Figura 2- 10 puede verse los componentes de la estación agroclimática.

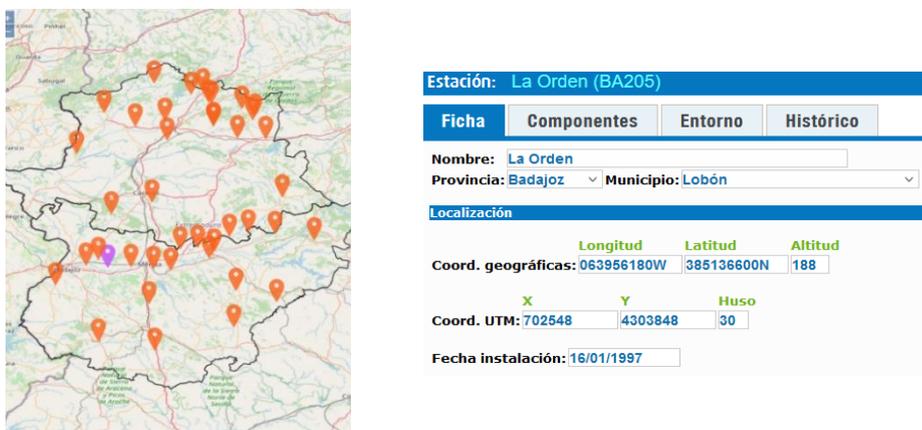


Figura 2- 9 Ubicación de la Estación agroclimática La Orden (BA205) en Extremadura. Imágenes tomadas de la página web de REDAREX.



Figura 2- 10 Estación agroclimática La Orden (BA205). Imagen tomada de REDAREX.

Las necesidades hídricas del cultivo, se calcularon multiplicando la evapotranspiración de referencia (ET_o) por el coeficiente de cultivo (K_c) (Allen et al., 1998). El valor de ET_o se tomó de los datos oficiales proporcionados por la Junta de Extremadura (REDAREX, 2022) y se calculó siguiendo el método de Penman-Monteith. En 2009 y 2011, el K_c se obtuvo de Allen et al., (1998)

La cantidad de agua aplicada (l/m²) y la concentración de NO₃⁻ (kg/ha) suministrada a través del agua de riego de la variedad Red Beaut (RB) al tratamiento control (C) y sin fertilizar (SF) fue la que se muestra en la Tabla 2- 6. En el año 2018 se llevó a cabo una estrategia de riego deficitario en los árboles sin fertilizar, reduciéndose en un 60% los aportes de agua en el cultivo. En en los tratamientos control (C) y sin fertilización (SF) de la variedad “Angeleno” El volumen de agua (l/m²) aplicado ha quedado reflejado en la Tabla 2- 7. Entre tratamientos no hay diferencias en el volumen de agua de riego aplicada, aunque si hay diferencias interanuales debido a la climatología.

4.2.7. Análisis de agua

En la parcela experimental, recogí muestras de agua de riego procedente de un pozo subterráneo situado en la finca en un punto anterior a la incorporación de los fertilizantes en el sistema de riego, con el fin de evitar contaminación de las muestras y por tanto resultados erróneos, en los años 2018 y 2019. Las muestras de agua las guardé inmediatamente en una nevera portátil para evitar evaporación y/o volatilizaciones y las congelé a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su posterior análisis químico en laboratorio. Las determinaciones realizadas fueron las mismas que en el capítulo 1 y fueron: concentración de Ca^{2+} (mg/l), Mg^{2+} (mg/l), Na^{+} (mg/l) y NO_3^{-} (mg/l) siguiendo el protocolo descrito en (APHA-AWWA-WEF, 1995) y para NH_4^{+} (ppm) el descrito por (APHA-AWWA-WEF, 1998). El cálculo de la Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) se hizo con el conductímetro EC-Metro Basic 30 (Crison Instruments).

La concentración de NO_3^{-} suministrada por fertirrigación de la variedad Red Beaut (RB) al tratamiento fertilizado y sin fertilizar (SF) fue la que se muestra en la tabla. El aporte de NO_3^{-} (kg/ha) a través del agua de riego fue muy elevado en todos los casos.

Los resultados del análisis de agua de riego indicaron que están dentro de la normalidad los valores de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$); Ca^{2+} (mg/l), Mg^{2+} (mg/l), Na^{+} (mg/l) y NH_4^{+} (mg/l) y elevada concentración de NO_3^{-} (mg/l). Las fuentes empleadas como agua de riego procedieron tanto del canal de Montijo como de un pozo situado en la parcela. Los valores de referencia usados para compararlos son los mismos que los del capítulo 1 y se especificaron en la tabla 1-16.

Tabla 2- 6 Volumen de agua aplicada (l/m^2) a los tratamientos control (C) y sin fertilización (SF) en la variedad "Red Beaut" y la concentración de NO_3^{-} (kg/ha) aplicados a través del agua de riego.

Tratamientos	2018		2019		
	Riego (l/m^2)	NO_3^{-} (kg/ha)	Riego (l/m^2)	NO_3^{-} (kg/ha)	
RB Control	Precosecha	101	35	220	26
	Poscosecha	625	215	657	79
	Total	726	250	877	105
RB SF	Precosecha	84	29	213	26
	Poscosecha	220	76	637	77
	Total	304	105	850	102

Tabla 2- 7 Volumen de agua aplicada (l/m²) a los tratamientos fertilizado y sin fertilizar en la variedad “Angeleno” y la concentración de NO₃⁻ (kg/ha) aplicados a través del agua de riego.

Tratamientos	2018		2019		2021		
	Riego (l/m ²)	NO ₃ ⁻ kg /ha	Riego (l/m ²)	NO ₃ ⁻ kg/ha	Riego (l/m ²)	NO ₃ ⁻ kg/ha	
Angeleno Fertilizado	Precosecha	647	222	712	85	637	332
	Poscosecha	118	40	83	10	23	12
	Total	764	263	795	95	660	344
Angeleno Sin fertilizar	Precosecha	633	218	696	84	640	333
	Poscosecha	116	40	108	13	33	17
	Total	748	257	804	97	673	351

4.2.8. Fertilización

En la Tabla 2- 8 se indica la distribución de fertilización (N, P, K) que se hizo según el estado fenológico en la variedad “Red Beaut” en el tratamiento control (C) durante los años 2018 y 2019 y, en la Tabla 2- 9 la distribución del plan de abonado de la variedad “Angeleno” en el tratamiento control (C) durante los años 2018, 2019 y 2021; el año 2022 además de no abonarse el tratamiento sin fertilizar tampoco se fertilizó el tratamiento control de la variedad “Angeleno”.

Tabla 2- 8 Distribución de la fertilización de N (UF), P (UF) y K (UF) según el estado fenológico de la variedad de ciruelo japonés “Red Beaut” tratamiento control (C) en los años 2018 y 2019.

Red Beaut	2018			2019		
	N (UF)	P (UF)	K (UF)	N (UF)	P (UF)	K (UF)
30 ddpf	75	28	52	0	0	0
60 ddpf	36	24	128	75	30	24
90 ddpf	18	12	64	16	10	59
120 ddpf	4	2	4	6	4	6
150 ddpf	0	0	0	14	8	34
Total	133	66	248	111	52	123

Tabla 2- 9 Distribución de la fertilización de N (UF), P (UF) y K (UF) según el estado fenológico de la variedad de ciruelo japonés "Angeleno" tratamiento control (C) en los años 2018, 2019 y 2021.

Angeleno	2018			2019			2021		
	N (UF)	P (UF)	K (UF)	N (UF)	P (UF)	K (UF)	N (UF)	P (UF)	K (UF)
30 ddpf	106	38	28	0	0	0	0	0	0
60 ddpf	18	12	64	77	30	24	16	10	56
90 ddpf	18	12	64	16	10	42	8	5	0
120 ddpf	18	12	64	24	15	85	16	10	84
150 ddpf	18	12	64	16	14	56	0	0	0
180 ddpf	0	0	0	16	10	56	8	5	28
210 ddpf	16	10	16	18	12	18			
240 ddpf	0	0	0	9	6	9	0	0	0
Total	194	96	300	176	97	290	48	30	168

4.2.9. Análisis estadístico

Para la interpretación de los resultados he realizado un test de muestras independientes (T Student) con un intervalo de confianza al 95 % con el programa estadístico IBM Statistics 22 para analizar:

- El efecto de los tratamientos, fertilizado y sin fertilización sobre la concentración de nutrientes desde flores hasta hojas 210 ddpf en el año 2018 y desde flores hasta 240 ddpf en 2019 en la variedad "Red Beaut" y; en la variedad "Angeleno" desde flores hasta 240 ddpf en el año 2018 y 2019, desde flores hasta hojas 210 ddpf en el año 2021 y desde flores hasta hojas 180 ddpf en el año 2022.
- El efecto del momento de muestreo sobre la concentración de nutrientes desde flores hasta hojas 210 ddpf en el año 2018 y desde flores hasta 240 ddpf en 2019 en la variedad "Red Beaut" y; en la variedad "Angeleno" desde flores hasta 240 ddpf en el año 2018 y 2019, desde flores hasta hojas 210 ddpf en el año 2021 y desde flores hasta hojas 180 ddpf en el año 2022.

Para determinar si es posible la utilización del análisis de flores como diagnóstico precoz he utilizado la correlación de Pearson entre flores y el resto de los momentos de muestreo en el contenido de N (%), P (%), K (%), Ca (%), Mg (%), Fe (%), Cu (%), Mn (%) y Zn (%).

4.3. Resultados y discusión

4.3.1. Evolución de la concentración de macro y micronutrientes en ciruelo japonés

Se representa la evolución de la concentración de los macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) y micronutrientes (Fe, Cu, Mn, Zn) en órganos diferentes de ciruelo japonés. Las variedades de estudio fueron dos, una con una longitud de ciclo corto, “Red Beaut” y otra de ciclo largo, “Angeleno”. Los años de muestreo fueron para “Red Beaut” 2018 y 2019 y; para “Angeleno” 2018, 2019, 2021 y 2022. En la misma gráfica se representan los tratamientos analizados, uno el control (C) que es tratamiento fertilizado y, otro sin fertilizar (SF) al que no se le aplicó fertilización durante los años de muestreo. Se representa el promedio y el error estándar en cada uno de los estados fenológicos. Se analizó el efecto de los tratamientos sobre el contenido de los elementos minerales en los distintos estados fenológicos mediante un test de muestras independientes (T Student) con un intervalo de confianza del 95%, en caso de existir diferencias significativas se muestra con el símbolo de asterisco: “*” $p < 0.05$, “***” $p < 0.01$ y “****” $p < 0.001$.

Nitrógeno

En la Figura 2- 11 se representa la evolución de la concentración de nitrógeno (%) en flores y hojas a los 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas a los 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf en 2019 de la variedad “Red Beaut” de ciruelo japonés. Se observó una evolución decreciente de este elemento mineral desde hojas 30 ddpf hasta hojas 210 ddpf en 2018 y hasta 240 ddpf en 2019 tanto en tratamiento control (C) como en el sin fertilizar (SF). El tratamiento control (C) presentó concentraciones más elevadas que el tratamiento SF salvo en flores, hojas 30 y 180 ddpf en 2018 y, en 2019 a los 120 ddpf en donde las concentraciones entre tratamientos se igualaron. Se observó diferencias significativas entre tratamientos a los 60 ddpf en ambos años y, en 2019 a los 150 y 180 ddpf.

El primer año que se establecieron los tratamientos, control y sin fertilizar, fue en el año 2018 con un contenido de N total (%) en suelo muy bajo (tabla 1-10), pero como la parcela había sido abonada desde su establecimiento (año 2000), explicaría que los dos tratamientos tengan la misma concentración en floración en 2018. Al año siguiente, en 2019, se evidenciaron diferencias en la concentración de N (%) entre tratamientos desde el análisis de flores, aunque no son significativas estadísticamente.

La evolución de la concentración de N (%) en la variedad “Angeleno” durante los años 2018, 2019, 2021 y 2022 se muestra en la Figura 2- 12. Se observó una evolución decreciente en ambos tratamientos y, en todos los años con un menor contenido en el tratamiento sin fertilizar. En ambos tratamientos en 2018 y 2022, el contenido más elevado de N (%) se mostró en flores, mientras que en 2019 y 2021 fue a los 30 ddpf. Entre tratamientos solo se presentó

diferencias significativas en flores en el año 2018; a los 60 ddpf en los años 2018, 2019 y 2021; a los 90 ddpf en 2019, 2021 y 2022; a los 120 ddpf en 2021 y 2022; en 2018 a los 150 ddpf y a los 210 ddpf y 240 ddpf en el año 2019. Los tratamientos no mostraron diferencias significativas en la concentración de N en hojas a los 30 ddpf y a los 180 ddpf.

A partir de hojas 30 ddpf la evolución de la concentración de N en ambas especies es decreciente a lo largo del ciclo de cultivo al igual que los resultados que habían obtenido (Sánchez-Alonso & Lachica, 1987b) y Fernández et al., (2014). Según Spencer & Titus, (1972) este hecho se debe a que a partir de la segunda semana de agosto se produce la degradación proteica y almacenamiento del elemento en los órganos de reserva, principalmente el tronco (Titus, 1982). De igual forma Rincón et al., (2004) encontraron que los contenidos foliares de N en melocotonero se caracterizan por una tendencia descendente durante todo el ciclo, presentando los valores más bajos antes del inicio de la caída foliar. Los mismos resultados encontraron Buwalda & Meekings, (1990) en peral japonés y Thakur et al., (2013) en trabajos realizados en cerezo, y en ciruelo en los trabajos realizados por (D. R. Leece, 1975a).

El descenso pronunciado en nitrógeno durante las primeras fases del desarrollo se debe a que experimenta en esta época el máximo de actividad vegetativa, promoviendo una brotación continua en primavera, a la vez que los frutos se van formando, por lo que el proceso de multiplicación celular hace necesaria una proteogénesis elevada (Carpena & Casero, 1987). Esta aseveración se corresponde con los resultados obtenidos por Orduz-Ríos et al., (2020) en la que indicaron que las concentraciones de N (%) disminuyeron después de las primeras semanas de crecimiento y es debido a que, a medida que comienza el crecimiento foliar la concentración de N (%) en la materia seca total disminuye con el tiempo, debido a un rápido aumento en la materia seca acumulada, presentando un efecto de dilución sin embargo, al principio la acumulación de N en los órganos vegetativos fue mayor debido al desarrollo y formación del nuevo tejido (Bueno & Camargo, 2012) y (Bueno & Camargo, 2015).

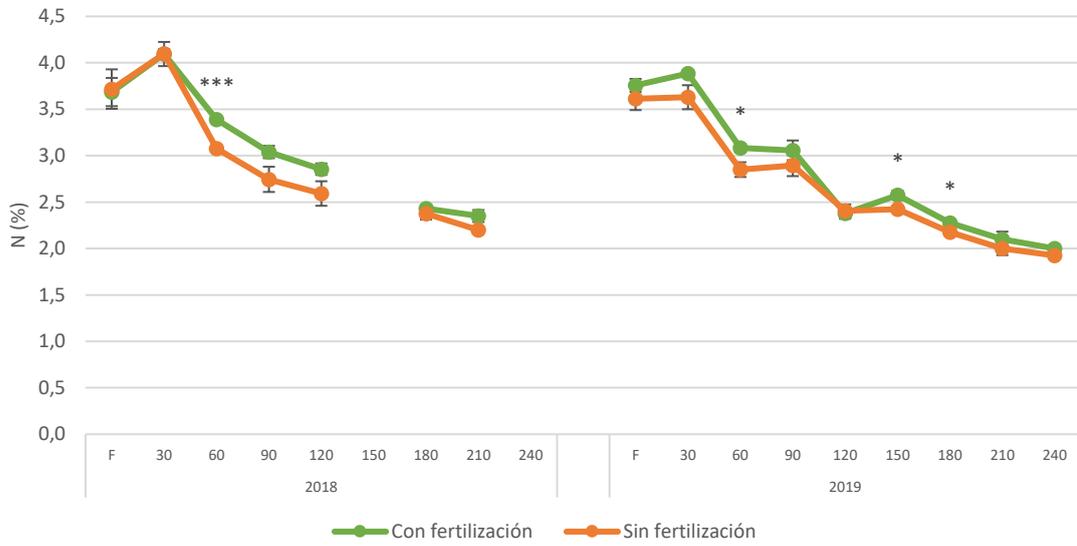


Figura 2- 11 Concentración de N (%) en ciruelo japonés, variedad “Red Beaut” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$.

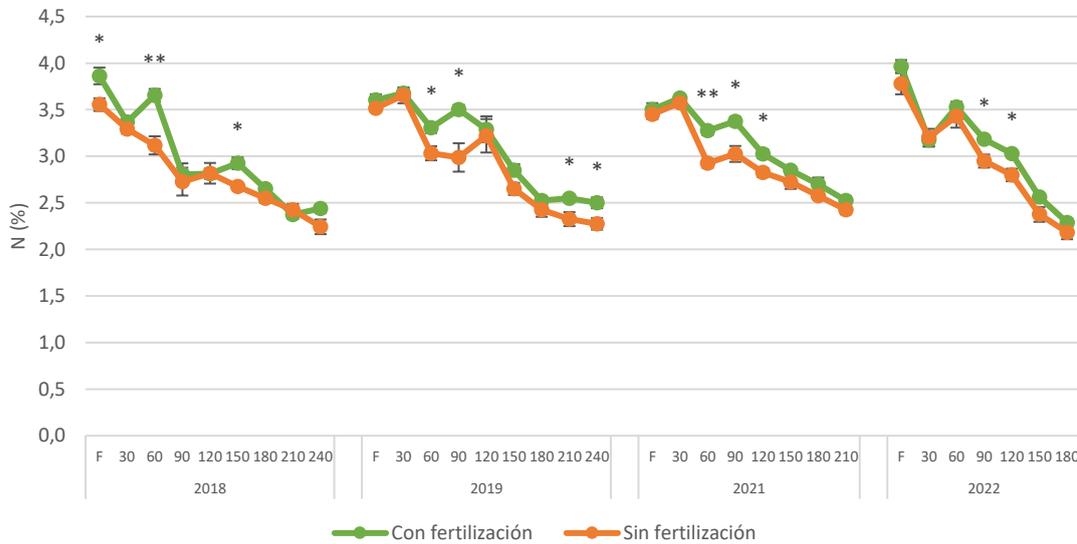


Figura 2- 12 Concentración de N (%) en ciruelo japonés, variedad “Angelino” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$.

Fósforo

La evolución de la concentración de P (%) en la variedad “Red Beaut” es distinta según el año de análisis, en 2018 es decreciente desde hojas 30 hasta hojas 210 ddpf (Figura 2- 13) sin embargo, en 2019 desde flores hasta hojas 90 ddpf se incrementó, seguidamente disminuyó hasta 120 ddpf para después mantenerse constante hasta 210 ddpf. El contenido de P (%) a partir de los 90 ddpf en el tratamiento sin fertilizar es semejante al tratamiento fertilizado y en algunos casos superior al mismo como se ha visto a los 120 ddpf en 2018 y a los 240 ddpf en el año 2019. Las diferencias significativas entre tratamientos solo se pusieron de manifiesto en el análisis de flores en 2018. El contenido de P (ppm) en suelo se clasificó como medio (ver tabla 1-10), de ahí que no se produzcan diferencias entre tratamientos.

La evolución del contenido de P (%) (Figura 2- 14) en la variedad de ciruelo japonés “Angelino” indicó que con la excepción del año 2019 es decreciente desde flores. La concentración entre tratamientos es similar en todos los años del estudio, en parte por el contenido medio presente en el suelo (ver tabla 1-10); sólo se mostraron diferencias significativas en el año 2019 a los 30 ddpf, 60 ddpf y 90 ddpf. En el año 2019 a los 90 ddpf se produjo un incremento en los dos tratamientos, más acusado en el tratamiento control o fertilizado que no aconteció para el resto de los años.

La evolución decreciente de P (%) que se produce en 2018, 2021 y 2022 coincide con los resultados obtenidos por Fernández et al., (1965), Egea et al., (1972) y Carpena & Casero, (1987) en melocotonero. Sin embargo, en el año 2019 se produce un incremento desde hojas 30 hasta 120 ddpf en ambos tratamientos. En las últimas fases del cultivo el nivel foliar de P (%) se mantiene constante coincidiendo con los obtenidos por (D. R. Leece, 1975a) en la variedad “D’Agen” en ciruelo, pero no así en la variedad “Mariposa” en el que se produce un incremento en el nivel de P (%) y con los publicados en melocotonero por Montañés et al., (1990). No obstante, estos resultados no coinciden con los publicados por (Fernández et al., 2014) y (Orduz-Ríos et al., 2020) ya que, aunque en sus resultados la concentración de P (%) disminuye en las primeras etapas del crecimiento, no llegan a alcanzar el 3.0% del total propuesto por estos autores.

Los incrementos en la concentración de P (%) en 2019 en las dos variedades y tratamientos pueden estar debidos a un error en la determinación analítica ya que no coinciden con momentos de abonado o con aplicaciones fitosanitarias.

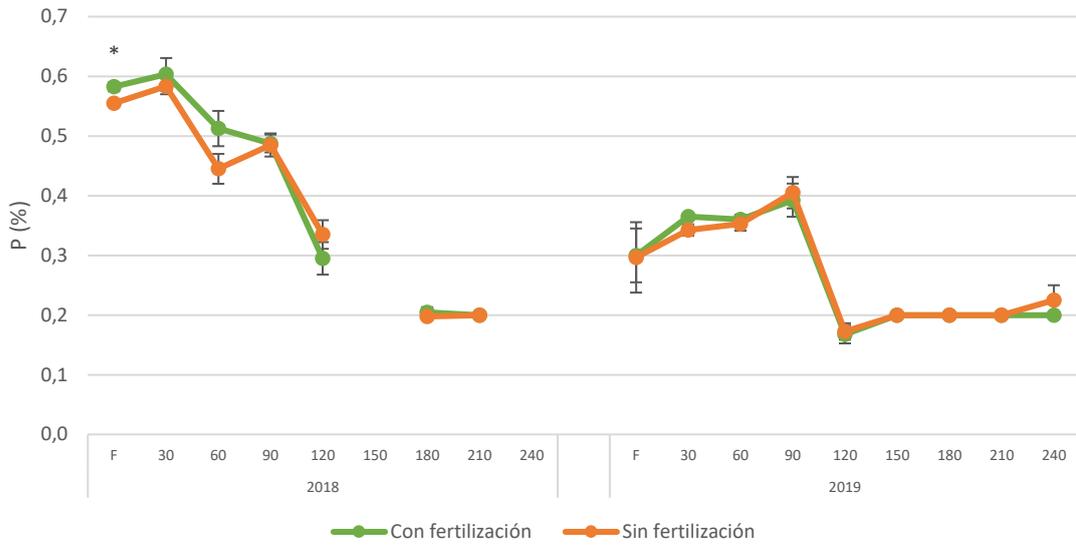


Figura 2- 13 Concentración de P (%) en ciruelo japonés, variedad “Red Beaut” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$

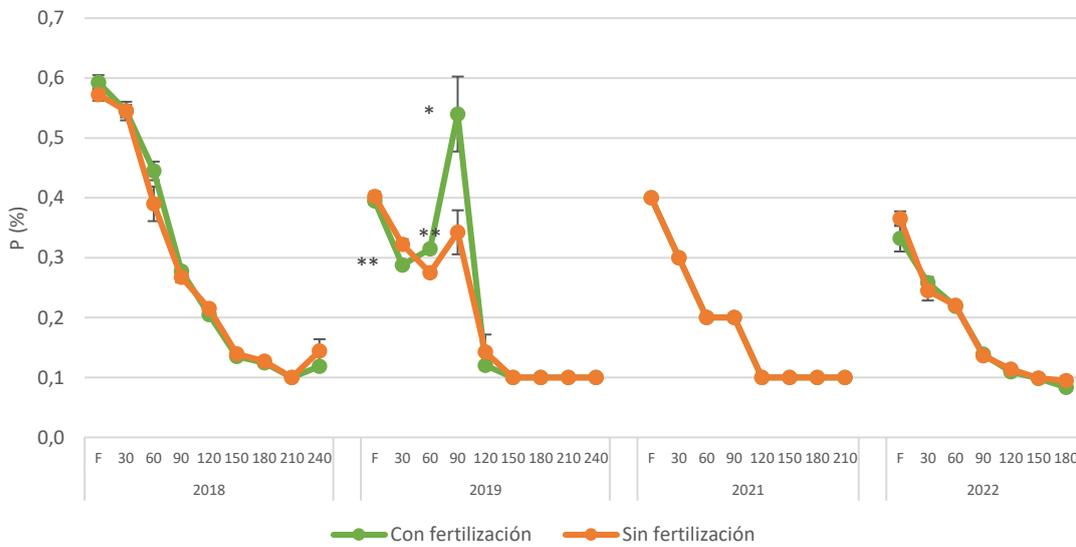


Figura 2- 14 Concentración de P (%) en ciruelo japonés, variedad “Angelino” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$.

Potasio

La pauta del contenido de K (%) en la variedad “Red Beaut” entre ambos tratamientos fue similar a lo largo de ciclo vegetativo pero distinta para cada año de muestreo (Figura 2- 15). Se observó que a los 90 ddpf en 2018 y a los 60 ddpf en 2019 se produce el máximo de concentración para disminuir en el caso del año 2018 a los 120 ddpf e incrementar a los 180 ddpf y disminuir de nuevo a los 210; en cambio en 2019, la concentración de K (%) disminuye a los 120 ddpf, se incrementa a los 150 ddpf y se mantiene constante hasta los 240 ddpf. Solo hay diferencias significativas en hojas 30 ddpf en el año 2018. A pesar de que las UF que se aplicaron al cultivo en los distintos años de muestreo fueron más bajas en 2019 (Tabla 2- 8), la producción en ambos tratamientos en el año 2019 fue mayor que en 2018. Los altos contenidos de K (%) próximos a la fecha de recolección pone de manifiesto la importancia de este elemento en el crecimiento del fruto.

En la variedad “Angelino” el contenido de K (%) entre tratamientos mantuvieron diferencias de concentración a lo largo de los distintos estados fenológicos (Figura 2- 16). A partir de los 60 ddpf se diferencian los tratamientos en todos los años y más acentuado en los años 2021 y 2022. Los años 2019 y 2021 muestran diferencias significativas en un gran número de estados fenológicos. Así en 2018 hay diferencias entre tratamientos a los 180 ddpf en 2018; en el año 2019 a los 60, 150, 210 y 240 ddpf; en 2021 desde los 90 hasta los 180 ddpf y; en 2022 a pesar de no realizarse ninguna aplicación de potásica, hubo diferencias significativas a los 90 ddpf.

La evolución que sigue la concentración de K (%) coincide con los resultados que obtuvo en ciruelo por Leece, (1975) y Sánchez-Alonso & Lachica, (1987b). La idea más generalizada en la evolución de este elemento a lo largo del ciclo apunta a una tendencia inicial ascendente y un decrecimiento en las etapas posteriores hacia el final del ciclo (Carpena & Casero, 1987) y a diferencia de Conradie, (1980) que indicó que tras la cosecha de los frutos se aumentó el contenido de K foliar en árboles frutales. El agudo descenso hacia el final de desarrollo parece indicar que, a la intensa absorción de este elemento por el fruto, tanto de la hoja como de otros tejidos, sigue un proceso de restitución en que la hoja actúa como intermediario, sin que llegue a producirse en ella acumulación (Fernández et al., 1965). Este elemento mineral alcanzó concentraciones mayores en las primeras etapas de crecimiento, desplazándose mayoritariamente hacia los tallos y hojas y posteriormente hacia los frutos y partes reproductivas (Salas et al., 2014).

En las condiciones de este trabajo, el nivel de potasio incrementa desde flores hasta hojas entre los 60 y 90 ddpf para después ir disminuyendo hasta caída de hojas en ambos tratamientos. Este resultado difiere con los obtenidos por Montañés et al., (1990) en el que la concentración de este elemento mineral se mantiene prácticamente constante hasta los 120 ddpf y posteriormente manifiesta un brusco descenso.

La concentración de K (%) en hojas entre tratamientos no se rige de la misma forma, así en la variedad “Red Beaut” el nivel de K (%) fue similar en los dos tratamientos, mientras que en “Angeleno” el tratamiento sin fertilizar (SF) presentó un menor nivel foliar que el tratamiento fertilizado o control (C).

En la variedad “Angeleno” el tratamiento sin fertilizar (SF) con un menor contenido de K (%) en hojas tampoco limitó la cosecha, observándose una mayor producción en el tratamiento sin fertilizar (SF) en los años 2018, 2019 y 2022 con diferencias significativas en este último año y, en el año 2021 con producciones similares sin diferencias significativas.

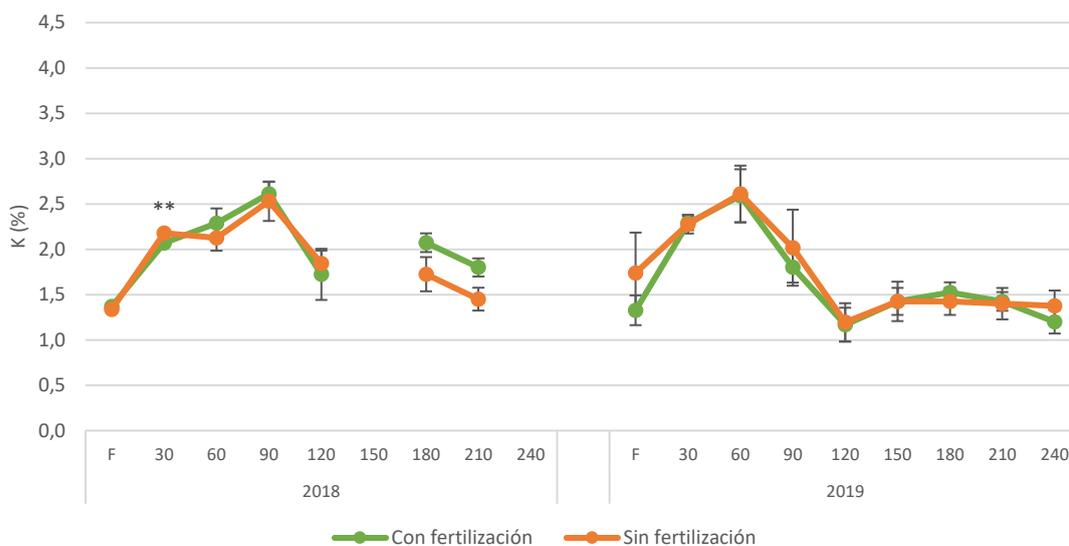


Figura 2- 15 Concentración de K (%) en ciruelo japonés, variedad “Red Beaut” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$

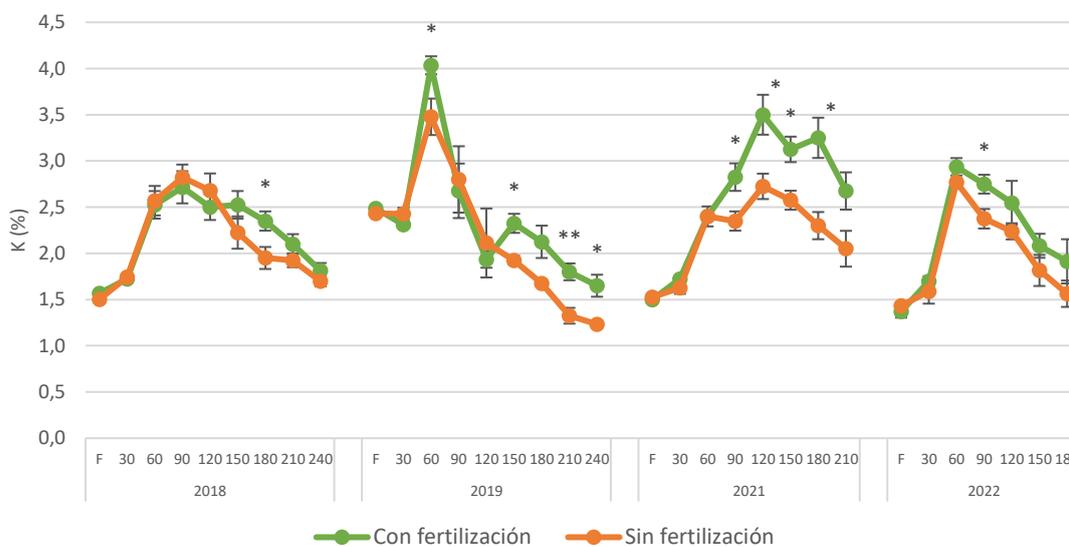


Figura 2- 16 Concentración de K (%) en ciruelo japonés, variedad “Angeleno” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$

Calcio

En ambos años de estudio, la evolución de la concentración de Ca en la variedad “Red Beaut” hasta los 60 ddpf es igual para los dos tratamientos (Figura 2- 17), aunque en 2018 presenta menor contenido que en el año 2019. En 2018 a partir de los 60 ddpf hasta los 120 ddpf y en 2019 a partir de los 60 ddpf el contenido de Ca en el tratamiento sin fertilizar (SF) fue superior al control (C) y con diferencias significativas a los 90 ddpf en 2018 y a los 150 y 240 ddpf en 2019. La concentración de Ca en el tratamiento sin fertilización (SF) fue inferior a la C a los 180 ddpf y 210 ddpf en 2018. Se observó que la concentración de Ca en 2019 fue más elevada a los 90 ddpf que la de 2018 y la concentración foliar más elevada para este año en hojas 210 ddpf en el tratamiento con fertilización o control (C).

En la variedad “Angelino” la evolución de la concentración de Ca en el tratamiento sin fertilizar (SF) fue igual o más elevada que en tratamiento sin fertilizar o control (C) en todos los años analizados (Figura 2- 18). Los distintos tratamientos dentro del mismo año siguen la misma pauta en su evolución, salvo en el año 2019 en donde las hojas de los 120 ddpf en el tratamiento con fertilización (C) disminuye el contenido de Ca (%) respecto al tratamiento sin fertilizar (SF). Las diferencias significativas entre tratamientos fueron a los 90 ddpf en el año 2018, a los 30 ddpf en 2019, a los 210 ddpf en 2021 y a los 150 ddpf en 2022. Los contenidos foliares de Ca (%) en el año 2021 en los dos tratamientos fueron inferiores a los resultados obtenidos en los distintos estados fenológicos en el resto de los años analizados.

Montañés et al., (1990), Carpena & Casero, (1987), Buwalda & Meekings, (1990) y Fernández et al., (2014) indicaron que la evolución estacional de los contenidos foliares de calcio, que se caracterizó por una tendencia ascendente a lo largo de todo el ciclo. En los resultados obtenidos en la variedad “Red Beaut”, este comportamiento fue ascendente hasta los 90 ddpf y a partir de este estado fenológico, osciló. Por el contrario, en la variedad “Angelino” los resultados coinciden con Montañés et al., (1990), con los de Buwalda & Meekings, (1990) y (Leece, (1975), salvo en el año 2019 en donde se produce una disminución en hojas 120 ddpf.

Los contenidos de calcio en hojas experimentan un aumento regular en el curso del desarrollo, ofreciendo los valores más elevados en caída de hojas (Fernández et al., 1965). (Ortuño et al., 1972) han puesto de manifiesto que los niveles de calcio en hoja de melocotonero experimentan un aumento regular coincidiendo con los periodos de fructificación, que justifican la acumulación foliar del mismo, para poder cubrir e incluso superar la intensa demanda exigida en el aspecto fisiológico.

Sánchez-Alonso & Lachica, (1987a) indicaron que los periodos de más baja variabilidad de calcio en ciruelo fueron encontrados en el mes de julio y la segunda mitad de agosto. En nuestros resultados puede indicarse este periodo en el año 2022 en la variedad “Angelino”.

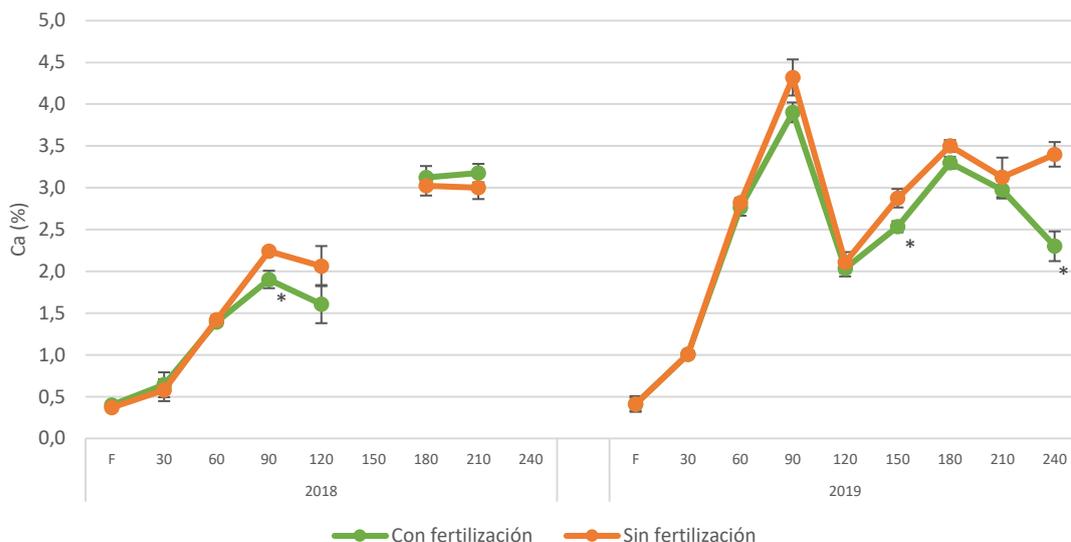


Figura 2- 17 Concentración de Ca (%) en ciruelo japonés, variedad “Red Beaut” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$.

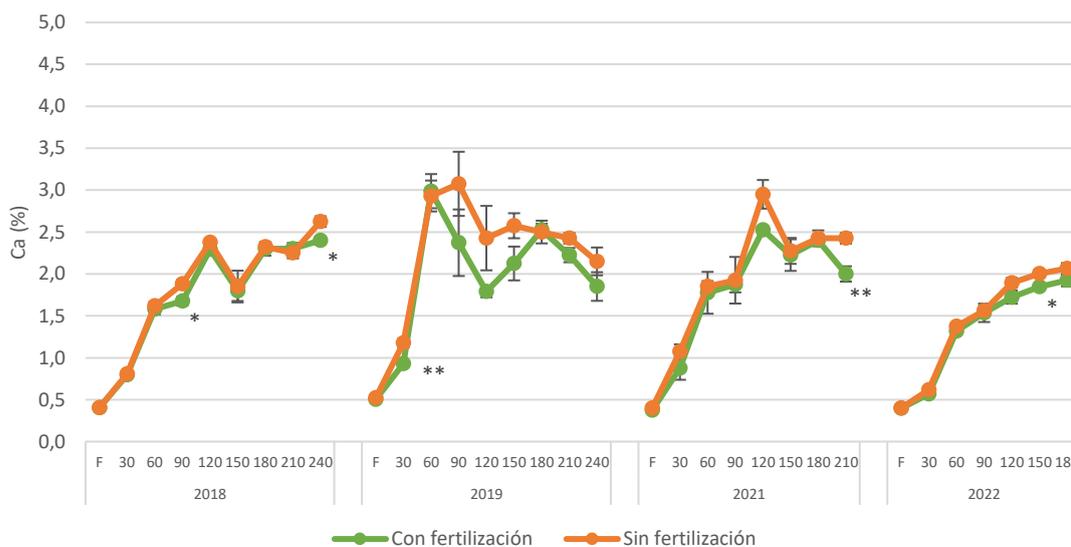


Figura 2- 18 Concentración de Ca (%) en ciruelo japonés, variedad “Angeleno” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$.

Magnesio

La concentración de Mg (%) en el tratamiento sin fertilizar (SF) de la variedad “Red Beaut” al igual que la de Ca (%), es más elevada en hojas en todos los estados fenológicos muestreados y con diferencias significativas a los 90 ddpf en el año 2018 y, en 2019 a los 150 ddpf, 180 ddpf y 240 ddpf (Figura 2- 19)

Se observó un incremento de concentración a los 90 ddpf en ambos tratamientos y en los dos años siendo más considerable en el año 2019. Este periodo de recogida de hojas fue previo a la recogida de los frutos y justifica su alto contenido en hojas, es la base estructural de la molécula de clorofila y por ello, esencias en el proceso de la fotosíntesis y fijación de CO₂ como coenzima. Posteriormente, a los 120 ddpf en las dos variedades y tratamientos disminuyeron el contenido de calcio, un descenso que en la variedad “Red Beaut” alcanza la concentración foliar de los 30 ddpf, pero que en “Angelino” (Figura 2- 20) es más elevada que la encontrada a los 30 ddpf. Las hojas recogidas a los 150 y 180 ddpf de los tratamientos fertilizado y sin fertilizar presentan el mismo nivel de calcio, que se mantiene estable a los 210 ddpf en el tratamiento fertilizado y disminuye en el sin fertilizar para después incrementar a los 240 en el tratamiento sin fertilizar y disminuir en el fertilizado.

En la variedad “Angelino” el contenido de Mg (%) presentó un modelo similar al de Ca (%) en la misma variedad. El tratamiento sin fertilizar se caracterizó por tener unos contenidos iguales o superiores que el tratamiento control.

El año que presentó una menor oscilación en los niveles de magnesio entre estados fenológicos con tendencia creciente, fue en 2021. En 2018 y 2022 se producen variación de concentración entre estados fenológicos, y que al igual que en 2021 no hay diferencias significativas entre tratamientos. En cambio, en 2019 hubo diferencias a los 30 ddpf y se produjo un incremento desmesurado entre los 60 y 90 ddpf alcanzando el 1.2 % de calcio para disminuir bruscamente a los 120 ddpf y llegar a la mitad respecto de los 60 ddpf. En los años 2018 y 2022 se produce un crecimiento en concentración de Mg (%) a los 120 ddpf pero no tan elevado como el del año 2019.

Astrid Vélez-Carvajal et al., (2014) indicaron que el calcio es de los elementos más competitivos con el magnesio, por lo tanto, las altas concentraciones de calcio en el sustrato resultan en un aumento en la hoja con reducción de las concentraciones de magnesio. Este resultado no concuerda con los obtenidos en este trabajo en donde hay una similitud por la presencia de ambos elementos minerales en flores y hojas.

Montañés et al., (1990) en melocotonero, Sanz et al., (1993) en peral y Leece, (1975) en ciruelo, han indicado que el contenido de Mg (%) sigue una curva ascendente, que en los resultados obtenidos en este trabajo coinciden puesto que el contenido de magnesio en el muestreo final en hoja es más elevado que en inicial, en flores. Otros autores como Buwalda & Meekings, (1990) en otro trabajo sobre nashi, observaron que la concentración de Mg (%) al

igual que la de nitrógeno, fósforo y potasio disminuyeron a lo largo de la temporada. Los contenidos de magnesio muestran incrementos progresivos y más intensos durante las primeras etapas de crecimiento de las hojas, ofreciendo los valores más elevados hacia final del ciclo según Carpena & Casero, (1987) en melocotonero, sin embargo, los contenidos más elevados en este trabajo no se obtuvieron a final de ciclo. Por otro lado, Ortuño et al., (1972) además de encontrar que el nivel de magnesio se incrementa de forma progresiva e intensa durante el primer periodo de crecimiento y desarrollo de la hoja de melocotonero, también anotaron que desciende en el periodo de senectud foliar.

Sánchez-Alonso & Lachica, (1987a) destacaron que, al igual que para el calcio, los periodos de más baja variabilidad de magnesio en ciruelo fueron encontrados en el mes de julio y la segunda mitad de agosto. En nuestros resultados puede indicarse este periodo para las dos variedades en 2019 y para la variedad “Angelino” en 2018 y 2021, mientras que en 2022 no llega a estabilizarse la concentración.

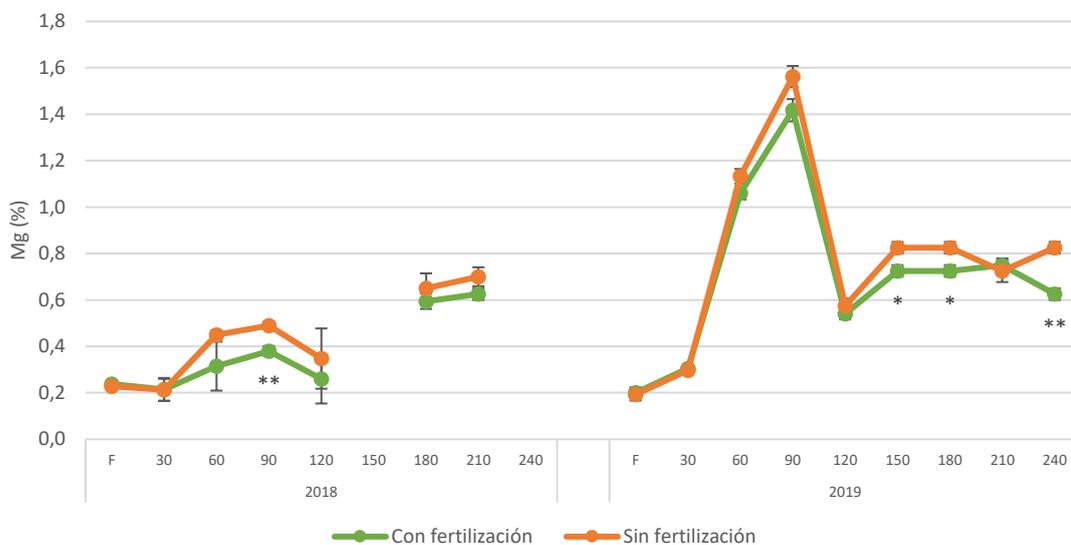


Figura 2- 19 Concentración de Mg (%) en ciruelo japonés, variedad “Red Beaut” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$.

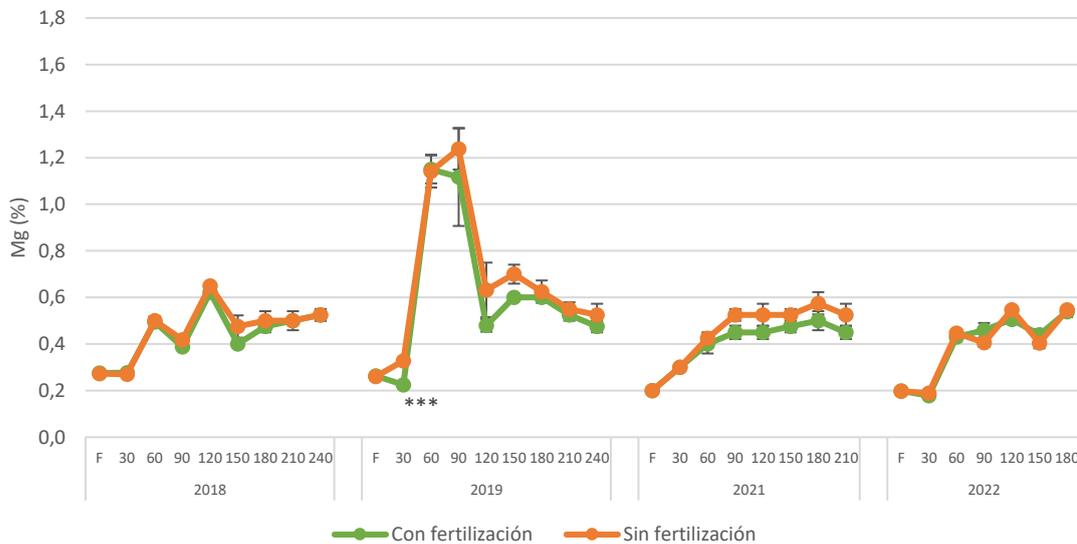


Figura 2- 20 Concentración de Mg (%) en ciruelo japonés, variedad “Angeleno” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$.

Hierro

La evolución que siguió la concentración de Fe (ppm) en la variedad “Red Beaut” fue distinta según el año de muestreo, aunque en ambos casos el mayor nivel se detectó al finalizar el ciclo de cultivo, a los 210 ddpf en 2018 y a los 240 ddpf en el año 2019 (Figura 2- 21).

El tratamiento sin fertilizar tuvo mayor contenido de hierro en flores y hojas, salvo a los 30 ddpf en 2019, mientras que en 2018 fue más elevada a los 90 y 120 ddpf. Las hojas recogidas a los 90 ddpf presentaron un incremento en el contenido de Fe (ppm) en los dos años del análisis, y con diferencias significativas entre tratamientos en 2018. Este incremento de concentración se observó también en otros elementos minerales como P (%) en el año 2019, K (%) en el año 2018, Ca (%) y Mg (%). En 2019 las diferencias significativas en la concentración de hierro entre tratamientos se mostraron a los 240 ddpf.

Se produjo una evolución de la concentración de Fe (ppm) desde flores hasta hojas distinta según el año de trabajo en la variedad “Angelino” (Figura 2- 22). Los años 2018 y 2022 fueron los que tuvieron una concentración más estable y con una dinámica creciente a lo largo del ciclo de cultivo, por el contrario, en 2019 y 2021 presentaron fluctuaciones entre los distintos estados fenológicos con un incremento a los 60 ddpf en los dos tratamientos, si bien en 2019 el tratamiento sin fertilizar supera al no fertilizado, en 2021 si lo hace.

En flores el nivel de hierro en el año 2019 es muy elevado respecto al resto de los años muestreados y, se observa que la concentración de Fe (ppm) en el tratamiento sin fertilizar es más elevada que el control o fertilizado. Este resultado concordaría con los obtenidos en peral Sanz et al., (1993) , en donde el micorelemento Fe (ppm) se encuentra en mayor concentración en flores que en hojas. En la evolución del año 2022 salvo en floración ambos tratamientos tienen concentraciones muy similares.

La única diferencia significativa de la concentración de Fe (ppm) entre tratamientos que se mostró fue a los 180 ddpf en el año 2018.

Según los trabajos de Sánchez-Alonso & Lachica, (1987b) en ciruelo el contenido de hierro fue aumentando con el tiempo y, Fernández et al., (1965) y (Ortuño et al., (1972) en melocotonero indicaron que los valores más elevados de este elemento se representaron en el último periodo foliar. Sin embargo, en el trabajo publicado por D. R. Leece, (1975a) el contenido de hierro aunque al principio es creciente, disminuye al finalizar el ciclo.

Carpaena & Casero, (1987) indicaron que los contenidos de hierro mostraron una tendencia inicial hacia la disminución en las primeras etapas del crecimiento de las hojas y frutos para después ir ascendiendo y alcanzar los valores más altos en la madurez foliar. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en el ensayo con la excepción en el año 2021 de la variedad “Angelino” y es debido a que se parte de un nivel muy elevado en ambos tratamientos.

La evolución de la concentración de Fe (ppm) del análisis entre años de muestreo fue similar a la que obtuvieron Buwalda & Meekings, (1990) en nashi, en la que indicó que no hubo un patrón estacional aparente para este elemento.

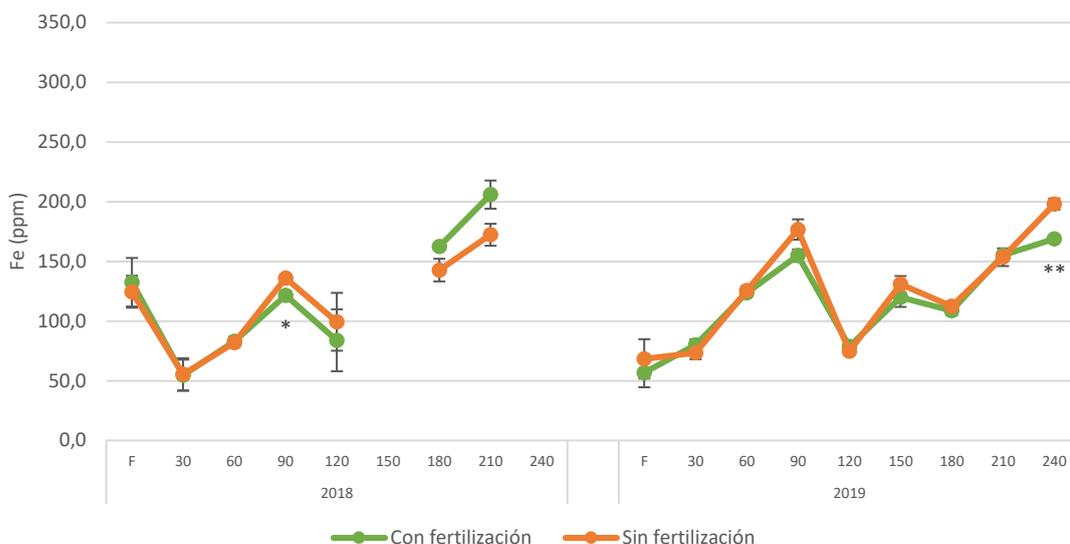


Figura 2- 21 Concentración de Fe (ppm) en ciruelo japonés, variedad “Red Beaut” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p<0.05$, ** $p<0.01$ y *** $p<0.001$.

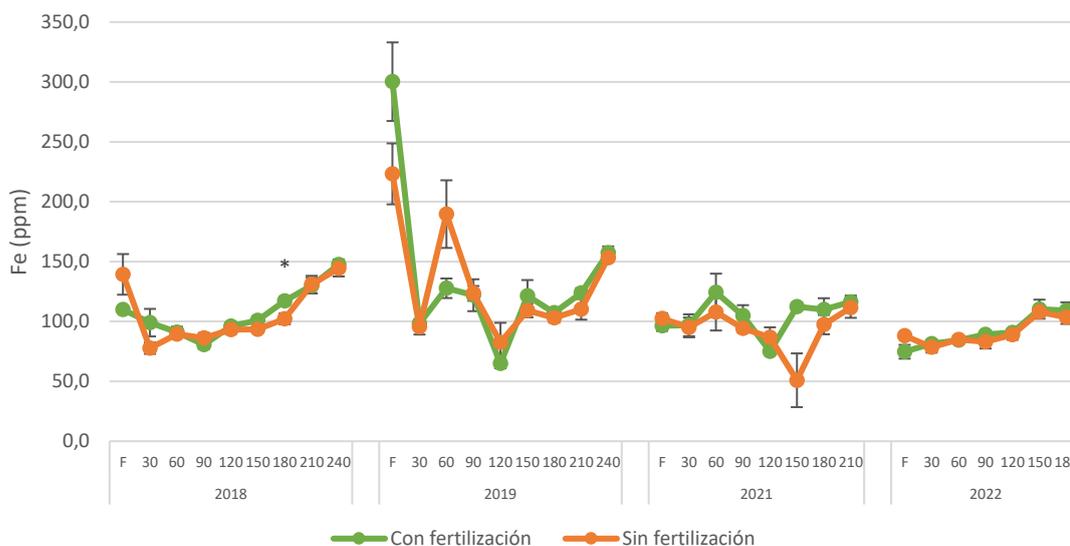


Figura 2- 22 Concentración de Fe (ppm) (%) en ciruelo japonés, variedad “Angeleno” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p<0.05$, ** $p<0.01$ y *** $p<0.001$.

Cobre

La evolución del contenido de Cu (ppm) en la variedad “Red Beaut” fue distinta según el año de muestreo (Figura 2- 23). En 2018 el tratamiento con fertilización presentó un mayor contenido que el sin fertilizar y con diferencias significativas en hojas a los 90, 120 y 210 ddpf, mientras que en el año 2019 no hubo diferencias significativas y el tratamiento sin fertilizar tuvo mayor concentración que el fertilizado en alguno de los estados fenológicos de hojas analizados.

En ambos años se observó que la concentración de cobre a los 30 ddpf disminuyó y a los 60 ddpf volvió a incrementar su concentración; aunque el año 2019 este incremento fue más cuantioso. Además, se observó que la concentración de Cu (ppm) en flores fue más elevada en el tratamiento fertilizado que en el tratamiento sin fertilizar. La concentración más baja de este elemento se obtuvo al final del ciclo.

En la variedad “Angeleno” (Figura 2- 24) se observó que en todos los años se produjo una disminución desde floración hasta hojas 30 ddpf y con diferencias significativas entre tratamientos en el año 2019.

En 2018 este elemento presentó una disminución en el contenido desde flores hasta hojas 210 ddpf y con diferencias significativas entre tratamientos en hojas a los 150, 180 y 210 ddpf. En el año 2019 se produce un aumento de la concentración foliar a los 60 ddpf que se mantiene a los 90 ddpf para disminuir y alcanzar concentraciones similares a las que se presentaron en 2018. La pauta en la evolución de la concentración de cobre en el año 2021 se asemeja a la del año 2018 pero se produjeron fluctuaciones entre estados fenológicos y con diferencias significativas a los 60 ddpf entre los tratamientos. En 2022 sucedió un incremento en hojas 120 y 150 ddpf, que disminuyó a los 180 ddpf.

La concentración de este elemento en flores es mayor que a lo largo del ciclo, coincidiendo con lo publicado por Sanz et al., (1993). Los incrementos producidos a lo largo del ciclo vegetativo, se atribuyen a las aplicaciones fitosanitarias para el control de enfermedades, el objetivo es evitar que el cultivo se infecte y comprometa la producción. Algunos autores como Leece, (1975) indican que es posible presentar niveles acumulados de cobre y manganeso fisiológicamente inactivos, esto explicaría que la planta sobreviviera al elevado contenido a los 150 ddpf en el año 2022.

Carpena & Casero, (1987) y Buwalda & Meekings, (1990) indicaron en su trabajo una disminución de la concentración de Cu a lo largo del ciclo vegetativo y estos resultados son similares a los obtenidos para la variedad “Red Beaut” y “Angeleno” salvo en el año 2022, sin embargo, Sánchez-Alonso & Lachica, (1987b) en ciruelo presentaron una curva de crecimiento ascendente a lo largo del ciclo vegetativo.

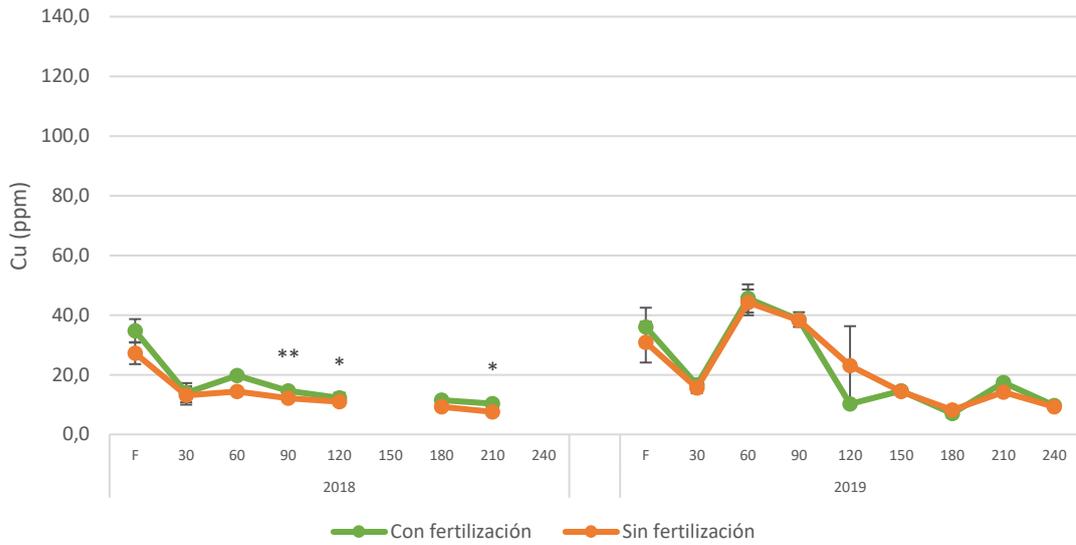


Figura 2- 23 Concentración de Cu (ppm) en ciruelo japonés, variedad “Red Beaut” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p<0.05$, ** $p<0.01$ y *** $p<0.001$.

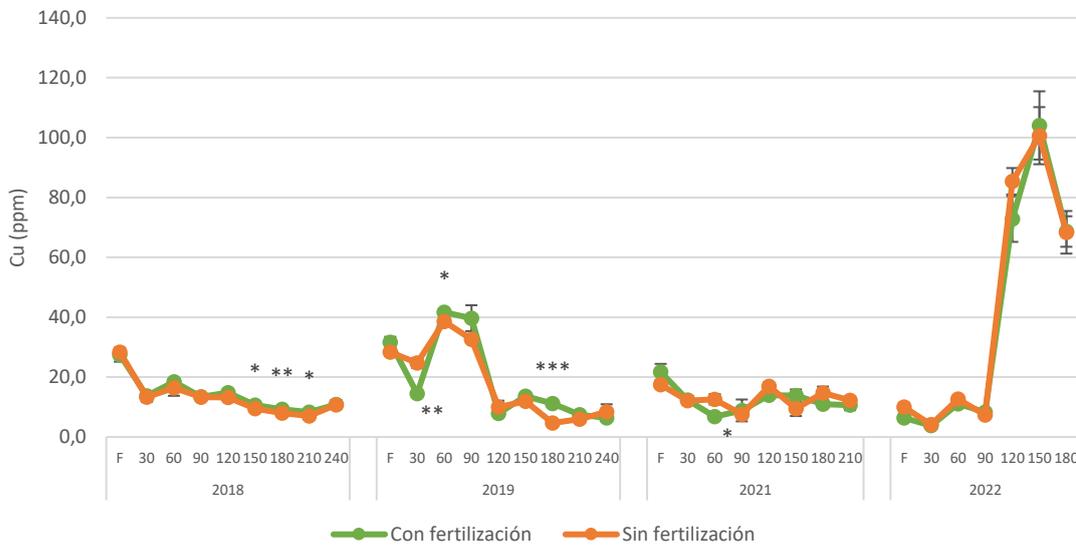


Figura 2- 24 Concentración de Cu (ppm) en ciruelo japonés, variedad “Angeleno” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p<0.05$, ** $p<0.01$ y *** $p<0.001$.

Manganeso

En la variedad “Red Beaut” cabe destacar que en el año 2018 el tratamiento sin fertilizar tuvo menor nivel de Mn (ppm) que el fertilizado y con diferencias significativas entre tratamientos en flores y hojas 60 ddpf (Figura 2- 25) Por el contrario en 2019 la concentración sin fertilizar en algunos estados fenológicos en hojas presentó mayor concentración de manganeso que el fertilizado y solo con diferencias significativas entre tratamientos en hojas a los 30 ddpf. En ambos años se produce un incremento del contenido de Mn (ppm) en hojas a los 90 ddpf, que en el año 2019 disminuye para aumentar nuevamente a los 150 ddpf y seguir un crecimiento ascendente hasta caída de hojas.

La pauta de la concentración de Mn (ppm) entre años en la variedad “Angelino” fue distinta con una tendencia creciente (Figura 2- 26). En el año 2018 se establecieron diferencias de concentración entre el tratamiento fertilizado y sin fertilizar, con diferencias significativas en hojas desde los 60 hasta los 180 ddpf en el que el tratamiento fertilizado tuvo mayor contenido de manganeso en hojas.

En el año 2019 los contenidos de Mn (ppm) en flores entre tratamientos son distintos, pero sin diferencias significativas y llega a igualarse entre ambos tratamientos en hojas 60 y 90 ddpf y aumentando la concentración cuatro veces más a la presentada a los 30 ddpf. En el año 2021 los tratamientos tuvieron concentraciones similares hasta los 120 ddpf, a partir de esta fecha, los contenidos entre tratamientos son distintas, más elevadas en el fertilizado y con diferencias significativas a los 150 ddpf.

La concentración de Mn a lo largo del año 2022 fue creciente desde flores hasta hojas 180 ddp, los valores entre tratamientos fueron muy similares y en algunos estados fenológicos foliares el tratamiento sin fertilizar presentó mayor concentración de manganeso que el fertilizado.

Nuestros resultados de la evolución creciente de Mn (ppm) coinciden con los publicados por Sánchez-Alonso & Lachica, (1987b) y Buwalda & Meekings, (1990) y al igual que los resultados de Ortuño et al., (1972), la menor concentración de Mn (ppm) fue en el primer periodo de crecimiento. Por el contrario, a diferencia de Carpena & Casero, (1987) los contenidos de Mn oscilan entre los estados fenológicos analizados y no son similares como sus resultados. El contenido de Mn (ppm) en flores se encontró en menor concentración que en hojas (Sanz et al., 1993).

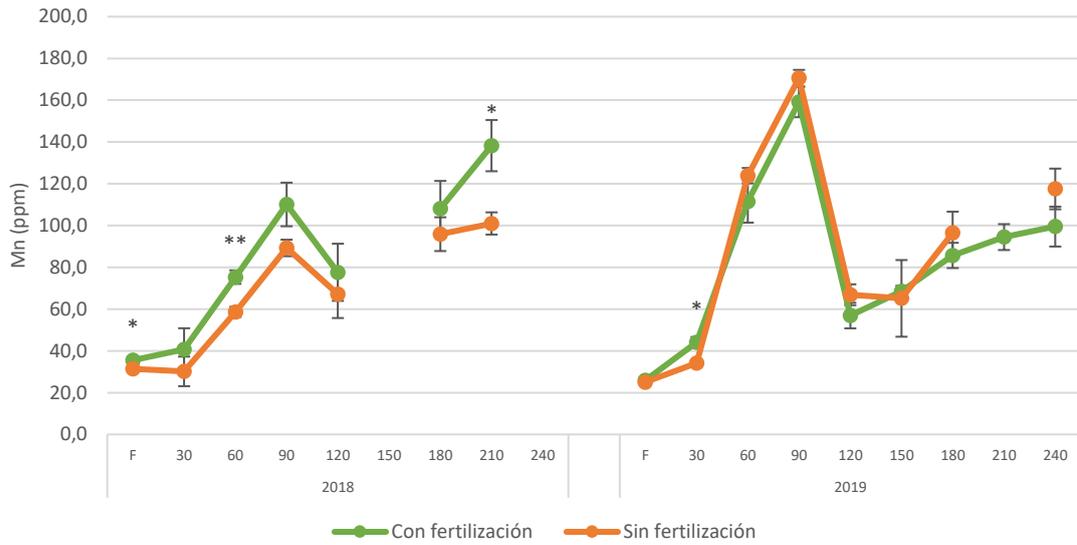


Figura 2- 25 Concentración de Mn (ppm) en ciruelo japonés, variedad “Red Beaut” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p<0.05$, ** $p<0.01$ y *** $p<0.001$.

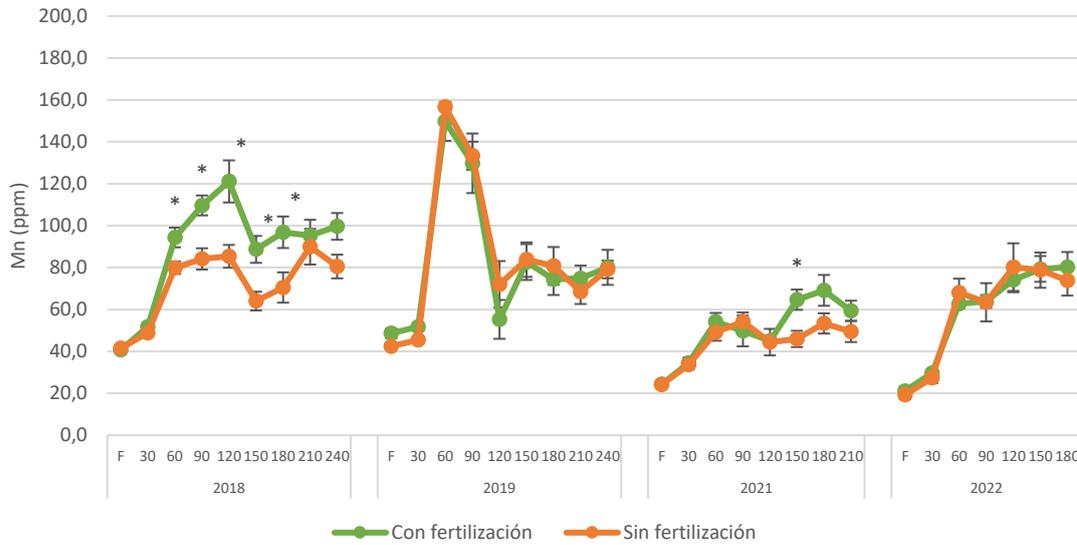


Figura 2- 26 Concentración de Mn (ppm) en ciruelo japonés, variedad “Angeleno” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p<0.05$, ** $p<0.01$ y *** $p<0.001$.

Zinc

En la variedad “Red Beaut” el contenido de Zn (ppm) es decreciente a lo largo del ciclo vegetativo con la concentración más elevada en flores (Figura 2- 27).

En la variedad “Angelino” se observó una evolución decreciente de Zn (ppm) con un aumento del contenido de este elemento en hojas a los 60 ddpf en los años 2018, 2019 y 2022 (Figura 2- 28).

Durante los años 2019, 2021 y 2022 el contenido de zinc es muy similar entre tratamientos, mientras que en 2018 la concentración de Zn (ppm) del tratamiento fertilizado fue superior al tratamiento sin fertilizar y con diferencias significativas foliares a los 180 ddpf. Se observó un periodo de estabilización de la concentración en hojas a partir de los 120-150 ddpf.

A diferencia de lo observado por Sanz et al., (1993) en el que vio que la concentración de zinc en flores fue similar a la de hojas, en este resultado, la concentración en flores siempre fue más elevada que en hojas. La evolución de la concentración de Zn (ppm) fue decreciente al igual que los resultados obtenidos por (Carpena & Casero, 1987), Sánchez-Alonso & Lachica, (1987b), Chatzistathis et al., (2010) y a diferencia del trabajo de Buwalda & Meekings, (1990) en el que se produjo una evolución creciente de este elemento mineral.

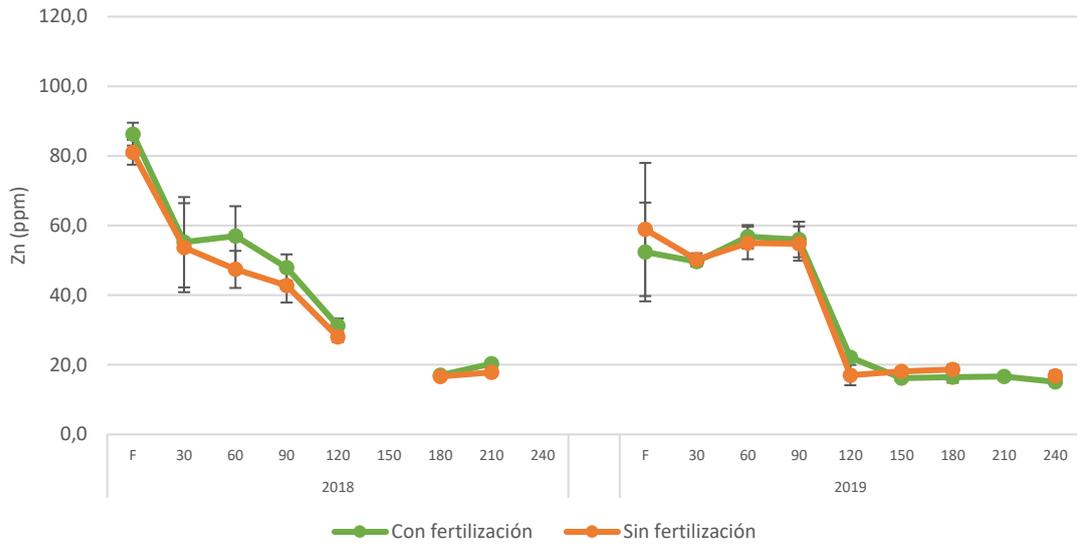


Figura 2- 27 Concentración de Zn (ppm) en ciruelo japonés, variedad “Red Beaut” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p<0.05$, ** $p<0.01$ y *** $p<0.001$.

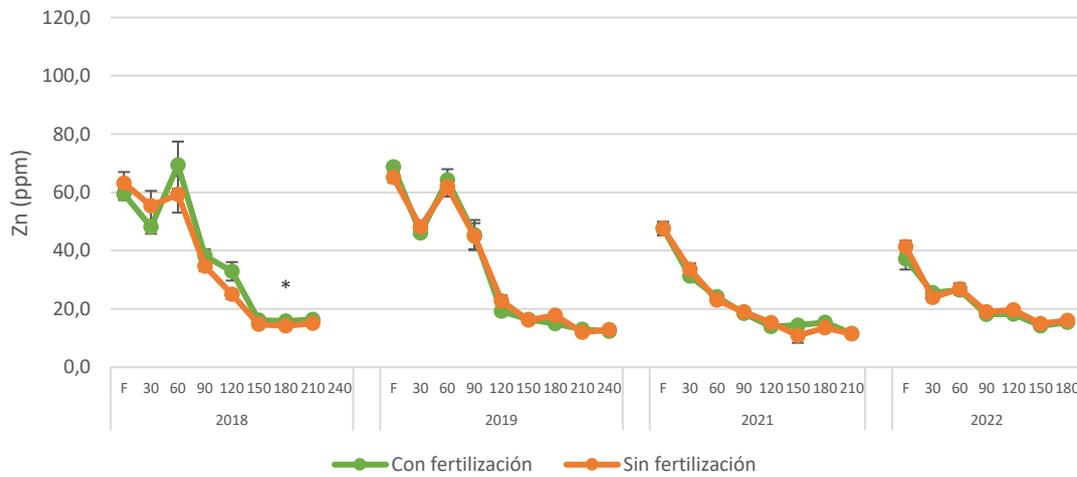


Figura 2- 28 Concentración de Zn (ppm) en ciruelo japonés, variedad “Angeleno” en flores, hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en 2018 y; en flores y hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 ddpf. Cada punto es la media de 16 muestras. Las barras verticales representan el error estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas, * $p<0.05$, ** $p<0.01$ y *** $p<0.001$.

4.3.2. Análisis de macroelementos nutricionales en ciruelo japonés. Estudio por grados día.

Los grados día acumulados son la media de la acumulación de calor requerido para el desarrollo del cultivo. Representan el reloj térmico que controla la manifestación de las diferentes etapas de desarrollo fenológico. Las plantas deben acumular una cierta cantidad de grados para pasar de un estado a otro, esto explica por qué las fechas de brotación o floración no son las mismas entre distintos años de cultivo, así en años calurosos los estados fenológicos se adelantan, y en años fríos se retrasan (Antonio & García, 2008). En este trabajo las muestras se han recogido en la misma fecha de muestreo, ya sean flores, hojas 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 días después de plena floración pero no todos los tejidos, ya sean floral o foliar, están en el mismo desarrollo fenológico.

Para el cálculo de los grados día acumulados (GDA) he utilizado la *Ecuación 2-1* propuesta por Tabuenca & Herreros, (1996) como temperatura base 7°C (Antonio & García, 2013), que representa la temperatura umbral por debajo de la cual los frutales no presenta actividad vegetativa, cuando el resultado de la ecuación es negativo, se supone que el árbol no tiene actividad.

$$G. D. = \sum \left(\frac{T_{max} - T_{min}}{2} \right) - T_b$$

Ecuación 2-1 Fórmula para el cálculo de los Grados Día entre periodos de muestreo.

Siendo:

Tmax, temperatura máxima diaria

Tmin, temperatura mínima diaria

Tb, temperatura base

Cuando se representa la evolución de nitrógeno, fósforo y potasio en grados día en ambas variedades de ciruelo japonés (desde Figura 2- 29 a Figura 2- 34), se observa que las diferencias significativas en la concentración en los elementos minerales se establecen en la misma fecha de muestreo que la representación en días julianos, pero no están en el mismo estado de desarrollo del cultivo.

Las muestras recogidas a los 210 ddpf en el año 2018 se corresponde con los 3075 GD y las de 2019 con los 2771 GD, es decir para la misma fecha de recogida en el año 2018 la variedad "Red Beaut" presenta un estado fenológico más avanzado que en 2019, y esto explica la ausencia de hojas en el muestreo a los 240 ddpf con su correspondiente concentración foliar.

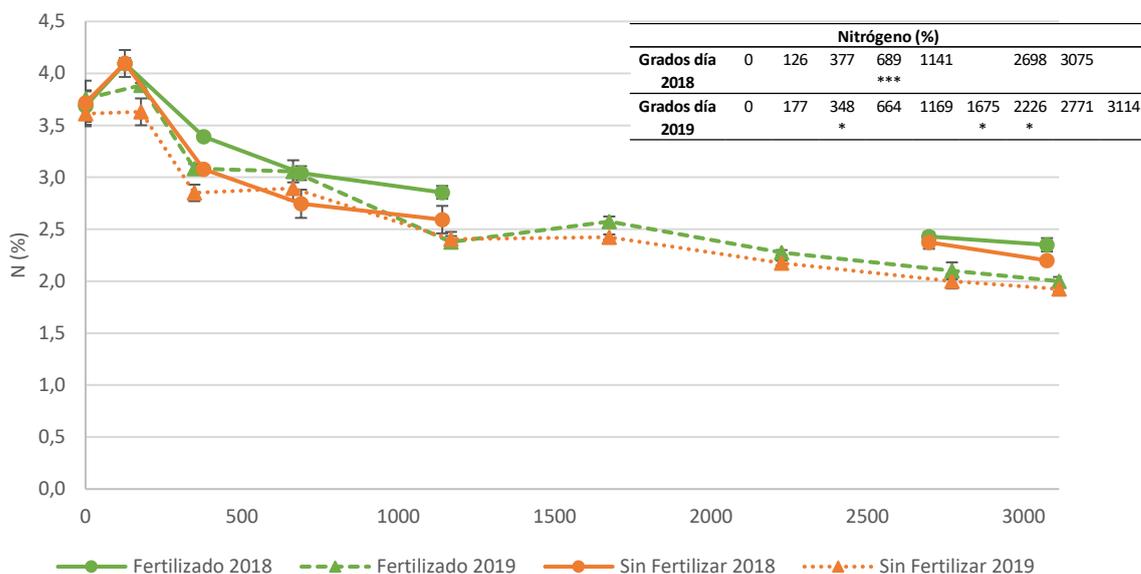


Figura 2- 29 Contenido de N (%) en árboles de ciruelo japonés “Red Beaut” obtenidos en flores y en hojas representado en grados día, para los años 2018 y 2019. Cada punto es la media de 4 árboles, las barras verticales representan el error estándar. El cuadro muestra las diferencias significativas entre tratamientos (nivel de significación *0.05, **0.01, ***0.001).

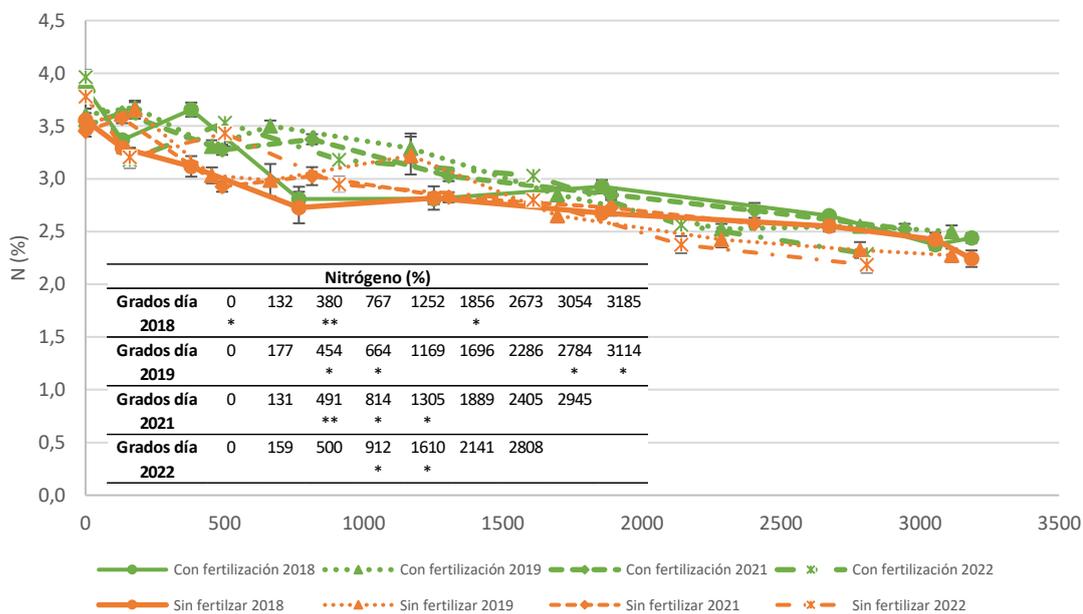


Figura 2- 30 Contenido de N (%) en árboles de ciruelo japonés “Angelino” obtenidos en flores y en hojas representado en grados día, para los años 2018, 2019, 2021 y 2022. Cada punto es la media de 4 árboles, las barras verticales representan el error estándar. El cuadro muestra las diferencias significativas entre tratamientos (nivel de significación *0.05, **0.01, ***0.001).

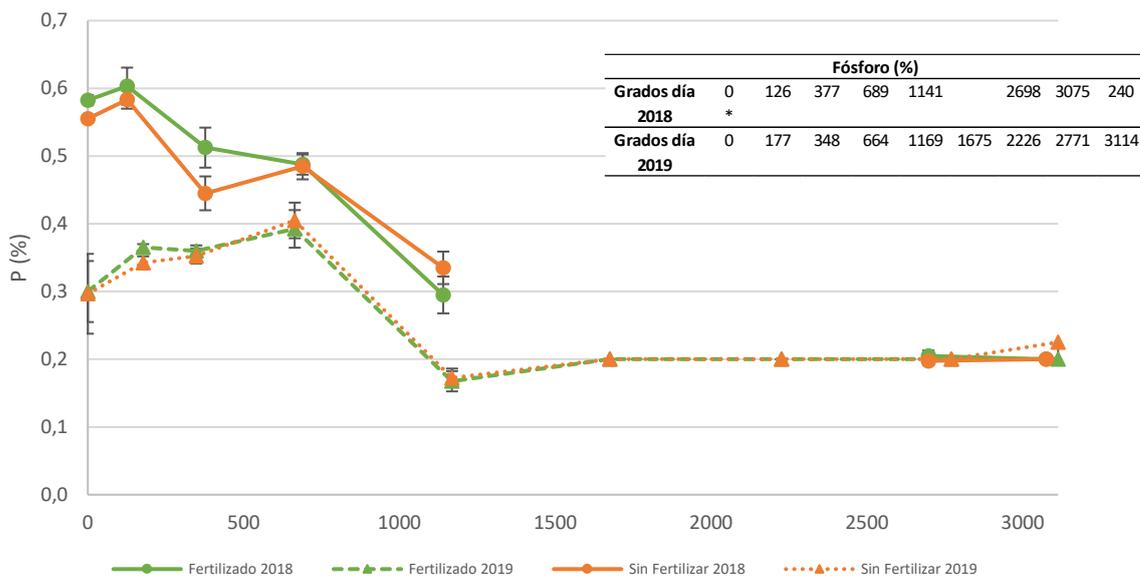


Figura 2- 31 Contenido de P (%) en árboles de ciruelo japonés “Red Beaut” obtenidos en flores y en hojas representado en grados día, para los años 2018 y 2019. Cada punto es la media de 4 árboles, las barras verticales representan el error estándar. El cuadro muestra las diferencias significativas entre tratamientos (nivel de significación *0.05, **0.01, ***0.001).

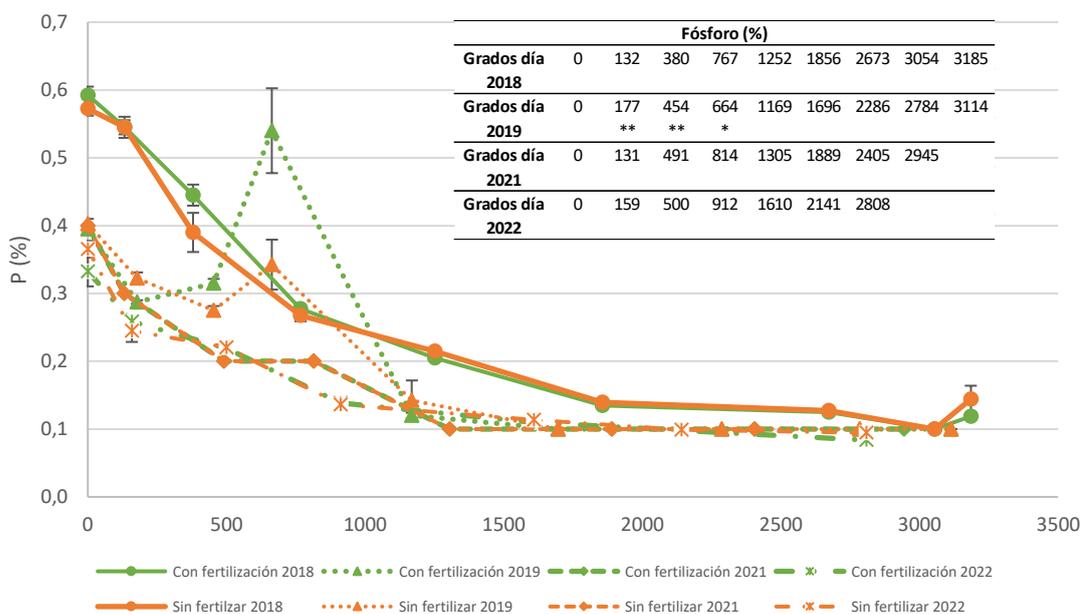


Figura 2- 32 Contenido de P (%) en árboles de ciruelo japonés “Angeleno” obtenidos en flores y en hojas representado en grados día, para los años 2018, 2019, 2021 y 2022. Cada punto es la media de 4 árboles, las barras verticales representan el error estándar. El cuadro muestra las diferencias significativas entre tratamientos (nivel de significación *0.05, **0.01, ***0.001).

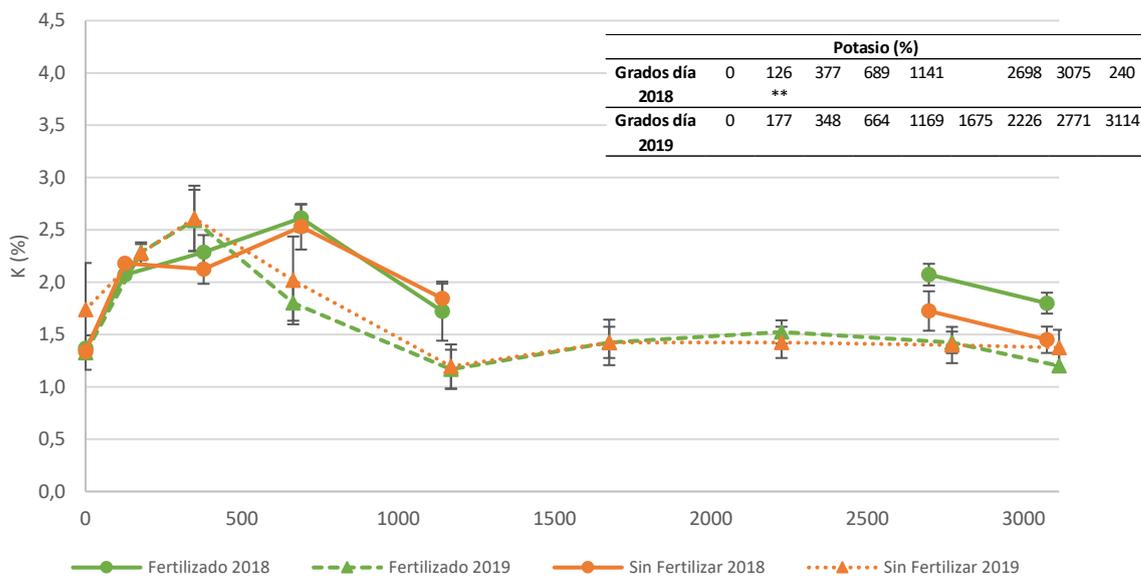


Figura 2- 33 Contenido de K (%) en árboles de ciruelo japonés “Red Beaut” obtenidos en flores y en hojas representado en grados día, para los años 2018 y 2019. Cada punto es la media de 4 árboles, las barras verticales representan el error estándar. El cuadro muestra las diferencias significativas entre tratamientos (nivel de significación *0.05, **0.01, ***0.001).

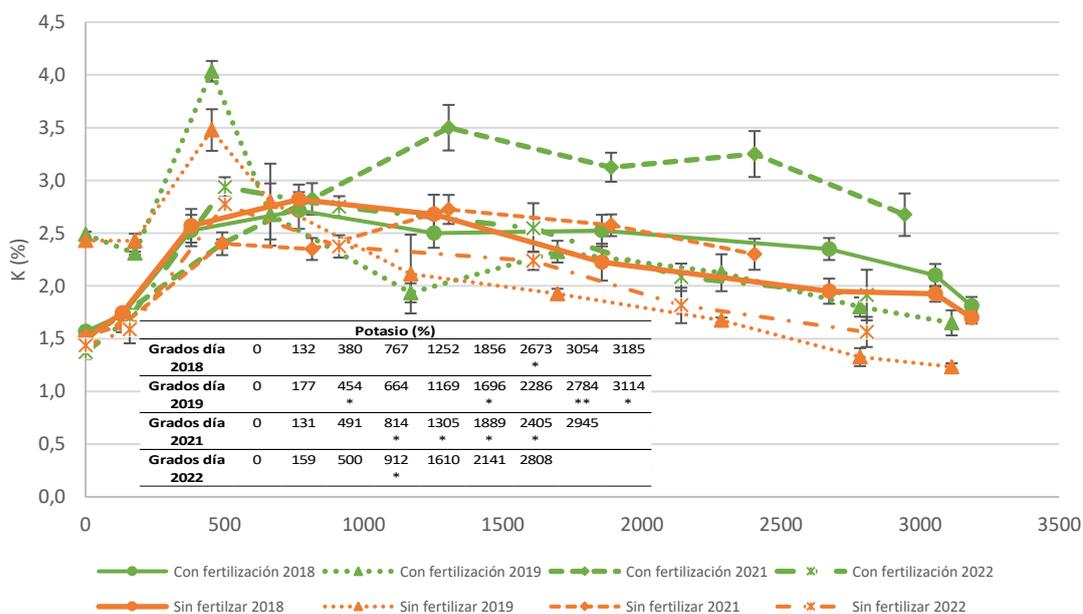


Figura 2- 34 Contenido de K (%) en árboles de ciruelo japonés “Angeleno” obtenidos en flores y en hojas representado en grados día, para los años 2018, 2019, 2021 y 2022. Cada punto es la media de 4 árboles, las barras verticales representan el error estándar. El cuadro muestra las diferencias significativas entre tratamientos (nivel de significación *0.05, **0.01, ***0.001).

4.3.3. Determinación del momento óptimo de muestreo en variedades de ciruelo japonés con distinta longitud de ciclo

Los análisis estadísticos efectuados entre días de muestreo sirvieron para determinar aquellos periodos en los que la concentración de elementos permanece estable, siendo un periodo óptimo para el análisis de estos elementos. Estos análisis se han hecho bajo dos escenarios, aquel en que se aplica un plan de abonado y otro en que no se aplica fertirrigación, aunque como se ha demostrado en el apartado 3.1, las evoluciones de los elementos son similares en ambos escenarios con diferentes valores.

4.3.4. Estudio del cultivar Red Beaut

De acuerdo con los resultados obtenidos (Tabla 2- 10 y Tabla 2- 11), el análisis de flores se podría emplear como diagnóstico precoz del estado nutricional de nitrógeno para la variedad de ciclo corto “Red Beaut”, ya que no existen diferencias significativas en el periodo posterior del desarrollo de las hojas. Existen otros periodos en los que para ambos tratamientos se podrían establecer estos puntos de muestreo, pero son posteriores y el muestreo precoz perdería potencia, por ejemplo, se obtuvieron buenos resultados en el periodo de hojas 60-90 ddpf, pero tiene como desventaja que la variedad está a punto de ser recogida, la recolección se hizo a los 90 ddpf, y aplicar una medida correctora a los 60 ddpf no tendría efecto de mejora en el rendimiento.

De igual manera al nitrógeno, otros elementos como el potasio, el calcio o el magnesio, presentan unos periodos de estabilización al inicio del ciclo, periodo propicio para una detección precoz de carencias nutricionales, sin embargo, estas diferencias no están consolidadas interanualmente, en el año 2019 las diferencias entre tratamientos fueron mayores que en el año 2018 y sería necesario el análisis de un tercer año para dirimir las discrepancias observadas.

Otros elementos como el fósforo o el cobre presentan un periodo precoz entre los 30 y los 60 días después de plena floración, a pesar de que no es tan prematuro como en los elementos anteriores, es interesante tenerlo en cuenta para los diagnósticos nutricionales, ya que aún está el fruto en el árbol y puede corregirse carencias que afecten a la calidad de este.

Los elementos hierro y zinc tienen una discrepancia ninteranual muy grande, mientras que en el año 2018 no se encuentra ese periodo de estabilización inicial, en el 2019 se observa (especialmente en el zinc). Esto pone de manifiesto que no es posible hacer una detección precoz de carencias en el mismo año. Para un correcto plan de abonado en esta variedad, y

teniendo en cuenta estos elementos, ha de establecerse un seguimiento de estos teniendo presentes los valores umbrales y con los análisis de suelo como base de partida.

Tabla 2- 10 Análisis estadístico entre fechas de muestreo consecutivas para los tratamientos fertilizados y sin fertilizar en el año 2018. En la variedad Red Beaut. Las diferencias entre medias se consideraron estadísticamente significativas cuando $p < 0,05$; n.s. indica no significativo; () significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.*

Tratamiento FERTILIZADO

ddpf Elemento	F-30	30-60	60-90	90-120	120-180	180-210
N (%)	n.s.	*	**	n.s.	**	n.s.
P (%)	n.s.	n.s.	n.s.	**	*	n.s.
K (%)	***	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.
Ca (%)	n.s.	**	**	n.s.	***	n.s.
Mg (%)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.
Fe (ppm)	***	*	***	*	*	*
Cu (ppm)	**	n.s.	**	n.s.	**	n.s.
Mn (ppm)	*	**	**	n.s.	n.s.	n.s.
Zn (ppm)	*	**	n.s.	**	***	*

Tratamiento SIN FERTILIZAR

ddpf Elemento	F-30	30-60	60-90	90-120	120-180	180-210
N (%)	n.s.	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
P (%)	n.s.	**	n.s.	**	*	n.s.
K (%)	***	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.
Ca (%)	n.s.	***	***	n.s.	*	n.s.
Mg (%)	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Fe (ppm)	**	n.s.	***	n.s.	*	n.s.
Cu (ppm)	***	n.s.	*	n.s.	**	n.s.
Mn (ppm)	**	***	***	n.s.	n.s.	n.s.
Zn (ppm)	*	*	n.s.	*	***	n.s.

Tabla 2- 11 Análisis estadístico entre fechas de muestreo consecutivas para los tratamientos fertilizados y sin fertilizar en el año 2019. En la variedad Red Beaut. Las diferencias entre medias se consideraron estadísticamente significativas cuando $p < 0,05$; n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

Tratamiento FERTILIZADO

ddpf Elemento	F-30	30-60	60-90	90-120	120-180	180-210
N (%)	n.s.	***	n.s.	***	*	**
P (%)	n.s.	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.
K (%)	**	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.
Ca (%)	***	***	***	***	n.s.	n.s.
Mg (%)	**	***	***	***	**	n.s.
Fe (ppm)	n.s.	***	**	***	**	n.s.
Cu (ppm)	*	**	n.s.	***	*	*
Mn (ppm)	***	***	**	***	n.s.	*
Zn (ppm)	n.s.	n.s.	n.s.	***	***	n.s.

Tratamiento SIN FERTILIZAR

ddpf Elemento	F-30	30-60	60-90	90-120	120-180	180-210
N (%)	n.s.	**	n.s.	*	n.s.	***
P (%)	n.s.	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.
K (%)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Ca (%)	**	***	***	***	**	**
Mg (%)	**	***	***	***	***	n.s.
Fe (ppm)	n.s.	***	**	***	***	n.s.
Cu (ppm)	n.s.	***	n.s.	***	**	***
Mn (ppm)	**	***	***	***	n.s.	n.s.
Zn (ppm)	n.s.	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.

4.3.5. Estudio de la variedad Angeleno

Al tratarse de un cultivar de ciclo largo, el periodo de detección precoz puede alargarse unos días más que en el caso del cultivar Red Beaut. Hasta ahora la bibliografía ha establecido que el periodo de muestreo debería ser a los 120 ddpf (D. Leece & Gilmour, 1974), por lo que una reducción en el ese periodo será un avance a la corrección de carencias nutricionales.

Los resultados obtenidos muestran una alta variación interanual (desde Tabla 2- 12 hasta la Tabla 2- 15) que dificulta la interpretación conjunta de los nutrientes, si además se tienen en cuenta las posibles diferencias producidas por el aporte de fertilizantes. En la mayoría de los escenarios, los nutrientes se estabilizan al final del periodo vegetativo, cerca de los 150 ddpf, esta fecha es demasiado tardía si se quiere hacer una detección precoz, por lo que no será tenida en cuenta.

La fecha más próxima a floración que agrupa más etapas de estabilización de los escenarios planteados es el periodo entre 60-90 ddpf. Se trata del final de la etapa de movilización en muchos de los nutrientes observados, como el potasio (Figura 2- 16), el calcio (Figura 2- 18) o el manganeso (Figura 2- 26), en otros elementos y supone el inicio de un periodo de escasa variación en la concentración de los mismos, como en el caso del magnesio (Figura 2- 20), el hierro (Figura 2- 22), el cobre (Figura 2- 24) o el zinc (Figura 2- 28).

Tabla 2- 12 Análisis estadístico entre fechas de muestreo consecutivas para los tratamientos fertilizados y sin fertilizar en el año 2018. En la variedad Angeleno. Las diferencias entre medias se consideraron estadísticamente significativas cuando $p < 0,05$; n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

Tratamiento FERTILIZADO

ddpf Elemento	F-30	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180	180-210	210-240
N (%)	**	*	**	n.s.	n.s.	*	**	n.s.
P (%)	*	**	***	***	***	*	***	*
K (%)	**	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Ca (%)	***	***	n.s.	***	*	*	n.s.	n.s.
Mg (%)	n.s.	***	*	***	**	n.s.	n.s.	n.s.
Fe (ppm)	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	*	n.s.	n.s.
Cu (ppm)	**	*	**	n.s.	*	**	n.s.	n.s.
Mn (ppm)	**	***	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.
Zn (ppm)	*	n.s.	*	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.

Tratamiento SIN FERTILIZAR

ddpf Elemento	F-30	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180	180-210	210-240
N (%)	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
P (%)	n.s.	**	*	**	***	n.s.	**	n.s.
K (%)	***	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Ca (%)	***	***	**	***	*	n.s.	n.s.	**
Mg (%)	n.s.	***	**	***	*	n.s.	n.s.	n.s.
Fe (ppm)	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.
Cu (ppm)	***	n.s.	n.s.	n.s.	**	*	**	*
Mn (ppm)	**	***	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.
Zn (ppm)	n.s.	n.s.	**	**	**	n.s.	n.s.	*

Tabla 2- 13 Análisis estadístico entre fechas de muestreo consecutivas para los tratamientos fertilizados y sin fertilizar en el año 2019. En la variedad Angeleno. Las diferencias entre medias se consideraron estadísticamente significativas cuando $p < 0,05$; n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

Tratamiento FERTILIZADO

ddpf Elemento	F-30	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180	180-210	210-240
N (%)	n.s.	**	*	n.s.	*	**	n.s.	n.s.
P (%)	***	**	*	**	**	n.s.	n.s.	n.s.
K (%)	**	***	**	*	*	n.s.	n.s.	n.s.
Ca (%)	***	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.
Mg (%)	***	**	n.s.	*	*		n.s.	n.s.
Fe (ppm)	**	*	n.s.	*	*	n.s.	*	**
Cu (ppm)	**	***	n.s.	**	**	n.s.	*	n.s.
Mn (ppm)	n.s.	***	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Zn (ppm)	***	**	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Tratamiento SIN FERTILIZAR

ddpf Elemento	F-30	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180	180-210	210-240
N (%)	n.s.	**	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.
P (%)	***	**	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
K (%)	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	**	**	n.s.
Ca (%)	***	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Mg (%)	**	**	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Fe (ppm)	**	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**
Cu (ppm)	n.s.	***	**	***	n.s.	***	n.s.	n.s.
Mn (ppm)	n.s.	***	*	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Zn (ppm)	***	*	*	*	*	n.s.	**	n.s.

Tabla 2- 14 Análisis estadístico entre fechas de muestreo consecutivas para los tratamientos fertilizados y sin fertilizar en el año 2021. En la variedad Angeleno. Las diferencias entre medias se consideraron estadísticamente significativas cuando $p < 0,05$; n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

Tratamiento FERTILIZADO

ddpf Elemento	F-30	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180	180-210	210-240
N (%)	n.s.	**	n.s.	**	*	n.s.	n.s.	n.s.
P (%)	***	***	n.s.	***	n.s.	n.s.	n.s.	***
K (%)	**	**	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	**
Ca (%)	*	*	n.s.	**	n.s.	n.s.	**	*
Mg (%)	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***
Fe (ppm)	n.s.	n.s.	n.s.	*	***	n.s.	n.s.	n.s.
Cu (ppm)	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
Mn (ppm)	*	**	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*
Zn (ppm)	**	**	***	***	n.s.	n.s.	*	**

Tratamiento SIN FERTILIZAR

ddpf Elemento	F-30	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180	180-210	210-240
N (%)	n.s.	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.
P (%)	***	***	n.s.	***	n.s.	n.s.	n.s.	***
K (%)	n.s.	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Ca (%)	**	***	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	**
Mg (%)	***	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***
Fe (ppm)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Cu (ppm)	*	n.s.	*	***	*	n.s.	n.s.	*
Mn (ppm)	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
Zn (ppm)	**	**	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	**

Tabla 2- 15 Análisis estadístico entre fechas de muestreo consecutivas para los tratamientos fertilizados y sin fertilizar en el año 2022. En la variedad Angeleno. Las diferencias entre medias se consideraron estadísticamente significativas cuando $p < 0,05$; n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

Tratamiento FERTILIZADO

ddpf Elemento	F-30	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180	180-210	210-240
N (%)	***	**	**	**	***	**	***	**
P (%)	*	**	***	***	**	**	*	**
K (%)	**	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	***
Ca (%)	**	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	***
Mg (%)	n.s.	***	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	***
Fe (ppm)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Cu (ppm)	*	***	***	***	n.s.	*	*	***
Mn (ppm)	*	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	***
Zn (ppm)	*	n.s.	**	n.s.	*	n.s.	*	n.s.

Tratamiento SIN FERTILIZAR

ddpf Elemento	F-30	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180	180-210	210-240
N (%)	**	n.s.	*	n.s.	**	n.s.	**	n.s.
P (%)	**	n.s.	***	**	n.s.	n.s.	**	n.s.
K (%)	n.s.	***	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***
Ca (%)	**	***	*	**	n.s.	n.s.	**	***
Mg (%)	n.s.	***	n.s.	**	**	**	n.s.	***
Fe (ppm)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.
Cu (ppm)	*	**	*	***	n.s.	*	*	**
Mn (ppm)	*	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	**
Zn (ppm)	***	n.s.	**	n.s.	**	n.s.	***	n.s.

4.3.6. Detección de carencias nutricionales mediante el análisis florar en ciruelo japonés cv. Angeleno

La lata variación en los patrones de acumulación de nutrientes en le caso del cultivar Angeleno hace que la detección precoz en hojas resulte complicada, y a veces ineficaz. Por ello, se pretende utilizar el análisis de flores como diagnóstico precoz para la concentración de nutrientes.

Se ha llevado a cabo una correlación en el año 2022, por ser éste un año en que no se llevó a cabo una fertirrigación en ninguno de los tratamientos. El análisis estadístico (Tabla 2- 16) nos indicó que la determinación en flores se podría usar como diagnóstico precoz para el calcio, encontrando buenas correlaciones entre flores y hojas 30, 60, 90, 150 y 180 ddpf. Para el resto de los elementos no se encontraron correlaciones entre flores y el resto de los momentos de muestreo. Otros autores como (Sanz et al., 1993) encontraron correlaciones entre flores y hojas a los 120 ddpf en la concentración de hierro y manganeso en peral y en melocotonero entre flores y hojas 60 ddpf en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, hierro y manganeso y, entre flores y hojas 120 ddpf en nitrógeno, magnesio y manganeso (Sanz & Montañés, 1995).

Tabla 2- 16 Correlación de Pearson entre flores y hojas tomadas a los 30, 60, 90, 120, 150 y 180 ddpf. El análisis se llevó a cabo para cada uno de los nutrientes en el año 2022. (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

Elemento		30 ddpf	60 ddpf	90 ddpf	120 ddpf	150 ddpf	180 ddpf
N (%)	Correlación de Pearson	,037	,393	,614	,450	,620	,691
	Sig. (bilateral)	,930	,336	,106	,264	,101	,058
P (%)	Correlación de Pearson	-,554	,243	-,656	-,110	-,304	-,298
	Sig. (bilateral)	,154	,561	,077	,795	,464	,474
K (%)	Correlación de Pearson	-0,078	-0,311	-0,327	-0,190	0,002	0,057
	Sig. (bilateral)	0,854	0,454	0,429	0,653	0,996	0,893
Ca (%)	Correlación de Pearson	,967**	,967**	,756*	0,663	-,728*	-,748*
	Sig. (bilateral)	0,000	0,000	0,030	0,073	0,041	0,033
Mg (%)	Correlación de Pearson	0,261	-0,238	0,396	0,044	-0,161	-0,365
	Sig. (bilateral)	0,532	0,570	0,332	0,917	0,704	0,374
Fe (ppm)	Correlación de Pearson	-0,531	-0,201	-0,348	-0,086	-0,277	-0,021
	Sig. (bilateral)	0,176	0,632	0,398	0,840	0,507	0,960
Cu (ppm)	Correlación de Pearson	0,438	-0,071	-0,322	0,404	-0,622	-0,451
	Sig. (bilateral)	0,278	0,866	0,437	0,321	0,100	0,262
Mn (ppm)	Correlación de Pearson	-0,215	0,482	0,445	0,204	0,214	0,330
	Sig. (bilateral)	0,609	0,227	0,269	0,628	0,612	0,425
Zn (ppm)	Correlación de Pearson	-0,577	-0,265	-0,138	0,329	0,379	0,688
	Sig. (bilateral)	0,134	0,526	0,745	0,427	0,355	0,059

4.4. Conclusiones

El contenido de nitratos en el agua de riego es un factor importante que hay que considerar y descontarlo en la planificación de la fertilización de los cultivos. En nuestros resultados la cantidad de nitratos que se aplicó a los cultivares Red Beaut y Angeleno fue notable y es por ello por lo que no se pudo tener un tratamiento libre de fertilización nitrogenada.

La evolución de la concentración de nutrientes en hoja es diferente entre elementos, es por ello que, deben ser analizados por separado y teniendo en cuenta tanto el tipo de suelo como la calidad de las aguas de riego. Un abonado tipo de N P K no satisface en muchas ocasiones las necesidades que tienen las plantaciones comerciales, pudiendo encontrar casos de intoxicación nitrogenada o déficit de potasio, por encontrarse en formas no asimilables en el suelo. Por otra parte, los umbrales máximo y mínimo que presentan algunos micronutrientes son suficientemente amplios como para no abordar un plan de abonado centrado en ellos.

Los aportes de N P K hechos en la plantación no han afectado a otros nutrientes, ya que no se han encontrado diferencias entre tratamientos estos elementos. Estos nutrientes podrían sufrir incompatibilidades o sinergias en su absorción, como ocurre en el suelo con la paradoja del hierro, pero no ha sucedido en las plantas.

El establecimiento de las fechas de muestreo y fertirrigación mediante escala fenológica elimina las posibles variaciones interanuales que existan en la plantación, acomodando mejor los nutrientes a sus periodos máximos de demanda y evitando la percolación de los mismos que pueda causar contaminación.

El establecimiento de una fecha de muestreo para determinar posibles carencias de manera precoz es una cuestión varietal, mientras que en la variedad Red Beaut, los 60 ddpf se presentan como válidos para llevar a cabo ese muestreo, en el cultivar Angeleno no hay un periodo tan definido, siendo los 60ddpf el momento en que más escenarios han convergido para marcar ese momento.

El empleo de flores como marcador temprano en el caso del cultivar Angeleno, sólo se ha mostrado favorable en el calcio.

4.5. Bibliografía

- Alexandrova, T. I. (2022). Variety study of home plum for intensive plants in arid conditions of the Northern Caspian region. *The Agrarian Scientific Journal*, 6. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i6pp4-6>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration-Guideline for computing crop water requirements. *FAO*, 56. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1571417125137852032>
- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis. Dumas Method (990.03). 15 th edition. Washington D.C., USA.*
- APHA-AWWA-WEF. (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition. New York.*
- APHA-AWWA-WEF. (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th Edition. In American Public Health Association.*
- Astrid Vélez-Carvajal, N., Melo-Martínez, E., & Flórez-Roncancio, V. J. (2014). Comportamiento de Ca, Mg y S en un sistema de cultivo sin suelo para clavel. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 20(2), 171–185. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.10.038>
- Ben Khelil, M., Sanaa, M., Msallem, M., & Larbi, A. (2010). FLORAL ANALYSIS AS A NEW APPROACH TO EVALUATE THE NUTRITIONAL STATUS OF OLIVE TREES. *Journal of Plant Nutrition*, 33(5), 627–639. <https://doi.org/10.1080/01904160903575873>
- Boyhan, G., Norton, J., HortScience, J. P.-, & 1995, undefined. (1995). Establishment, growth, and foliar nutrient content of plum trees on various rootstocks. *Journals.Ashs.Org* GE Boyhan, JD Norton, JA PittsHortScience, 1995•journals.Ashs.Org, 30(2), 219–221. <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/30/2/article-p219.xml>
- Bueno, L., & Camargo, J. C. (2012). Cambios del nitrógeno durante etapas de desarrollo temprano de la leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit). *Livestock Research for Rural Development*, 24(2). <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd24/2/buen24033.htm>
- Bueno, L., & Camargo, J. C. (2015). Nitrógeno edáfico y nodulación de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit en sistemas silvopastoriles. *Acta Agronómica*, 64(4), 349–354. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n4.45362>
- Buwalda, J. G., & Meekings, J. S. (1990). Seasonal Accumulation of Mineral Nutrients in Leaves and Fruit of Japanese Pear (*Pyrus serotina* Rehd.). *Scientia Horticulturae*, 209–222.
- Carpaena, O., & Casero, T. (1987). Evolución anual de nutrientes en melocotonero “Sudanel.” *Investigación Agraria. Producción Protección Vegetal*, 2, 31–43.
- Cedeño, Y., Cruz, E., Mendoza, G., Marell, R., & Pardo, F. (2023). Asociación del consumo de frutas y

vegetales con marcadores del estrés oxidativo e inflamación en adolescentes cubanos. *Tercer Congreso Virtual de Ciencias Biomédicas En Granma*.

Chatzistathis, T., Therios, I., Alifragis, D., & Dimassi, K. (2010). Effect of sampling time and soil type on Mn, Fe, Zn, Ca, Mg, K and P concentrations of olive (*Olea europaea* L., cv. 'Koroneiki') leaves. *Scientia Horticulturae*, 126(2), 291–296. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2010.07.021>

Conradie, W. E. (1980). Seasonal uptake of nutrients by Chenin blanc in sand culture: I. Nitrogen. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 2, 7–13. <https://www.journals.ac.za/sajev/article/view/2414>

Cottenie, A. (1984). Los análisis de suelos y plantas como base para formular las recomendaciones sobre fertilizantes. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación. Boletín de Suelos de La FAO 38/2. Roma*.

CTADF (Comité Inter-Instituts d'Etude des Techniques Analytiques du Diagnostic Foliare). (1969). *Méthodes de référence pour la détermination des éléments minéraux dans les végétaux. Oleagineux*, 24.

Cuquel, F. L., Motta, A. C. V., Tutida, I., & de Mio, L. L. M. (2011). Nitrogen and potassium fertilization affecting the plum postharvest quality. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33(SPEC. ISSUE 1). <https://doi.org/10.1590/s0100-29452011000500041>

Egea, I., Carpena, O., & Berenguer, T. (1972, March). Nutrición mineral en Prunus. I Melocotonero. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 269–287.

El-Jendoubi, H., Abadía, J., & Abadía, A. (2013). Assessment of nutrient removal in bearing peach trees (*Prunus persica* L. Batsch) based on whole tree analysis. *Plant and Soil*, 369(1–2). <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1556-1>

El-Jendoubi, H., Carlos Melgar, J., Álvarez-Fernández, A., Sanz, M., Abadía, A., & Abadía, J. (2011). *Setting good practices to assess the efficiency of iron fertilizers*. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2011.02.013>

Fernández, F. G., Guillén, M. G., & Caro, M. (1965). Evolución anual de nutrientes en hojas de frutales. II Melocotonero. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 91–102.

Fernández Hernández, A., Beltrán Maza, G., & Fernández Escobar, R. (2009). Evolución de la composición mineral (NPK) en hoja de olivo. *Agricultura: Revista Agropecuaria y Ganadera*, ISSN 0002-1334, N° 922, 2009, Págs. 720-722, 922, 720–722. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3848396>

Fernández, P., García, F., Horticultura, J. F.-A. de, & 2014, undefined. (n.d.). Estimación de las extracciones de nutrientes en el cultivo de cerezo en la Región de Murcia. Implicaciones del nitrógeno. *Sech.InfoP Fernández, F García, J Fernández Actas de Horticultura, 2014•sech.Info*. Retrieved November 1, 2023, from

<http://www.sech.info/ACTAS/Acta%20n%C2%BA%2066.%20V%20Jornadas%20del%20grupo%20de%20fertilizaci%C3%B3n/Sesi%C3%B3n%202.%20Frutales/Estimaci%C3%B3n%20de%20las%20extracciones%20de%20nutrientes%20en%20el%20cultivo%20de%20cerezo%20en%20la%20Regi%C3%B3n%20de%20Murcia.%20Implicaciones%20del%20nitr%C3%B3geno.pdf>

Fernández-Escobar, R., Beltrán, G., Sánchez-Zamora, M. A., García-Novelo, J., Aguilera, M. P., & Uceda, M. (2006). Olive oil quality decreases with nitrogen over-fertilization. *Journals.Ashs.Org* Fernández-Escobar, G Beltrán, MA Sánchez-Zamora, J García-Novelo, MP Aguilera HortScience, 2006•journals.Ashs.Org, 41(1), 215–219. <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/41/1/article-p215.xml>

Fernandez-Escobar, R., & Parra, M. A. (1985). ANALISIS FOLIARES Y DE SUELO COMO GUÍA DE FERTILIZACION DEL MELOCOTONERO MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION. *Hojas Divulgadoras*, 11(85).

González García, V., Abadía Bayona, A., Abadía Bayona, J., Vivas, A., Moñino Espino, M. J., & Prieto Losada, M. H. (2006). Estudio de la evolución estacional de nutrientes en órganos vegetativos y reproductivos en melocotonero para diagnóstico precoz en las Vegas Bajas del Guadiana (Extremadura). *Nutrición Mineral: Aspectos Fisiológicos, Agronómicos y Ambientales*, Vol. 1, 2006, ISBN 84-9769-163-6, Págs. 141-148, 141–148. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5604414>

González, V., Abadía, A., Abadía, J., Daza, C., Vivas, A., Moñino, M. J., & Prieto, M. H. (2009). *Estudio del análisis de flores como herramienta del estado nutricional de melocotonero en las Vegas del Guadiana (Extremadura)*.

Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2010). Response of plum trees to deficit irrigation under two crop levels: Tree growth, yield and fruit quality. *Irrigation Science*, 28(6), 525–534. <https://doi.org/10.1007/s00271-010-0212-x>

Jomaa, A. B. (2002). *Clorosis férrica: Respuestas de las plantas y métodos de corrección. Tesis Doctoral. Zaragoza*. .

Komosa, A., & Szewczuk, A. (2002). EFFECT OF SOIL POTASSIUM LEVEL AND DIFFERENT POTASSIUM FERTILIZER FORMS ON NUTRITIONAL STATUS, GROWTH AND YIELD OF APPLE TREES IN THE FIRST THREE YEARS AFTER PLANTING. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 20(4), 115–124.

Leece, D., & Ende, B. den. (1975). Diagnostic leaf analysis for stone fruit. 6. Apricot. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 15(72), 123–128. <https://doi.org/10.1071/EA9750123>

Leece, D., & Gilmour, A. (1974). Diagnostic leaf analysis for stone fruit. 2. Seasonal changes in the leaf composition of peach. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 14(71), 822–827. <https://doi.org/10.1071/EA9740822>

Leece, D. R. (1975a). Diagnostic leaf analysis for stone fruit. 4. Plum. *Australian Journal of*

- Experimental Agriculture*, 15(72), 112–117. <https://doi.org/10.1071/EA9750112>
- Leece, D. R. (1975b). Diagnostic leaf analysis for stone fruit. 5. Sweet cherry. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 15(72), 118–122. <https://doi.org/10.1071/EA9750118>
- Leece, D. R., & Gilmour, A. R. (1974). Diagnostic leaf analysis for stone fruit 2. Seasonal changes in the leaf composition of peach. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 14.
- Lisek, J., & Stępień, T. (2021). Macroelements concentration in plum tree leaves and soil in response to orchard floor management. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 20(4). <https://doi.org/10.24326/ASPHC.2021.4.10>
- Liu, B., Liang, J., Tang, G., Wang, X., Liu, F., & Zhao, D. (2019). Drought stress affects on growth, water use efficiency, gas exchange and chlorophyll fluorescence of Juglans rootstocks. *Scientia Horticulturae*, 250, 230–235. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2019.02.056>
- MAPA.Ministerio de Agricultura, P. y A. (2020). Anuario de Estadística. Estadísticas Agrarias. <https://www.mapa.gob.es/Es/Estadistica/Temas/Publicaciones/Anuario-de-Estadistica/2021/Default.aspx?Parte=3&capitulo=07&grupo=9&seccion=11>.
- Mestre, L., Reig, G., Betrán, J. A., & Moreno, M.-A. (2017). Influence of plum rootstocks on agronomic performance, leaf mineral nutrition and fruit quality of “Catherina” peach cultivar in heavy-calcareous soil conditions. 15(1), 11. <https://doi.org/10.5424/sjar/2017151-9950>
- Real Decreto 1051/2022, de 27 de diciembre, por el que se establecen normas para la nutrición sostenible en los suelos agrarios, BOE 312 188873 (2022).
- Montañés, L., Sanz, M., Gómez, V., & Heras, L. (1990). Evolución de nutrientes en hoja de melocotonero (*Prunus persica*, L. Batsch) y producción (20 (1-2)).
- Olszewski, T., & Mika, A. (1986). Planting density effects on mineral composition of leaves and fruits of “Macspur” apples. *Acta Horticulturae*, 259–260. https://scholar.google.es/scholar?cluster=17629698255682332129&hl=es&as_sdt=2005&scio dt=0,5
- por la que se aprueba el Programa de Actuación aplicable en las zonas vulnerables a contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias de Extremadura, Diario Oficial de Extremadura, 54 7289 (2009).
- Orduz-Ríos, Suárez-Parra, Serrano-Cely, Serrano-Agudelo, & Forero-Pineda. (2020). Evaluation of NPK-Ca-Mg dynamics in plum (*Prunus salicina* Lindl.) var. Horvin under nursery conditions Evaluación de la dinámica de NPK-Ca-Mg en ciruelo. *Revistas.Uptc.Edu.Co*. <https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i3.11941>
- Ortuño, A., Parra, M., Hernansaez, A., & Armero, T. (1972). Evoluciones y relaciones fisiológicas de bioelementos en hoja de *Prunus Persica*. *Anuales de Edafología y Agrobiología*, 333–346.

<https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCAL7338014100>

Paniagua, M. P., Clavería, I., Abadía, J., & Abadía, A. (2004). Contenido de macro y micronutrientes en distintas partes de la flor de melocotonero. *Resúmenes, X Simposio Ibérico de Nutrición Mineral de Plantas*, 102.

Pešaković, M., Glišić, I., Tomić, J., Karaklajić-Stajić, Ž., Rilak, B., Mandić, L., & Đukić, D. (2020). Evaluation of innovative and environmentally safe growing practice suitable for sustainable management of plum orchards. *Acta Agriculturae Serbica*, 25(49). <https://doi.org/10.5937/aaser2049077p>

Pinta, M. (1973). *Méthodes de référence pour la détermination des éléments minéraux dans les végétaux. Détermination des éléments Ca, Mg, Fe, Mn, Zn et Cu par absorption atomique. Oléagineux*, 28 (2): 87-92.

Razeto, B., & Palacios, J. (2007). *FRUIT ANALYSIS AS AN ALTERNATIVE TO LEAF ANALYSIS FOR DIAGNOSING IRON STATUS OF AVOCADO TREE*.

REDAREX. (n.d.). *Red de Asesoramiento al Regante de Extremadura (REDAREX)*. Junta de Extremadura. Retrieved November 18, 2023, from http://redarexplus.juntaex.es/RedarexPlus/index.php?modulo=estaciones&pagina=datos.php&enlace=Estaciones&camino=Datos%20de%20las%20estaciones&id_estacion=205&id_provincia=6

Reglamento (UE) 2021/1119. Legislación Europea sobre el clima. (2021). Reglamento (UE) 2021/1119 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de junio por el que establece el marco para lograr la neutralidad climática y se modifican los Reglamentos (CE) n°401/2009 y (UE) 2018/1999 . In *Diario Oficial de la Unión Europea* (pp. 243/1-243/17).

Reyes Santamaría, Ma. I., Toledo Cabrera, D., López Santiago, A. I., Pacheco Trejo, J., Saucedo García, M., & Madariaga Navarrete, A. (2023). Impacto del cambio climático sobre la fotosíntesis, fotorrespiración y respiración de plantas C3. *Boletín de Ciencias Agropecuarias Del ICAP*, 9(Especial). <https://doi.org/10.29057/icap.v9iespecial.8764>

Rincón, R. L., García-Brunton, J., & Sáez, J. (2004). ABSORCIÓN DE MACROELEMENTOS POR EL MELOCOTONERO. *Aida-Itea.Org*, 1, 5–17. https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2004/100V-1/100V-1_01.pdf

Salas, M., Pernasetti, O., Watkins, P., Agronomicas, A. A.-I., & 2014, undefined. (n.d.). Dinámica del potasio foliar en un ensayo de fertilización potásica en olivo. *Ipni.Net*. Retrieved November 1, 2023, from [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/28B075D1A29AD28E85257DA50046C7D7/\\$FILE/21.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/28B075D1A29AD28E85257DA50046C7D7/$FILE/21.pdf)

Sánchez-Alonso, F., & Lachica, M. (1987a). Seasonal trends in the elemental content of plum leaves. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 18(1), 31–43.

<https://doi.org/10.1080/00103628709367801>

- Sánchez-Alonso, F., & Lachica, M. (1987b). Seasonal trends in the elemental content of plum leaves. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 18(1), 31–43. <https://doi.org/10.1080/00103628709367801>
- Sanz, M., Carrera, M., & Montañés, L. (1993). El estado nutricional del peral. Posibilidad del diagnóstico floral. *Hortofruticultura* 10, 60–62.
- Sanz, M., & Montañés, L. (1993). Diagnóstico foliar continuado en melocotonero. Valores de referencia. *ITEA*, 89V(2), 79–89.
- Sanz, M., & Montañés, L. (1995). Flower analysis as a new approach to diagnosing the nutritional status of the peach tree. *Journal of Plant Nutrition*, 18(8), 1667–1675. <https://doi.org/10.1080/01904169509365012>
- Sanz, M., Montañés, L., & Carrera, M. (1994). The possibility of using floral analysis to diagnose the nutritional status of pear trees. *Acta Horticulturae*, 367, 290–295.
- Sosna, I. (2010). EFFECT OF PRUNING TIME ON GROWTH, BLOOMING AND CONTENT OF CHEMICAL CONSTITUENTS IN LEAVES OF FOUR EARLY RIPENING PLUM CULTIVARS. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 18(2), 151–160.
- Sotiropoulos, T., Therios, I., & Voulgarakis, N. (2010). Effect of various foliar sprays on some fruit quality attributes and leaf nutritional status of the peach cultivar “andross.” *Journal of Plant Nutrition*, 33(4), 471–484. <https://doi.org/10.1080/01904160903506225>
- Spencer, P. W., & Titus, J. S. (1972). Biochemical and Enzymatic Changes in Apple Leaf Tissue during Autumnal Senescence. *Plant Physiology*, 49(5). <https://doi.org/10.1104/pp.49.5.746>
- Stepanyan, E. R., Yepremyan, A. L., & Simonyan, S. S. (2021). The Effect of Different Pruning Types on the Growth and Yield Capacity of Plum Varieties Fortune and Vengerka Domestica in Conditions of Armavir Community in Armavir Region. *AgriScience and Technology*. <https://doi.org/10.52276/25792822-2021.4-378>
- Tabuenca, M. C., & Herreros, J. (1996). Influence of the temperature on the time of blossoming in fruit trees. *Anuario de Aula Dei*.
- Tagliavini, M., Scudellari, D., Marangoni, B., Bastianel, A., Franzin, F., & Zamborlini, M. (1992). Leaf mineral composition of apple tree: sampling date and effects of cultivar and rootstock
1. *Journal of Plant Nutrition*, 15(5), 605–619. <https://doi.org/10.1080/01904169209364344>
- Tehrani, G., & Leuty, S. J. (1987). Influence of Rootstock and Pruning on Productivity, Growth, and Fruit Size of European Plum Cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 112(5), 743–747. <https://doi.org/10.21273/jashs.112.5.743>

- Thakur, D., Rehalia, A., ... J. K.-S. D.-A., & 2013, undefined. (2013). Standardization of foliar sampling techniques for macronutrients in sweet cherry (*Prunus avium* L.) cv. stella. *Arccarticles.S3.Amazonaws.Com*, 33(4), 274–278. <https://doi.org/10.5958/j.0976-0547.33.4.024>
- Titus, J. S. (1982). *Some aspects of nitrogen recycling in the apple* (A. Scaife, Vol. 2). [https://www.vgls.vic.gov.au/client/en_AU/vgls/search/detailnonmodal/ent:\\$002f\\$002fSD_ILS\\$002f0\\$002fSD_ILS:70458/ada?qu=Nutrition.&d=ent%3A%2F%2FSD_ILS%2F0%2FSD_ILS%3A70458%7EILS%7E207&ic=true&ps=300&h=8](https://www.vgls.vic.gov.au/client/en_AU/vgls/search/detailnonmodal/ent:$002f$002fSD_ILS$002f0$002fSD_ILS:70458/ada?qu=Nutrition.&d=ent%3A%2F%2FSD_ILS%2F0%2FSD_ILS%3A70458%7EILS%7E207&ic=true&ps=300&h=8)
- Tomita, A., & Shinya, K. (2008). Effects of planting density and bearing-branch composition on the yield of sweet cherry grown by hedge-row training. *Horticultural Research*, 7(1), 97–101. https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:47017371
- Treder, W., & Olszewski, T. (2004). Estimation of the effect of fertilization method on nitrogen content in leaves of apple tree. *ACTA Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 3(2), 111–122.
- USDA. (1999). *Soil Taxonomy. A Basic of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Segunda Edición*, 869.
- Yang, Y., Gong, Y., Zhou, Z., Gao, Y., Jiang, X., Han, Y., Deng, L., Ma, M., Tang, X., Xu, M., Zhang, Y., & Xiong, B. (2021). Effects of different formulations of fertilization on Fruit quality of “Phoenix Plum.” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 792(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/792/1/012028>
- Zydlik Z, & Pacholak E. (2006). THE EFFECT OF CLIMATIC AND SOIL CONDITIONS ON THE MINERAL COMPOSITION IN THE LEAVES OF APPLE TREE CULTIVARS DEPENDING ON THE TERM OF THEIR FRUIT RIPENING KLIMATA UN AUGSNES APSTĀKĒU IETEKME UZ ĀBEĒU LAPU MINERĀLO SASTĀVU ATKARĪBĀ NO ĀBOLU IENĀKŠANĀS LAIKA. *Latvian Journal of Agronomy*, 9.
- Zydlik, Z., Pacholak, E., & Styła, K. (2011). Effect exerted on soil properties by apple-tree cultivation for many years and by replantation. part ii. content of mineral components in soil and leaves. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 10(1).

CAPÍTULO 3.

VIABILIDAD Y MANEJO DE MEDIDAS
RÁPIDAS DE ESTADO NUTRICIONAL
EN DOS CULTIVARES DE CIRUELO
JAPONÉS (*PRUNUS SALICINA* LINDL.)

5.1. Introducción

La fertilización permite poner a disposición de los sistemas agrarios los nutrientes necesarios para que tengan la producción esperada, pero a la vez hay que optimizar el balance económico de las plantaciones, mejorando los ingresos de la explotación y minimizando o eliminando los efectos negativos sobre el medio ambiente. Con estos condicionantes, el cálculo de la fertilización entraña cierta dificultad y requiere de una planificación a corto y medio plazo. Además, las nuevas directrices europeas y nacionales exigen un mayor control de los inputs que se tienen en las explotaciones, solicitando al productor información acerca de las entradas y salidas; como queda reflejado en el cuaderno de campo.

Cualquier información que se le pida al productor es susceptible de sufrir dos hándicaps, por una parte, la falta de control que en muchos casos existe en las explotaciones, bien debido a una falta de interés o de capacidad del productor para controlar exhaustivamente los productos aplicados en forma, materia y cantidad, o bien debido a la falta de control por las actividades cotidianas propias de la actividad. El otro de los hándicaps a los que se enfrentan las administraciones o cualquier organismo que quiera o necesite hacer un balance de nutrientes en un sistema Agro es realizar las mediciones de manera cuantitativa incluyendo las pérdidas del sistema; en muchas ocasiones se producen escorrentías, percolaciones o evaporaciones de materias activas que no son completamente cuantificables y por tanto no se puede completar el balance de una manera adecuada.

A estos problemas en la obtención de los datos, hay que añadir la enorme variabilidad espacial que pueden presentar las parcelas de cultivo, encontrándonos situaciones en la misma explotación con zonas en un estado nutricional excelente y otra deficiente. Si el balance de nutrientes pudiera llevarse a cabo de manera numérica y tuviera una gran precisión, sería sencillo poder hacer un programa de fertilización personalizado para cada situación y maximizando los rendimientos. Para solventar esta situación, en muchas ocasiones se opta por controlar el estado nutricional de las plantas, detectando posibles deficiencias o excesos de nutrientes.

El estudio de una sola hoja, rama o planta no suministra información extrapolable al resto de la plantación, para que sea representativo, se debe incrementar el número de muestras u optar por el empleo de sistemas de evaluación del estado nutricional a nivel de parcela; en ese sentido existen diferentes sensores ópticos que permiten caracterizar el estado nutricional de plantas individuales de una manera rápida en cubierta vegetal y, cuantificar diferentes compuestos fotosintéticos capaces de estimar el estado nutricional de nitrógeno (N) de las plantas por métodos de transmitancia, fluorescencia o reflectancia.

Entre las ventajas del uso de sensores ópticos se encuentra la rapidez de las mediciones, ya que se realiza de forma instantáneamente y posibilita que los resultados estén disponibles desde el momento en que realiza la medida. Algunos sensores ópticos miden áreas muy pequeñas de hojas, mientras que otros miden áreas relativamente grandes a nivel de cubierta de cultivo (F. M. Padilla et al., 2018).

Estos sensores proporcionan unos índices que son indicativos del estado nutricional de las plantas, en ocasiones basados en la concentración de un solo elemento mineral o una combinación de elementos en el cultivo Cartelat et al., (2005); Mistele & Schmidhalter, (2008); Padilla et al., (2014a), indicando la suficiencia del elemento el grado de deficiencia de este (Padilla et al., 2020). En otras ocasiones, los índices se basan en el análisis de compuestos secundarios relacionados con un elemento, como por ejemplo el contenido de clorofilas, que está directamente relacionado con el contenido de N de la hoja (Evans, 1989).

Algunos de los sensores que se emplean actualmente en agricultura se muestran a continuación, no se trata de todos los sensores, aunque si los empleados en el presente trabajo:

Medidor de clorofila: Minolta SPAD-502

El medidor de clorofila SPAD-502 Konica Minolta (Tokyo, Japan), es uno de los medidores de clorofilas comerciales más utilizado en el sector agro (Padilla et al., 2018), es un sensor de transmitancia portátil que estima el contenido de clorofila por área foliar. Este equipo calcula un índice adimensional (de 1 a 99,9) a partir de la densidad óptica diferencial entre las longitudes de onda rojo (650 nm) e infrarrojo (950 nm) detectadas por un fotodiodo situado en el lado opuesto de la hoja respecto a los diodos emisores.

Se ha comprobado que la correlación entre valores medidos por SPAD y clorofila depende de la especie y de la fecha de medida (El-Jendoubi et al., 2011). Además, Rivacoba, (2016) indica que, aunque las medidas de SPAD son rápidas, se ven afectadas por varios factores como hora del día, humedad superficial de la hoja, grosor o posición de la misma.

La concentración de clorofila presente en la hoja está relacionada con la concentración de N en las hojas, especialmente cuando el nitrógeno es deficiente (Richardson et al., 2002). En algunas especies se muestra una correlación baja entre el índice SPAD y la concentración foliar de nitrógeno cuando el cultivo se fertiliza con elevadas concentraciones de N (Debaeke et al., 2006). Esto obliga a realizar un protocolo estricto para su determinación y adaptado a la especie y su manejo (Martínez & Guiamet, 2004).

Numerosas publicaciones demuestran la posibilidad de la aplicación de este equipo portátil para determinar la concentración de clorofilas en diversas especies, tanto hortícolas como leñosas, (Campbell et al., 1990); (Peryea & Kammereck, 1997);(YC. Li et al., 1998); (E. Hurtado et al., 2017). De esta manera encontramos trabajos llevados a cabo en lechuga (León et al., 2007) , algodón (Motomiya et al., 2009) , remolacha (Sexton & Carroll, 2002) , café (Reis et al., 2003) , maíz (S. M. C. Hurtado et al., 2010), tomate (Fontes et al., 2006) y coliflor (Prieto et al., 2014)

Ribeiro et al., (2015) han obtenido, a partir de las lecturas del índice SPAD modelos matemáticos que permiten la predicción del contenido de N en hojas de *Lisianthus*, confiriendo agilidad en el diagnóstico nutricional para definir estrategias de corrección de deficiencias de N. En esta misma línea, Rodrigo et al., (2006) indican que el medidor de clorofila es un indicador del estado nutricional de N en hoja que permite proporcionar una estimación rápida de la concentración de clorofila en hoja que a su vez refleja un “pool” de N orgánico foliar.

Cabe destacar que, aunque el medidor está diseñado para la cuantificación de clorofilas en planta, se han llevado a cabo trabajos de investigación que han encontrado correlaciones del índice SPAD con el contenido de otros elementos. Porro et al., (2000) encontraron una correlación significativa entre los valores de SPAD y el nivel de N, P, K, Ca y Mg en hojas de vid y manzano, Parvizi et al., (2004) mostraron correlaciones significativas entre los valores de SPAD y las concentraciones de N, Mn, Fe, Zn y Cu en trigo bajo condiciones controladas y Prado et al., (2008) han encontrado diferencias en la lectura de SPAD según la aplicación de P.

Medidor de antocianos, flavonoides, clorofilas, índice NBI: Dualex

El equipo portátil Dualex® Scientific ForceA (Orsay, Francia) proporciona una estimación de los índices de clorofilas, flavonoides y antocianos de la epidermis de las hojas, sin necesitar una preparación previa de la muestra. El contenido de clorofilas se estima por medio de la relación de transmitancia en la hoja de dos longitudes de onda en las bandas roja e infrarroja del espectro. El contenido de polifenoles se estima a través de la relación de fluorescencia de la clorofila en el infrarrojo, excitada en la banda roja y ultravioleta del espectro (Goulas & Cerovic, 2004) .

Dualex proporciona un índice Índice de Balance de Nitrógeno (NBI de sus siglas en inglés), definido como la relación entre el contenido de clorofila y flavonoides. Este índice introduce el contenido en flavonoides, que está inversamente relacionado con el contenido de clorofila (F. M. Padilla et al., 2020). EL NBI se describe como un factor de estrés que amplifica las posibles deficiencias nutricionales de la planta, por lo que es un buen indicador para detectar desórdenes nutricionales (Király, 1964), (McClure, 1979) (Chishaki et al., 1997), (Cartelat et al., 2005) (Z. G. Cerovic et al., 2012a) e incluso

detectar estrés hídrico (Estiarte et al., 1994).

La principal ventaja de los medidores de flavonoles es que las mediciones no se ven influenciados por el tipo de suelo (Tremblay et al., 2012). Sin embargo, el área medida es baja, por lo que requiere de un muestreo representativo y adecuado (F. M. Padilla et al., 2018). A diferencia de las mediciones de clorofila, los medidores de flavonoles se pueden utilizar en cualquier momento del día, permitiendo una mayor versatilidad del método (Tremblay et al., 2012). Sin embargo, el contenido de flavonoles cambia de acuerdo con el estado fenológico de la planta (F. Padilla et al., 2016), hecho tener en cuenta cuando se comparan medidas absolutas de medidores de flavonoles durante largos ciclos de cultivo.

Numerosos trabajos indican que el contenido de flavonoides es sensible al estado del N en el cultivo pudiendo relacionarse con la concentración de este elemento; como se ha descrito en brócoli (Tremblay et al., 2009), patata (F. Ben Abdallah et al., 2019), maíz (Dong et al., 2020) y melón (Padilla et al., 2014b). (Tremblay et al., 2012) destacaron que las mediciones de flavonoles y NBI (Cartelat et al., 2005) fueron los dos indicadores más adecuados para la evaluación de la concentración de nitrógeno, aunque hasta el momento no se ha desarrollado este método como herramienta para el manejo de fertilizantes nitrogenados en cultivos (Padilla et al., 2020).

Medidor de reflectancia: Crop Circle ACS470

La reflectancia se define como la fracción de luz incidente específica que una superficie refleja, así los sensores de reflectancia proporcionan información sobre el estado del N en el cultivo por la radiación que reflejan (Hatfield et al., 2008a), (Ollinger, 2011) y (Padilla et al., 2018).

Dependiendo de las longitudes que se midan se pueden obtener distintos índices de vegetación, de todos ellos, los utilizados en este capítulo han sido, el índice NVDI (Normalized Difference Vegetation Index) y el índice GNVDI (Normalized difference vegetation index-Green). El NVDI se emplea para estimar la biomasa verde, el índice de área foliar y la fracción de radiación fotosintéticamente absorbida a partir de los valores de reflectancia de las longitudes de onda del infrarrojo cercano y del rojo. El GNVDI es una variación del índice anterior en la que en vez de utilizar los valores de longitudes de onda del rojo se utilizan los del verde y aunque su utilización es menor en que el NVDI, la banda del verde es sensible a un rango más amplio de concentraciones de clorofilas que la del rojo, por lo que es posible que este índice permita discernir mejores estados de deficiencias en las plantas.

La reflectancia del suelo puede confundir las mediciones de reflectancia de la cubierta vegetal, cuando se mide de forma paralela al suelo. En estos casos hay que

colocar un obturador de vista lateral para minimizar la reflectancia del suelo y para los cálculos se utiliza otro índice denominado SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) que tiene en cuenta la reflectancia del suelo (F. M. Padilla et al., 2018).

$$NVDI = \frac{NIR-red}{NIR+red}$$

$$NVDIG = \frac{NIR-verde}{NIR+verde}$$

$$SAVI = \frac{NIR-red}{NIR+red+L} \times (1 + L)$$

Siendo:

NVDI, Índice de vegetación de diferencia normalizada

NIR, absorbancia a 905 nanómetros

red, absorbancia a 675 nanómetros

verde, absorbancia a 550 nanómetros

SAVI, Índice de ajuste de vegetación

L, factor de corrección comprendido entre 0 y 1 dependiendo del porcentaje de cobertura vegetal.

La validez de los índices estudiados y su uso dependerá de varios factores, tanto humanos (formación del personal, tiempo dedicado al análisis e interpretación de los resultados, como económico y de la explotación (cultivo, manejo, sistemas de formación...). Mientras que Gianquinto et al., (2011, 2019) observaron que el índice de vegetación GNDVI fue uno de los indicadores más sensibles del estado de N del cultivo y el rendimiento para tomate de industria al aire libre, Padilla et al., (2015) destacaron el índice NDVI como el indicador más sensible del estado de N de los cultivos en invernaderos tomate, melón (F. Padilla et al., 2014a) o pepino cultivado en suelo y en hidropónico Padilla et al., (2017), coincidiendo este último con lo encontrado por Yang et al., (2010). Por su parte, El-Shikha et al., (2007) encontraron unos buenos resultados entre el índice NVDI y la cosecha de melón.

El objetivo de este trabajo es evaluar la sensibilidad que tienen los métodos de análisis óptico para detectar el estado nutricional de plantaciones de ciruelo japonés sometidos a diferentes estrategias de fertilización. Otro objetivo planteado es establecer correlaciones entre los aparatos de medida ópticos y las concentraciones de

elementos minerales presentes en el cultivo. Este último objetivo se abordará de una manera conjunta a lo largo del ciclo y mediante momentos fenológicos puntuales.

5.2. Materiales y métodos

5.2.1. Selección de las parcelas y diseño experimental

El ensayo se llevó a cabo en una parcela experimental ubicada en la finca La Orden (38° 51'N, 6° 40'N, elevación 184 m), perteneciente al Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX) y localizada en las Vegas Bajas. La ubicación de las parcelas se puede encontrar en la Figura 3- 1. La especie objeto de estudio fue ciruelo japonés (*Prunus salicina*, Lindl), un cultivar de ciclo corto cv. Red Beaut y otro de ciclo largo cv. Angeleno sobre un patrón Mariana 2624, con polinizadores rodeando ambos cultivares; para el cv. Red Beaut los polinizadores fueron cv. Ambra y cv. Black Diamond y los polinizadores del cv. Angeleno fueron cv. Fortune y cv. Larry Ann. Para asegurar la correcta polinización se colocaron colmenas de abejas en la plantación durante la floración distribuyendo 8 colmenas/ha. La plantación se realizó con orientación Este-Oeste (5° hacia el Norte) en las filas y con un sistema de formación de vaso abierto. Los años de análisis del cultivar Red Beaut fueron 2018 y 2019 y, los del cv. Angeleno los años 2018, 2019, 2021 y 2022. La descripción de la parcela, así como los cultivares empleados y las características del material vegetal, se pueden encontrar en la Tabla 3- 1.



Figura 3- 1. Imagen digital de la parcela experimental de ciruelo japonés, cultivares Red Beaut y Angeleno en La Finca La Orden (CICYTEX). Imagen tomada de la plataforma Auravant.

Tabla 3- 1 Características de la parcela experimental de ciruelo japonés, nomenclatura, cultivares, longitud de ciclo, año de plantación, superficie de la parcela (ha) y marco de plantación (m) en los años de estudio 2018, 2019, 2021 y 2022.

Nomenclatura	Cultivar	Longitud de ciclo	Año plantación	Superficie parcela (ha)	Marco plantación (m)
RB	Red Beaut	Corto	2005	1.00	6x4
A	Angeleno	Largo	2005	1.00	6x4

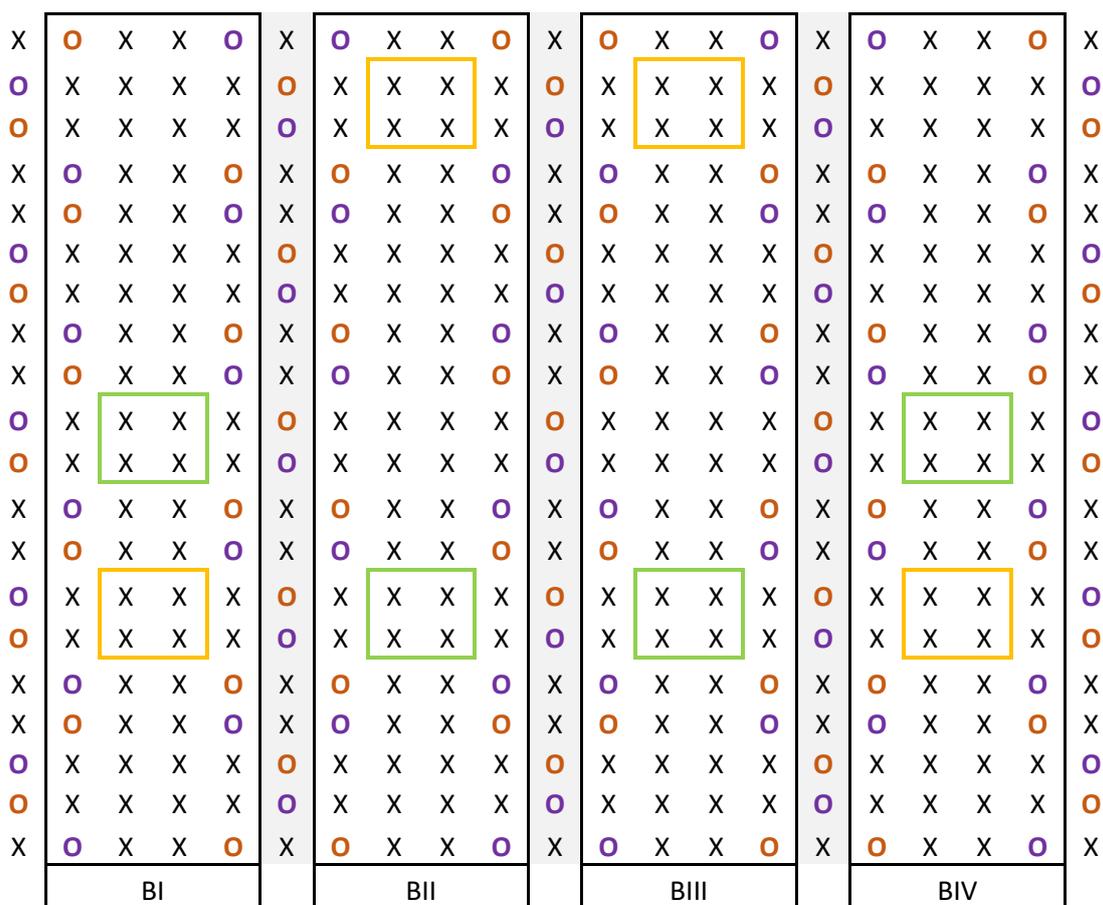


Figura 3- 3. Diseño experimental para el cv. Angeleno. Tratamiento sin fertilizar (cuadro naranja) y tratamiento fertilizado (color verde). Los polinizadores fueron el cv. Fortune (color morado) y el cv. Larry Ann (color marrón).

Tabla 3- 2 Fechas y equipos de lectura en el cv. Red Beaut en los años 2018 y 2019.

Año 2018								
Fecha	30	60	90	120	150	180	210	240
SPAD-502	x	x	x	x		x	x	
Dualex	x	x	x	x		x	x	
Crop Circle	x	x	x	x		x	x	
Año 2019								
Fecha	30	60	90	120	150	180	210	240
SPAD-502	x	x	x	x	x	x	x	x
Dualex		x	x	x	x	x	x	x
Crop Circle	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabla 3- 3 Fechas y equipos de lectura en el cv. Angeleno en los años 2018, 2019, 2021 y 2022.

Año 2018								
Fecha	30	60	90	120	150	180	210	240
SPAD-502	x	x	x	x	x	x	x	x
Dualex	x	x	x	x	x	x	x	x
Crop Circle	x	x	x	x	x	x	x	x
Año 2019								
Fecha	30	60	90	120	150	180	210	240
SPAD-502	x	x	x	x	x	x	x	x
Dualex		x	x	x	x	x	x	x
Crop Circle	x	x	x	x	x	x	x	x
Año 2021								
Fecha	30	60	90	120	150	180	210	240
SPAD-502	x	x	x	x	x	x	x	
Dualex	x	x	x	x	x	x	x	
Crop Circle	x	x	x	x	x	x	x	
Año 2022								
Fecha	30	60	90	120	150	180	210	240
SPAD-502	x	x	x	x	x	x		
Dualex	x	x	x	x	x	x		
Crop Circle	x	x	x	x	x	x		

Medida de la clorofila

La medida de la clorofila (Gitelson et al., 2003) se hizo con el equipo portátil no destructivo SPAD Minolta 502 de Konica Minolta (Tokyo, Japan) sobre la hoja y, mide la transmitancia entre la radiación roja a 650 nm e infrarroja cercana (NIR) a 940 nm (Rincón & Adolfo, 2010) . La radiación roja es absorbida por la clorofila y el NIR es transmitido por la clorofila (Fox & Walthall, 2015a).

Las lecturas de SPAD las hice en hojas distintas de cada uno de los cuatro árboles que integraban cada bloque, 30 lecturas por árbol realizada alrededor de toda la copa del árbol y siempre a la altura de los ojos en el tratamiento fertilizado y sin fertilizar de los cvs. Red Beaut y Angeleno, un total de 240 lecturas. La hora de las lecturas las hice en una franja horaria comprendida entre las 10:00 y 12:00 horas. La hora de la lectura influye sobre la medida, las lecturas por la mañana se presentan más estables mientras que se encuentra una mayor variación en las lecturas hechas por la tarde, esto se debe a la mayor incidencia de los rayos solares en la superficie de la hoja (Vasconcelos et al., 2014). Otros autores indican que las variaciones no deben atribuirse únicamente al horario de lectura, sino que otros factores están involucrados como el contenido de agua en la hoja, la temperatura (Martínez & Guiamet, 2004), que según (Breeuwer et

al., 2008) durante el día a medida que aumenta la temperatura, también incrementa la concentración del nitrógeno foliar, porque se ve favorecido por la mineralización del N en el suelo. La fecha de medida fue determinada por el momento de plena floración y, a partir de esta fecha se midieron en los momentos detallados en la *Tabla 3- 2* para el cv. Red Beaut y en la *Tabla 3- 3* para el cv. Angeleno. Para las lecturas se tuvo en cuenta que la hoja debía estar situada en el tercio medio de los brotes del año (

Figura 3- 4), porque los valores más bajos de clorofila se encuentran en el tercio inferior y superior de la planta. (Rincón & Adolfo, 2010). Además, las hojas no podían estar enfermas, ni deterioradas. En un trabajo llevado a cabo en maíz Rincón & Adolfo, (2010) hicieron lecturas en la base, mitad y parte superior de la hoja, y la uniformidad de los resultados permitió concluir que las evaluaciones pueden realizarse en cualquier parte de la hoja, siempre que sea en el tercio medio de la planta. Una vez realizadas las medidas, se descargaron y se procedió a procesarlas.



Figura 3- 4 Lectura del índice SPAD sobre hojas de ciruelo japonés.

Medida del índice de clorofilas, antocianos y flavonoides

La lectura del índice de clorofilas, antocianos y flavonoides se hizo con el equipo portátil no destructivo Dualex® Scientific Force A (Orsay, France) (Figura 3- 5). El índice de clorofilas se mide por la transmitancia entre el rojo, a 710 nm y el infrarrojo, a 850 nm y; el índice de flavonoides por la fluorescencia entre el UV-A a 375 nm y el rojo a 650 nm, que aumenta en condiciones de deficiencia de nitrógeno. Este equipo calcula un índice de balance de nitrógeno (NBI) que relaciona el contenido de clorofilas y el de flavonoides.

Siguiendo la misma metodología de muestreo que para las lecturas de SPAD, con Dualex® Scientific Force A, realicé 30 lecturas por árbol en 30 hojas distintas, 120 medidas por tratamiento, lo que supone un total de 240 lecturas en cada momento de muestreo, siempre alrededor de toda la copa del árbol, hojas sanas y situadas en el tercio medio de los brotes del año. Las fechas de muestreo están descritas en la tabla 3 y tabla 4 para los cvs. Red Beaut y Angeleno respectivamente y se midieron en el mismo muestreo que para el índice SPAD. La hora de las lecturas las hice en una franja horaria comprendida entre las 10:00 y 12:00 horas al igual que las medidas del índice SPAD, aunque los medidores de flavonoides se pueden medir en cualquier momento del día (Tremblay et al., 2012). Si que se ha observado que las lecturas cambian entre las estaciones del año (F. Padilla et al., 2016) y esto es relevante cuando se comparan medidas absolutas de medidores de flavonoides a lo largo de ciclos largos de cultivo. Otra de las ventajas de los medidores de flavonoides basados en fluorescencia es que la medición se basa en la clorofila y el suelo no interfiere con la señal de fluorescencia que recibe el sensor (Tremblay et al., 2012).



Figura 3- 5. Lectura con Dualex® Scientific Force A sobre hojas de ciruelo japonés.

Medida de la reflectancia

La medida de la reflectancia se hizo con el equipo y modelo Crop Circle ACS-470 Holland Scientific (Lincoln, NE, USA) (*Figura 3- 6*) que permite configurar una selección de seis bandas de onda que cubren el azul (450 nm), verde (550 nm), regiones espectrales rojas (650nm, 670 nm), de borde rojo (730 nm) y del infrarrojo cercano (>760 nm) (Cao et al., 2013). En este trabajo se configuró el sensor de cubierta para que midiera la reflectancia en el verde a 550 nm, en el rojo a 670nm y en el infrarrojo a 760 nm para el cálculo de los índices NDVI (Sellers, 1985)(Normalized Difference Vegetation Index) y NDVIG (Ma et al., 1996) (Normalized Difference Vegetation Index-Green). El NDVI es la diferencia normalizada de las bandas del rojo y NIR y, el NDVIG es la diferencia de las bandas del verde y NIR y que, al estar ambos índices normalizados, sus valores quedan comprendidos entre -1 y +1 (Gilbert et al., 1997) (

Ecuación 3- 1) Existen muchos trabajos de los índices de vegetación basados en las bandas del rojo, pero también otros trabajos han informado de la importancia de las medidas basada en las bandas verdes para estimar el estado de clorofila y contenido de nitrógeno en las plantas (Gitelson et al., 1996). Las mediciones de reflectancia son uno de los métodos más prometedores para monitorear el estado de nitrógeno en los cultivos, siendo una de sus principales ventajas frente a las que miden de forma individual, que integran las medidas de un área mucho mayor (Goffart et al., 2008) pero que pueden estar influidas por las condiciones abióticas y bióticas como el estado hídrico, la radiación lumínica, las enfermedades y las plagas en cultivos al aire libre (Schepers et al., 1990; El-Shikha et al., 2007).

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red}$$

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index

*NIR: Radiación Infrarrojo cercano

*Red: Radiación banda roja

$$NDVIG = \frac{NIR-Green}{NIR+Green}$$

NDVIG: Normalized Difference Vegetation Index-

*NIR: Radiación Infrarrojo

*Green: Radiación banda



Figura 3- 6. Lectura con Crop Circle ACS 470 sobre hojas de ciruelo japonés.

5.2.2. Análisis estadístico

Para la interpretación de los resultados he realizado diferentes análisis estadísticos se realizó un test de muestras independientes (T Student) con un intervalo de confianza al 95 % con el programa estadístico IBM Statistics 22 para analizar:

- El efecto de los tratamientos, con fertilización y sin fertilización sobre la evolución del índice SPAD, índice de clorofila, índice de flavonoides, índice de antocianos, índice NBI, índice NDVI e índice NDVIg en hojas medidas en hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en el año 2018, cv. Red Beaut.
- El efecto de los tratamientos, con fertilización y sin fertilización sobre la evolución del índice SPAD, índice NDVI e índice NDVIg en hojas medidas desde hojas 30 ddpf hasta hojas 240 ddpf y; índice de flavonoides, índice de antocianos e índice NBI desde hojas 60 ddpf hasta hojas 240 ddpf en el año 2019, cv. Red Beaut.
- El efecto de los tratamientos, con fertilización y sin fertilización sobre la evolución del índice SPAD, índice de clorofila, índice de flavonoides, índice de antocianos, índice NBI, índice NDVI e índice NDVIg en hojas medidas desde hojas 30 ddpf hasta hojas 240 ddpf en el año 2018, cv. Angeleno.
- El efecto de los tratamientos, con fertilización y sin fertilización sobre la evolución del índice SPAD, índice NDVI e índice NDVIg en hojas medidas desde hojas 30 ddpf hasta hojas 240 ddpf y; índice de flavonoides, índice de antocianos

e índice NBI desde hojas 60 ddpf hasta hojas 240 ddpf en el año 2019, cv. Angeleno.

- El efecto de los tratamientos, con fertilización y sin fertilización sobre la evolución del índice SPAD, índice de clorofila, índice de flavonoides, índice de antocianos, índice NBI, índice NDVI e índice NDVIG en hojas medidas desde hojas 30 ddpf hasta hojas 210 ddpf en el año 2021, cv. Angeleno.
- El efecto de los tratamientos, con fertilización y sin fertilización sobre la evolución del índice SPAD, índice de clorofila, índice de flavonoides, índice de antocianos, índice NBI, índice NDVI e índice NDVIG en hojas medidas desde hojas 30 ddpf hasta hojas 180 ddpf en el año 2022, cv. Angeleno.
- El efecto del momento de muestreo, con fertilización y sin fertilización sobre la evolución del índice SPAD, índice de clorofila, índice de flavonoides, índice de antocianos, índice NBI, índice NDVI e índice NDVIG en hojas medidas en hojas 30, 60, 90, 120, 180 y 210 ddpf en el año 2018, cv. Red Beaut.
- El efecto del momento de muestreo, con fertilización y sin fertilización sobre la evolución del índice SPAD, índice NDVI e índice NDVIG en hojas medidas desde hojas 30 ddpf hasta hojas 240 ddpf y; índice de flavonoides, índice de antocianos e índice NBI desde hojas 60 ddpf hasta hojas 240 ddpf en el año 2019, cv. Red Beaut.
- El efecto del momento de muestreo, con fertilización y sin fertilización sobre la evolución del índice SPAD, índice de clorofila, índice de flavonoides, índice de antocianos, índice NBI, índice NDVI e índice NDVIG en hojas medidas desde hojas 30 ddpf hasta hojas 240 ddpf en el año 2018, cv. Angeleno.
- El efecto del momento de muestreo con fertilización y sin fertilización sobre la evolución del índice SPAD, índice NDVI e índice NDVIG en hojas medidas desde hojas 30 ddpf hasta hojas 240 ddpf y; índice de flavonoides, índice de antocianos e índice NBI desde hojas 60 ddpf hasta hojas 240 ddpf en el año 2019, cv. Angeleno.
- El efecto del momento de muestreo, con fertilización y sin fertilización sobre la evolución del índice SPAD, índice de clorofila, índice de flavonoides, índice de antocianos, índice NBI, índice NDVI e índice NDVIG en hojas medidas desde hojas 30 ddpf hasta hojas 210 ddpf en el año 2021, cv. Angeleno.
- El efecto del momento de muestreo con fertilización y sin fertilización sobre la evolución del índice SPAD, índice de clorofila, índice de flavonoides, índice de antocianos, índice NBI, índice NDVI e índice NDVIG en hojas medidas desde hojas 30 ddpf hasta hojas 180 ddpf en el año 2022, cv. Angeleno.

Para determinar si es posible la utilización de las lecturas de los sensores ópticos como diagnóstico precoz en la estimación del contenido de nutrientes, se realizó mediante una correlación de Pearson y su posterior análisis de regresión lineal con su

ecuación, en caso de tener una buena correlación de Pearson.

5.3. Resultados y discusión

5.3.1. Evolución de nutrientes en el cv. Red Beaut (ciclo corto) y cv. Angeleno (ciclo largo) bajo dos estrategias de fertilización

La evolución en la concentración de los diferentes nutrientes se ha estudiado de manera detallada en el capítulo 2. La Figura 3- 7 y Figura 3- 8 muestran que los tratamientos no afectaron a las dinámicas de movimiento de los nutrientes en hojas en ninguno de los dos cultivares estudiados. La aplicación de fertilización supuso en general, un aumento en el contenido de N y K, destacando también en el contenido en Mn en 2018. En el resto de los nutrientes, la fertilización no aumentó su contenido de manera significativa. Los métodos de análisis bioquímico tuvieron la sensibilidad suficiente para detectar diferencias significativas a lo largo de todo el ciclo vegetativo de los árboles.

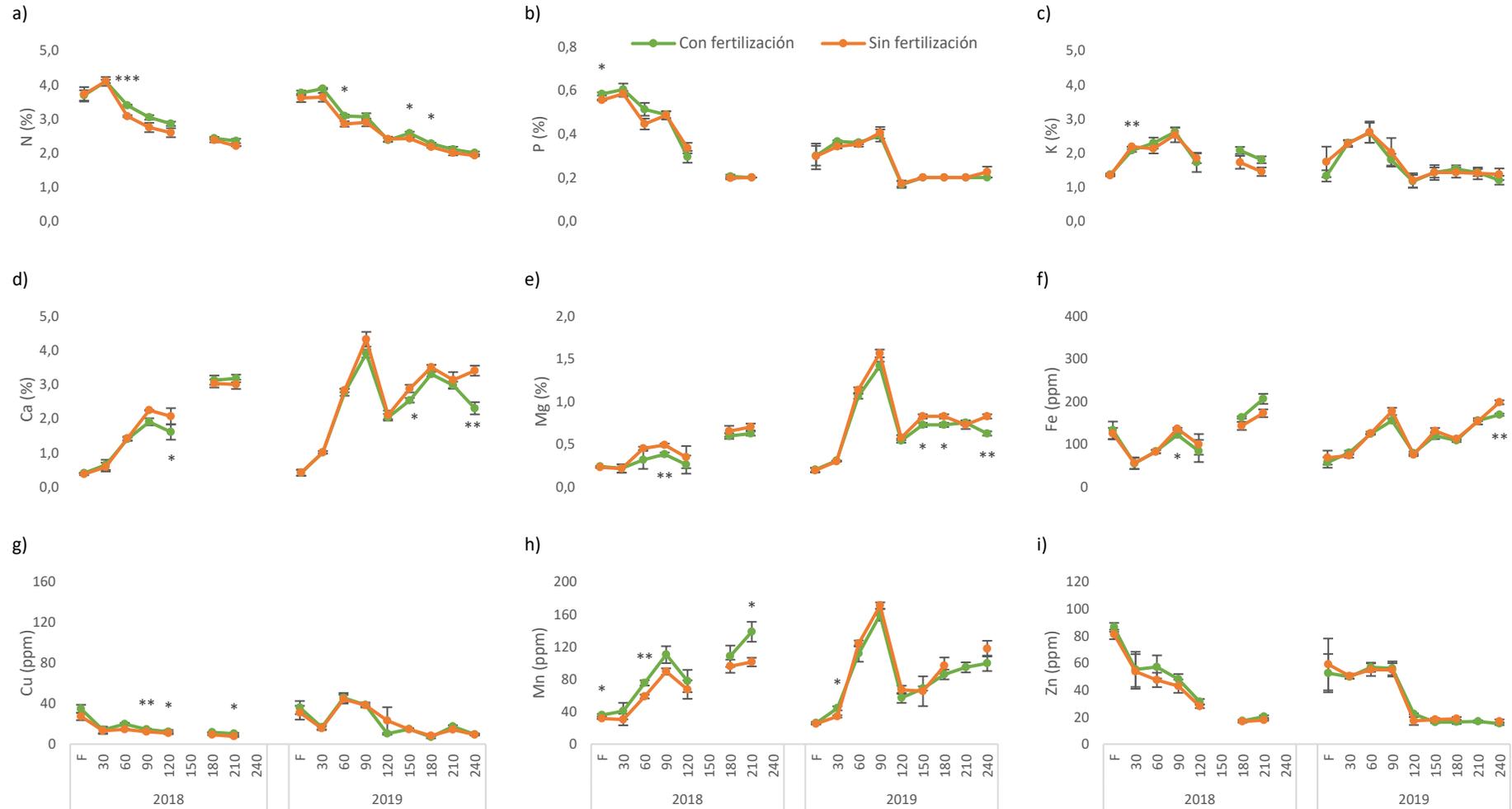


Figura 3- 7 Concentración de macro y micronutrientes en flores y hoja para el cultivar Red Beaut en los años 2018 y 2019. Las barras verticales representan el error estándar de la media. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

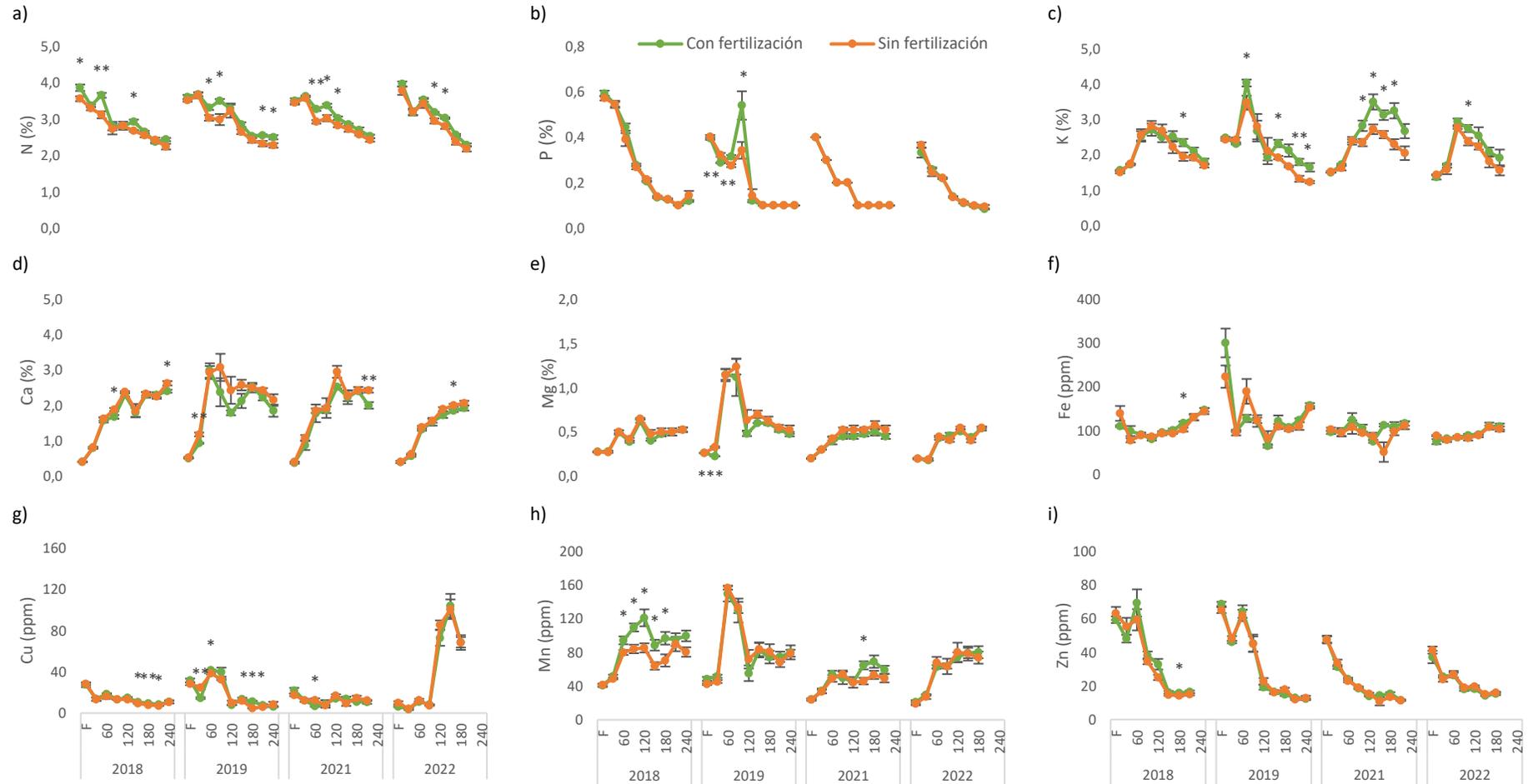


Figura 3- 8 Concentración de macro y micronutrientes en flores y hoja para el cultivar Angeleno en los años 2018, 2019, 2021 y 2022. Las barras verticales representan el error estándar de la media. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

5.3.2. Evolución de nutrientes en el cv. Red Beaut sometidos a dos estrategias de fertilización y medidos con sensores ópticos.

5.3.2.1. Índice SPAD en red Beaut

En la Figura 3- 9 se muestra la evolución del índice de SPAD en el cv. Red Beaut bajo dos estrategias de fertilización. Se observó que al inicio y al final del desarrollo del cultivo, los valores del índice SPAD en los dos tratamientos fueron similares, comenzando a observarse diferencias entre tratamientos a los 60 ddpf aunque sólo mostraron diferencias significativas en el año 2019. A lo largo del desarrollo del cultivo, la medida fue ascendente en los dos años, desde los 30 ddpf hasta los 120 ddpf en el año 2018 y hasta los 150 ddpf en 2019. A partir de los 150 ddpf y hasta los 210 ddpf en el año 2019, el valor del índice SPAD se estabilizó para posteriormente disminuir a los 240 ddpf. Los dos tratamientos mostraron una tendencia similar con valores ligeramente más altos en el tratamiento con fertilización. Entre los años se apreciaron valores más bajos de este índice en 2018 que en 2019, y a pesar de que los datos e inicio en el año 2019 son mayores, ambos años y en ambos tratamientos se finaliza con valores similares.

El índice SPAD se suele asociar con la concentración de nitrógeno en planta, la evolución de este nutriente y los valores del sensor no siguen la misma tendencia a lo largo de todo el ciclo, aunque si al inicio del mismo, donde la tendencia es a incrementar la concentración del mismo para ambos tratamientos y años. Con independencia de la dosis de N aportada, la mayor movilización de reservas se produce desde el inicio de la actividad vegetativa (floración) hasta cuajado (Martínez-Alcántara et al., 2011). En un trabajo sobre distintas dosis de abonado nitrogenado en cítricos, Martínez-Alcántara et al., (2011) encontraron que con un menor aporte de fertilización nitrogenada, se incrementa en un 14% las cantidades de N exportadas por los órganos de reservas, es necesario por tanto una mayor tasa de exportación para cubrir las necesidades de los órganos en desarrollo. Además, se observó que la recogida de hojas aunque se hizo en la misma fecha de muestreo, el cultivo no tenía el mismo desarrollo vegetativo.

El análisis bioquímico del nitrógeno muestra una tendencia a reducir la concentración del mismo a partir de los 30 ddpf en ambos años, mientras que el índice SPAD reduce sus valores al final del ciclo, a los 210 ddpf en 2018 y 240 ddpf en 2019, esto indica que las medidas de este sensor proporcionan más información que la concentración de nitrógeno.

En la Tabla 3- 4 se muestra el análisis estadístico de las medidas del índice SPAD entre momentos de muestreo para cada tratamiento del cv. Red Beaut durante los años 2018 y 2019. Los resultados en el año 2018 indican que en el tratamiento fertilizado no hubo diferencias significativas entre hojas 60-90 ddpf, mientras que en el tratamiento sin fertilizar no se

mostraron hasta los 180-210 ddpf. En el año 2019, a partir de las medidas realizadas en hojas 150 ddpf en el tratamiento fertilizado y a partir de hojas 120 ddpf en el tratamiento sin fertilizar no hubo diferencias significativas en las medidas del índice SPAD.

De acuerdo con los resultados, las medidas del índice SPAD en el cultivar Red Beaut podrían utilizarse a los 60-90 ddpf como una herramienta para conocer el estado nutricional del cultivo. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Markwell et al., (1995) que concluyeron que el SPAD-502 puede utilizarse para mejorar el manejo del N en los cultivos y que como se trata de una herramienta no destructiva, facilita los estudios sobre la fotosíntesis y fisiología de las plantas. En nuestro caso, al tratarse de un cultivar de ciclo corto, cuya fecha de recolección está en torno a los 90 ddpf, no se considera una buena medida para el diagnóstico nutricional encaminada a mejorar la productividad, los frutos se van a recoger en esa fecha o están a punto de recogerse y no tendría sentido aplicar el abonado de corrección como mejora del rendimiento, aunque se podría aplicar para mejorar el estado nutricional y por tanto la producción del año siguiente.

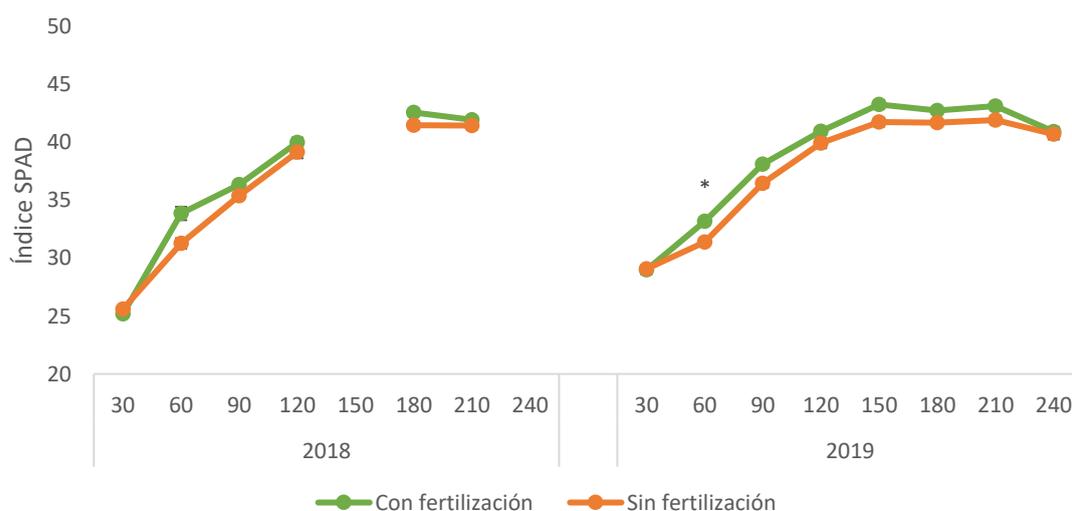


Figura 3- 9 Evolución del índice de SPAD en hojas de ciruelo japonés, cv. Red Beaut, en 2018 y 2019. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

5.3.2.2. Índice de clorofilas, antocianos, flavonoides y NBI en Red Beaut

En la Figura 3- 10 se muestra la evolución del índice de **clorofilas** en las fechas de muestreo realizadas en el cv Red Beaut. Se observa que los valores iniciales en ambos años no coinciden, teniendo una lectura más elevada a los 60 ddpf y 90 ddpf en el año 2019 que la del año 2018, con diferencias significativas entre tratamientos a los 90 ddpf en el año 2019 y, un periodo de estabilización a partir de los 90 ddpf hasta los 180 ddpf en el año 2018 y de los 120 ddpf hasta los 210 ddpf en 2019.

La lectura de clorofilas a los 60 ddpf fue más elevada en el año 2019 que en 2018 en ambos tratamientos, pero a diferencia del índice de clorofilas con SPAD Minolta 502, las lecturas posteriores del índice de clorofilas fueron próximas a las del año 2018 y no incrementaron como las vistas en el índice SPAD. El tratamiento sin fertilizar en el año 2018 a finales de ciclo presentó un índice de clorofilas más elevado que el tratamiento fertilizado.

En la Tabla 3- 4 se indica el análisis estadístico de las medidas del índice de clorofilas, y se observó que, a partir de las medidas realizadas en hojas 90-120 ddpf, es posible la utilización de este índice para diagnóstico nutricional, pero para un cultivar de ciclo corto como es el cv. Red Beaut, cuya fecha de recolección es a los 90 ddpf, no resultaría efectiva la medida, pues ya estaría recogida la producción o a punto de ser recogida.

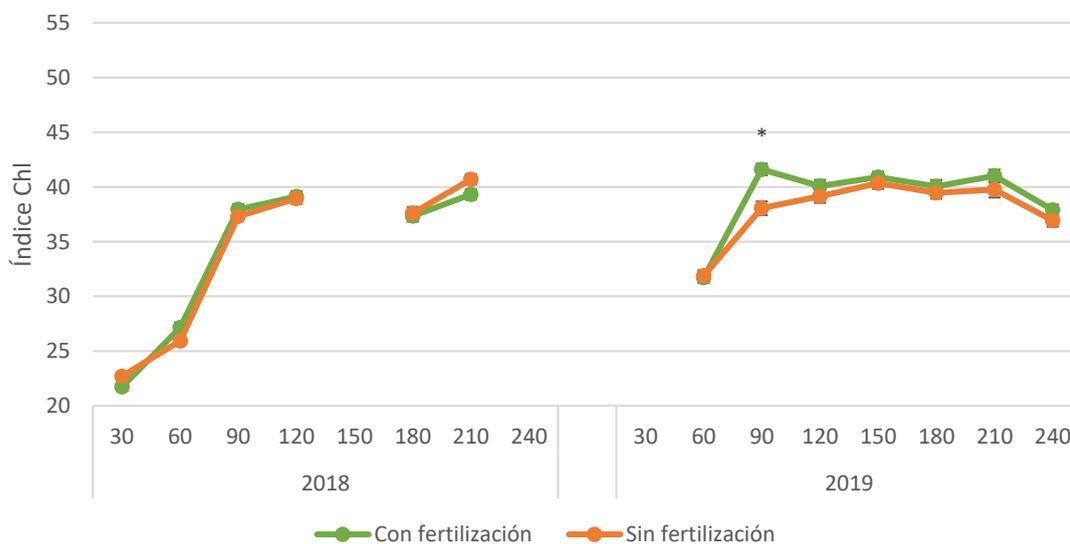


Figura 3- 10 Evolución del índice de clorofilas medido con el Dualex® Scientific Force A en hojas de ciruelo japonés, cv. Red Beaut, en 2018 y 2019. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

La evolución del **índice de flavonoides** (Tabla 3- 11) en el cv Red Beaut, al igual que el de clorofilas, fue distinto entre años siendo el índice más estable entre los momentos de muestreo en el año 2019. Desde los 60 ddpf las lecturas de este índice fueron superiores en el tratamiento sin fertilizar. En el año 2018 se observó en el tratamiento fertilizado desde hojas 30 ddpf una disminución de los valores hasta hojas 120 ddpf, mientras que al finalizar el ciclo de cultivo se incrementó. La evolución del índice de flavonoides en el tratamiento sin fertilizar en el año 2018 fue distinta a la del tratamiento fertilizado, hasta hojas 90 ddpf aumentó y con diferencias significativas en esta fecha de muestreo, a los 120 ddpf desciende y se incrementó al igual que el tratamiento fertilizado hasta los 240 ddpf. En el año 2019 la evolución de este índice en los dos tratamientos fue similar, se observó un incremento hasta los 90 ddpf para después mantenerse con un valor constante a lo largo del desarrollo del ciclo de cultivo. Los flavonoides son unos metabolitos secundarios y su síntesis está altamente correlacionada con la luz debido a su función como pigmento fotoprotector de los rayos UV (Landry et al., 1997) y también con la deficiencia de nitrógeno (Z. G. Cerovic et al., 2012b), los resultados obtenidos en la evolución de este índice corroboran los trabajos realizados por los autores citados anteriormente, el tratamiento sin fertilización nitrogeada presentó mayor lectura del índice que el tratamiento no fertilizado, activándose el mecanismo de defensa por ser deficiente en nitrógeno.

El análisis estadístico de las medidas del índice de flavonoides (Tabla 3- 4) muestra que, es un buen indicador del estado nutricional en todos los momentos de muestreo que se han comparado. Por tanto es posible el diagnóstico nutricional desde épocas tempranas y permitirá la posible intervención con tiempo antes de recolección.

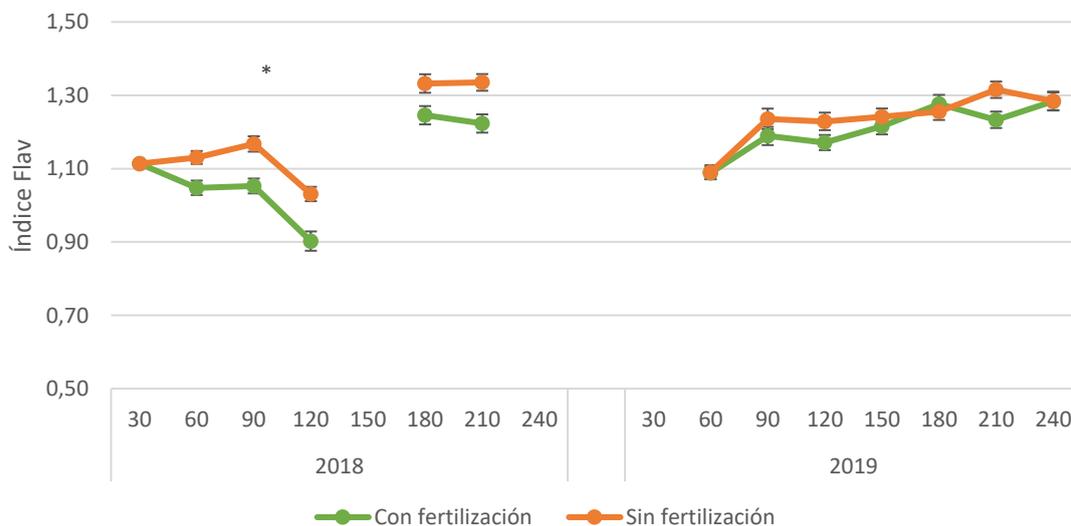


Figura 3- 11 Evolución del índice de flavonoides medido con el Dualex® Scientific Force A en hojas de ciruelo japonés, cv. Red Beaut en 2018 y 2019. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

La evolución en los valores del **índice de antocianos** (Figura 3- 12) en Red Beaut no mostraron diferencias entre tratamientos en el año 2018, y aunque en el año 2019 se observó ligeras diferencias en las medidas a lo largo del ciclo de cultivo, no hubo diferencias significativas. La pauta de la evolución desde los 30 hasta los 90 ddpf fue decreciente en ambos años, aunque en el año 2018 los valores del índice de flavonoides fueron más bajos que en 2019, a partir de esta fecha de muestreo se produjo una estabilización del índice hasta los 150 ddpf y, después un incremento de la lectura hasta final de muestreo. Las lecturas de este índice en el año 2019 fueron más elevadas que las de 2018. Los antocianos al igual que los flavonoides, tienen un papel fotoprotector en las hojas cuando están sometidas a un estrés producido por cambios ambientales que conllevan un incremento de la radiación ultravioleta o por una deficiencia de N en la planta (Steyn et al., 2002), es por ello que el tratamiento sin fertilizar presente un índice de antocianinas más elevado que el fertilizado. El tratamiento fertilizado también incrementó los valores del índice a partir de los 150 ddpf, coincidiendo con los meses estivales del año, caracterizados con un alta radiación lumínica y altas temperaturas.

El análisis estadístico entre puntos de muestreo consecutivos del índice de antocianos (Tabla 3- 4) al igual que paso con el índice de clorofilas, reveló que no es posible utilizarlo antes de la recolección ya que las medidas fueron estables a partir de hojas 90-120 ddpf.

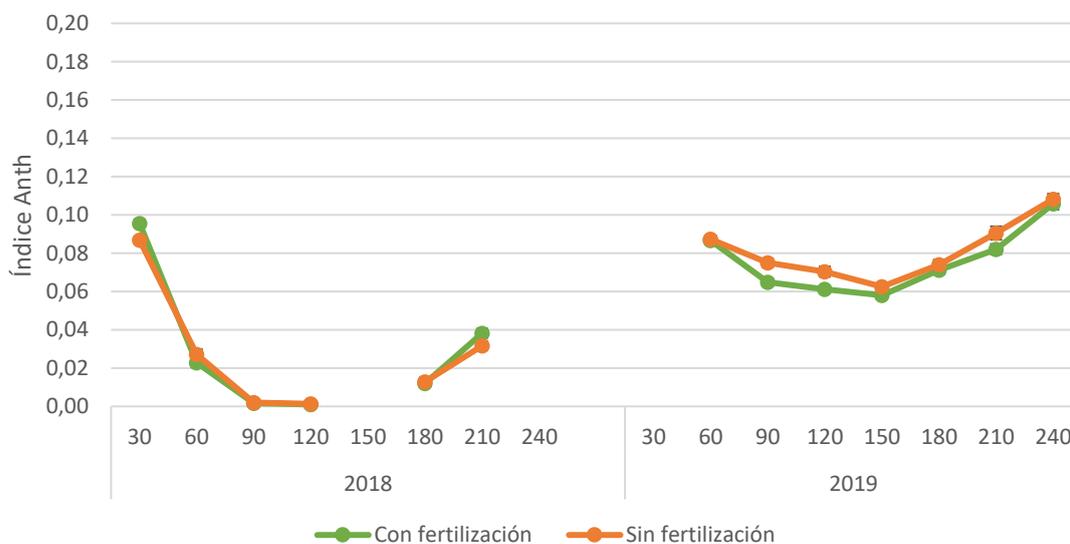


Figura 3- 12 Evolución del índice de antocianos medido con el Dualex® Scientific Force A en hojas de ciruelo japonés, cv. Red Beaut en 2018 y 2019. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

La evolución de los valores del **índice NBI** (Figura 3- 13) en el cv Red Beaut fue distinta entre años, en el año 2018 este índice permitió establecer diferencias en las lecturas entre tratamientos y con diferencias significativas en hojas 60 ddpf y 90 ddpf por el contrario, en el año 2019 los valores de este índice fueron similares y solo se diferenció entre tratamientos a los 90 ddpf y 210 ddpf pero sin diferencias significativas entre ellos. Otra de las diferencias encontradas al igual que en los índices anteriores es que el año 2019 presentó una evolución con valores similares en ambos tratamientos, mientras que en el año 2018 desde 30 ddpf incrementó hasta hojas 120 ddpf y disminuyó hasta hojas 210 ddpf. El valor del índice NBI presentó valores más elevados al inicio de cultivo en el año 2019 tanto en el tratamiento fertilizado como en el sin fertilizar, que posteriormente se estabilizan a lo largo del desarrollo de cultivo. El índice NBI, es el índice de balance de nitrógeno y, representa la relación carbono y nitrógeno dentro de la planta debida a una deficiencia de N que una medida del contenido de nitrógeno foliar (Cartelat et al., 2005). En nuestro trabajo este índice ha permitido establecer diferencias entre tratamientos como a lo largo de todo el ciclo de cultivo, este resultado coinciden con los propuestos por otros autores como Ramos et al., (2014; Rivacoba et al., 2014).

El análisis estadístico de las medidas del índice NBI (Tabla 3- 4) pone de manifiesto que las medidas entre distintas fechas de muestreo no se estabilizan hasta hojas 180-210 ddpf, por lo que no resulta útil este índice en el diagnóstico del estado nutricional en precosecha.

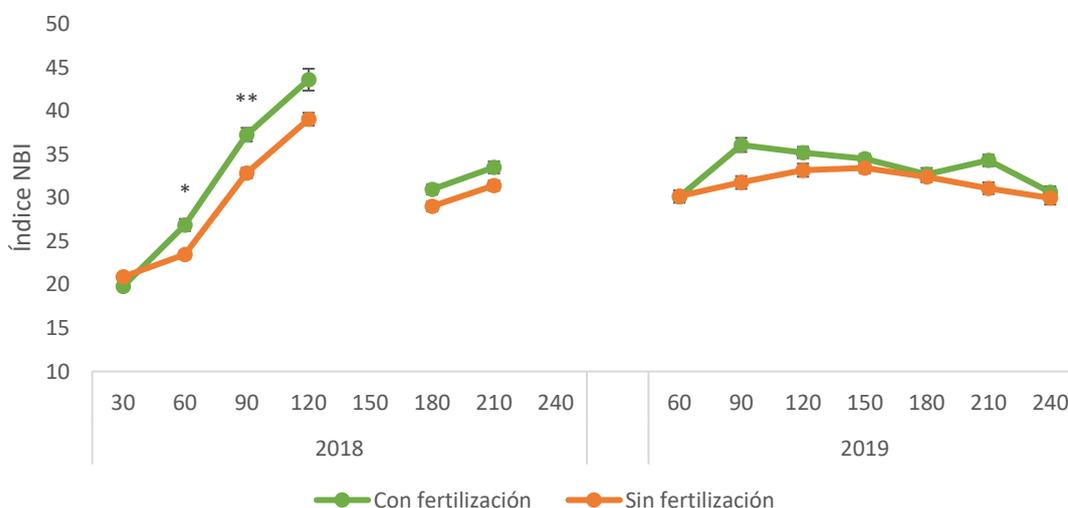


Figura 3- 13. Evolución del índice de NBI medido con el Dualex® Scientific Force A en hojas de ciruelo japonés, cv. Red Beaut en 2018 y 2019. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

5.3.2.3. Índice NVDI y NVDIG en Red Beaut

En la Figura 3- 14 se muestra la evolución del índice NVDI en momentos de muestreo del cv. Red Beaut. La evolución en ambos años fue decreciente a partir de los 60 ddpf. Al inicio del cultivo, a los 30 ddpf, ambos tratamientos tuvieron el mismo índice NDVI y, a medida que transcurre el desarrollo vegetativo se van diferenciando los tratamientos, con un mayor índice NDVI en el tratamiento fertilizado hasta los 120 ddpf en el año 2018 y hasta los 150 ddpf en el año 2019. En estas fechas de muestreo el valor de los índices se igualó y, a partir de ese momento, el tratamiento sin fertilizar presentó valores más elevados de NDVI que el tratamiento fertilizado. Después de recolección, el valor del NDVI no fue el esperado, en este sentido Gianquinto et al., (2011) coincide con los resultados publicados por Clay et al., (2006) en que se producen variaciones entre años de medida, confirmando que hay muchos factores ambientales que juegan un papel crucial en la variabilidad de las medidas, como la intensidad de luz influenciado por el grado de nubosidad, ángulo de visión desde donde se visualiza, efectos de enfermedades y trastornos nutricionales no relacionados con el estado del nitrógeno (Gérard et al., 1997; Jia et al., 2004). En el año 2018 se mostraron diferencias significativas a los 90 ddpf mientras que en el año 2019 a los 120 ddpf y se caracterizó por presentar un incremento en el tratamiento fertilizado y una disminución en el tratamiento sin fertilizar. Entre años, el índice NDVI fue distinto con un mayor valor a lo largo del ciclo de cultivo en el año 2018 en ambos tratamientos.

Cuando se analizó estadísticamente el índice NDVI entre momentos de muestreo (Tabla 3- 4) se observó que el muestreo entre hojas 60-90 ddpf no presentó diferencias entre las medidas en el tratamiento fertilizado y sin fertilizar en los dos años analizados.

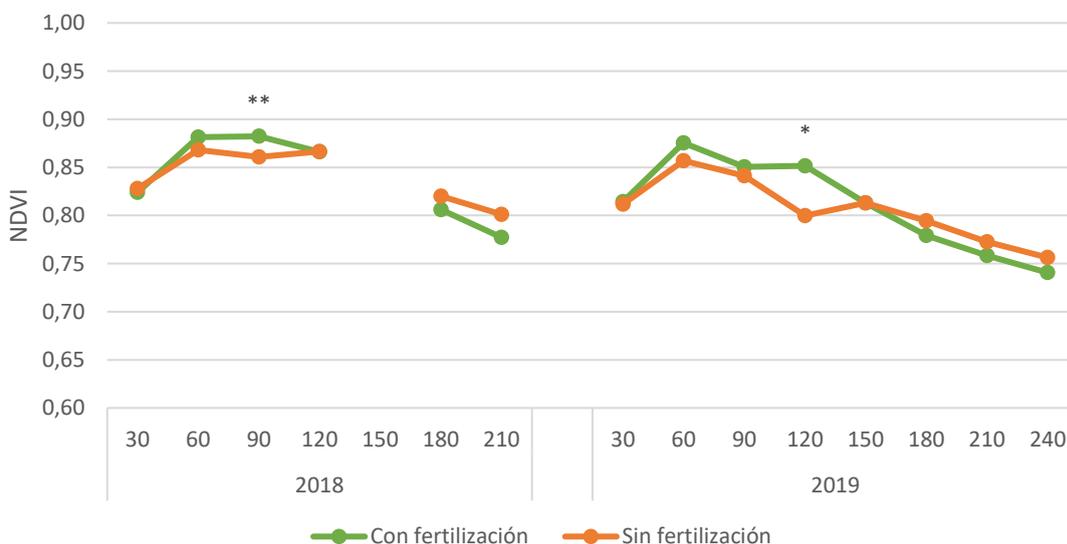


Figura 3- 14 Evolución del índice de NVDI medido en hojas de ciruelo japonés, cv. Red Beaut en 2018 y 2019. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

Cuando se representó la evolución del **índice NDVIG** del cv. Red Beaut en momentos de muestreo (Figura 3- 15), se observa que al igual que para el índice NDVI al inicio del cultivo ambos tratamientos tuvieron el mismo índice con un aumento hasta los 30 ddpf. Pero a diferencia del índice NDVI, el índice NDVIG en el año 2018 continuó aumentando hasta los 120 ddpf, mientras que en el año 2019 se produjo una estabilización del valor desde los 30 ddpf hasta 120 ddpf. A partir de los 120 ddpf en ambos años el índice NDVIG sigue una evolución decreciente. Aunque al inicio del cultivo, 30 ddpf, el tratamiento fertilizado y el tratamiento sin fertilizar en el año 2018 presentaron un índice NDVIG más elevado que en 2019, a los 60 ddpf, el índice fue mayor en el año 2019. El índice NDVIG mostró menos sensibilidad que el índice NDVI en distinguir diferencias entre tratamientos, estos resultados también fueron publicados por Padilla et al., (2015).

La estabilización del valor del índice NDVIG fue distinta según el año de muestreo y tratamiento (Tabla 3- 4). De forma general el muestreo de hojas 60-90 ddpf podría considerarse como un periodo de estabilización de este índice.

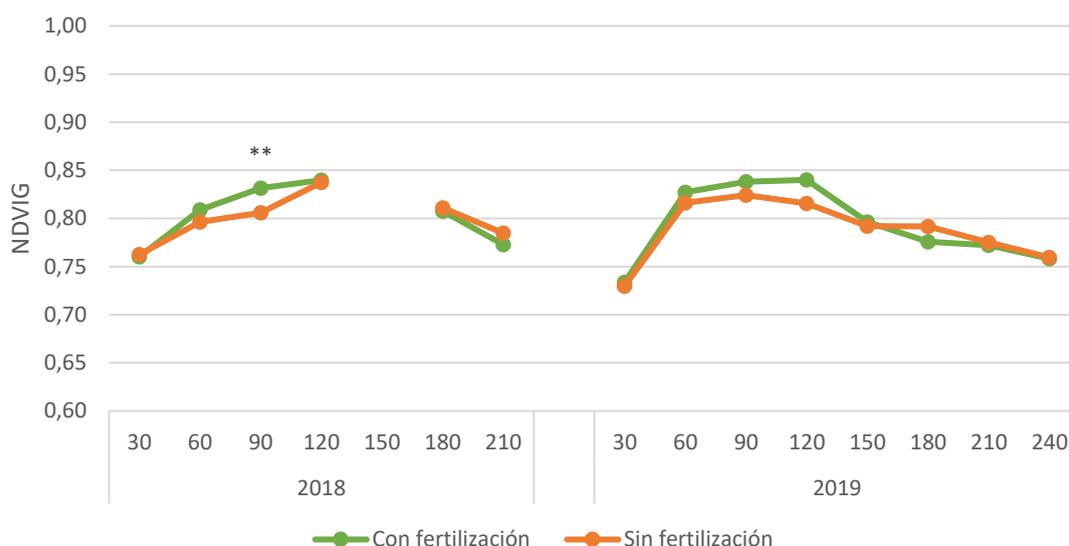


Figura 3- 15. Evolución del índice de NDVIG medido en hojas de ciruelo japonés, cv. Red Beaut, en 2018 y 2019. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

Tabla 3- 4 Análisis estadístico de los índices empleados entre puntos de medida consecutivos en el cv. Red Beaut durante los años de estudio. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

Año	Con fertilización							Sin fertilización						
	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180	180-210	210-240	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180	180-210	210-240
Índice SPAD														
2018	***	n.s.	*			n.s.		***	**	**				n.s.
2019	**	**	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	**	**	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Índice de Clorofilas														
2018	**	***	n.s.			n.s.		*	**	n.s.				*
2019		***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*		**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Índice de flavonoles														
2018	n.s.	n.s.	*			n.s.		n.s.	n.s.	n.s.				n.s.
2019		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Índice de antocianos														
2018	***	**	n.s.			***		***	***	n.s.				**
2019		**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**		*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Índice NBI														
2018	**	****	**			n.s.		*	***	*				**
2019														
Índice NVDIG														
2018	***	***	n.s.			***		**	n.s.	**				**
2019	***	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	*	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

5.3.3. Evolución de nutrientes en el cv. Angeleno sometidos a dos estrategias de fertilización y medidos con sensores ópticos.

5.3.3.1. Índice SPAD en Angeleno

La evolución del índice de SPAD En el cv. Angeleno se muestra en la Figura 3- 16. Durante la evolución se observó una pauta similar entre los dos tratamientos para cada uno de los años. En las medidas realizadas durante los años 2018, 2019 y 2021 se observaron diferencias significativas en los valores, en 2018 en hojas 60 ddpf; en el año 2019 en hojas 120 y 180 ddpf y; en 2021 en hojas 30 ddpf con un índice más elevado en el tratamiento fertilizado. Estos resultados coinciden con los publicados por (Sauceda et al., 2022), en el que las lecturas de SPAD se incrementaron conforme aumentó la concentración de N, aunque como en el caso de Red Beaut, el descenso en los valores de concentración de N no coincide con la tendencia del índice, mientras que los valores de N comienzan a descender hacia el día 60 dpf en todos los años (*Figura 3- 8*) el índice SPAD lo hace sobre los 210 ddpf. En el año 2022, debido a que no hubo fertirrigación, los valores del índice SPAD a lo largo del ciclo de cultivo entre tratamientos fueron similares, demostrando la consistencia de las medidas del sensor y su fiabilidad, ya que además fue capaz de detectar diferencias en los niveles de fertirrigación aplicados (Espada & Romero, 2009).

El análisis estadístico de las medidas del índice SPAD entre momentos de muestreo para cada tratamiento del cv. Angeleno durante los años 2018, 2019, 2021 y 2022 (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Los resultados indican entre hojas 30-60 ddpf se produce un cambio significativo entre las medidas de SPAD en ambos tratamientos y que es posible usar el muestreo entre los 60-90 ddpf en para conocer el estado nutricional de Angeleno. Al tratarse de un cultivar de ciclo largo, cuya fecha de recolección se hace sobre los 180 ddpf, la medida de SPAD entre los 60-90 ddpf se podría utilizar para si es necesario realizar un abonado de corrección.

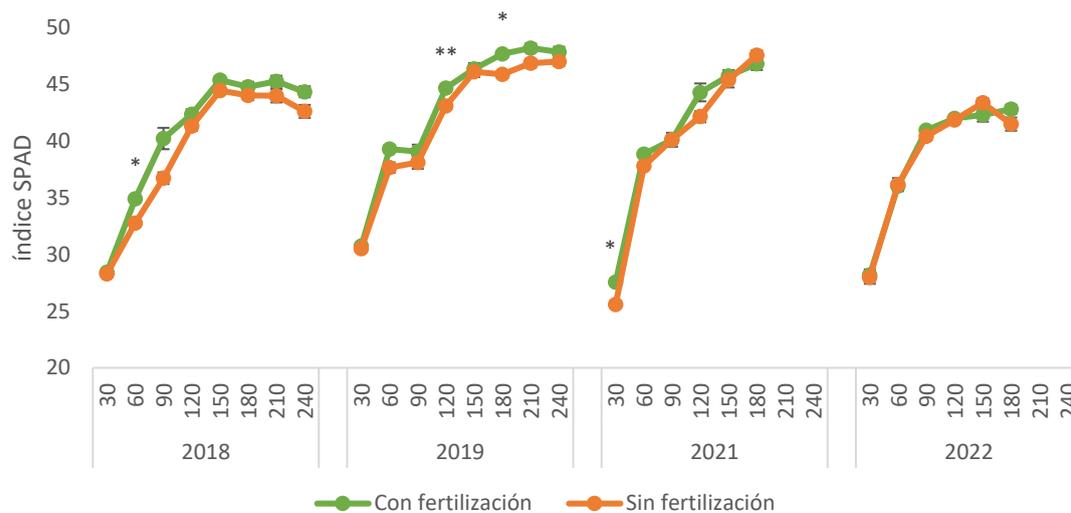


Figura 3- 16 Evolución del índice de SPAD en hojas de ciruelo japonés, cv. Angeleno, en 2018, 2019, 2021 y 2022. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

5.3.3.2. Índice de clorofilas, antocianos, flavonoides y NBI en Angeleno

En el cv. Angeleno, en la Figura 3- 17 se representa la evolución del **índice de clorofilas** por fechas de muestreo. La tendencia en los valores del índice fue similar para cada año de estudio entre tratamientos, pero distinta entre los años analizados. El tratamiento con fertilización mantuvo niveles ligeramente más altos de este índice, pero estas diferencias apenas fueron significativas, solo hubo diferencias significativas en el año 2018 a los 60 ddpf y en el año 2021. La evolución del índice durante los años 2018 y 2021 fue similar y con unos valores parecidos entre tratamientos. El año 2019 al inicio del cultivo tuvo un valor más elevado tanto en el tratamiento fertilizado como en el sin fertilizar respecto del resto de los años analizados. En el año 2022 aunque el valor inicial del que parte a los 30 ddpf es igual que el de los años 2018 y 2021, la evolución no es igual, en la que se mostró un periodo de estabilización de la medida comprendido entre 90-120 ddpf en ambos tratamientos.

El análisis estadístico entre medidas de este índice es distinto según el año de muestreo (Tabla 3- 5). En el año 2019 y 2022 la estabilización del índice se produce entre hojas 90-120 ddpf y, en 2018 y 2022 se produce entre 120-150 ddpf. Como la recolección de este cultivar se produce a los 180 ddpf, podría ser válida la medida de este índice para diagnóstico nutricional. Como el índice de clorofilas está relacionado con la concentración de clorofilas, Dualex es considerado un buen indicador del nivel de nitrógeno (Argenta et al., 2002; Z. Cerovic et al., 2005).

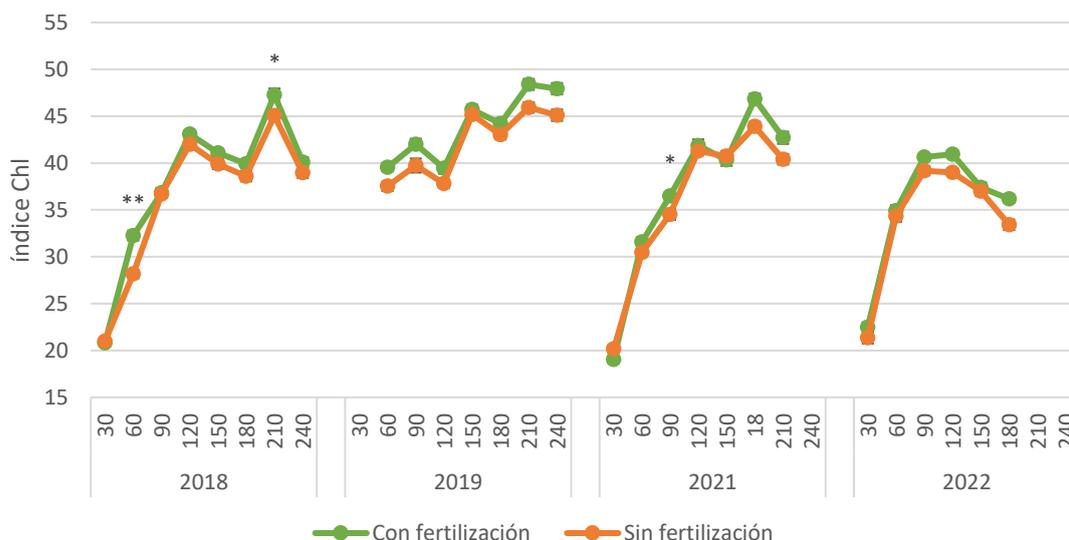


Figura 3- 17. Evolución del índice de clorofilas medido con el Dualex® Scientific Force A en hojas de ciruelo japonés, cv. Angeleno, en los años 2018, 2019, 2021 y 2022. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

En la evolución del **índice de flavonoides** (Figura 3- 18) en el cv. Angeleno, se observó un comportamiento similar entre los tratamientos en los años de muestreo. El tratamiento no fertilizado presentó valores más elevados que el fertilizado, aunque no presentaban diferencias significativas, esto concuerda con los trabajos realizados por Saavedra, (2021) que indica un aumento del índice de flavonoides al disminuir la aplicación de N en tomate, relación por la que los valores de flavonoides disminuyen en el 2022, año en que no se aplicó fertirrigación en ningún tratamiento. El contenido de flavonoides al inicio del ciclo es estable de manera interanual, a excepción del año 2022 en donde a los 60 ddpf se produce una disminución y a continuación un aumento que se mantiene para el resto de las medidas posteriores realizadas, debido a un incremento de la radiación lumínica que junto a una ausencia de fertilización en ambos tratamientos, desencadena la respuesta como pigmento fotoprotector de los rayos UV (Landry et al., 1997) y como indicador de la deficiencia de nitrógeno (Cerovic et al., 2012). En los años 2018 y 2021, se produce una disminución de flavonoides en hojas 60 ddpf, pero a partir de esta fecha se produjo una evolución creciente, mientras que en 2019 desde el inicio del desarrollo del cultivo los valores fueron en aumento.

En la Tabla 3- 5 se observa que hay pocas diferencias en los valores de este índice entre dos fechas próximas, y éstas se muestran en los momentos en que se produce un cambio en las condiciones ambientales. El tratamiento sin fertilizar, mostró valores más elevados que el fertilizado a lo largo de todo el desarrollo del cultivo como respuesta a la deficiencia de nitrógeno.

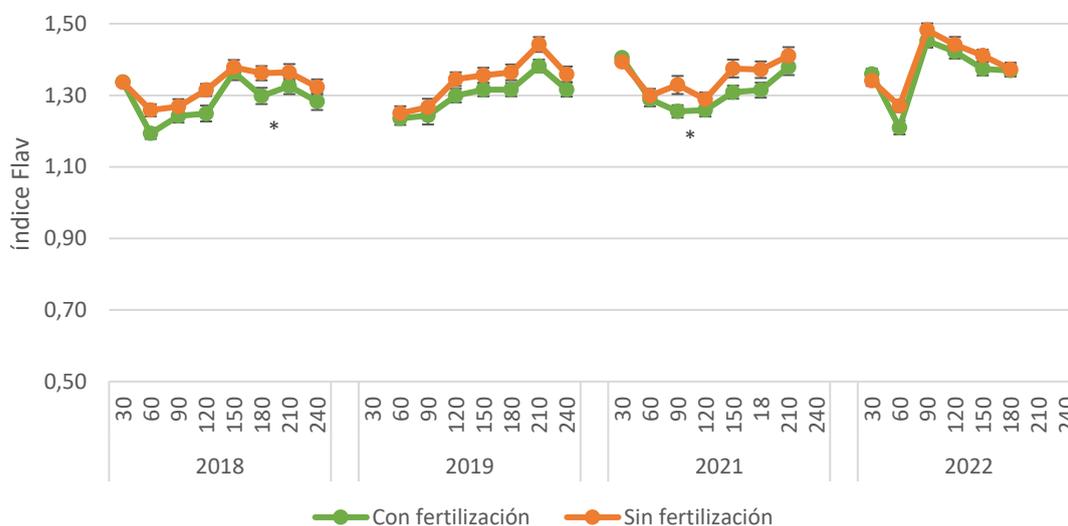


Figura 3- 18. Evolución del índice de flavonoides medido con el Dualex® Scientific Force A en hojas de ciruelo japonés, cv. Angeleno, en los años 2018, 2019, 2021 y 2022. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

La evolución del **índice de antocianos** en el cv Angeleno se muestra en la *Figura 3- 19*; estos valores se han relacionado con el contenido en clorofila (Goulas & Cerovic, 2004), por lo que su índice podría usarse para determinar el estado nutricional del cultivo. Se observó un comportamiento diferente según el año, pero similar entre los tratamientos. En 2018 y 2021 hubo un descenso inicial entre los 30 y los 60 días después de floración seguidos de una tendencia a estabilizarse desde hojas 120 ddpf. En 2019, la evolución de este índice, presentó valores más elevados que el resto de los años mostrados y estables con ligeros descensos y ascenso. En 2022 se observó el descenso inicial descrito en 2018 y 2021, sin embargo, se apreció un aumento a partir de los 90 días después de floración hasta igualarse con los índices medidos en el año 2019, debido a un aumento de la radiación lumínica junto con la ausencia de nitrógeno (Landry et al., 1997; Cerovic et al., 2012). Las lecturas de este índice fueron superiores en el tratamiento sin fertilizar que en el fertilizado al igual que el trabajo de Saavedra, (2021) en donde una disminución de la concentración de nitrógeno aumentó significativamente el contenido de antocianos. En los años 2019 y 2022 la evolución del índice de antocianos fue distinta a la de los años 2018 y 2021 y, es que la temperatura media máxima de los años 2019 y 2022 se caracterizó por ser elevada 24,26°C y 25,06 °C respectivamente, mientras que las de 2018 y 2021 fueron de 22,86 °C y 23,76 °C, con lo que sospechamos que este comportamiento distinto en su evolución fue causado por un incremento en las temperaturas, siendo un mecanismo de defensa fotodaño inducido por altas temperaturas (Zaida, 2017). La estabilidad en los valores del índice de antocianos entre momentos de muestreo (Tabla 3- 5) indicaron que es distinta según el año; en 2018 entre hojas 120-150 ddpf; en 2019 entre hojas 60-90 ddpf; en 2021 a partir de hojas 90-120 ddpf y; en el año 2022 en hojas 60-90 ddpf.

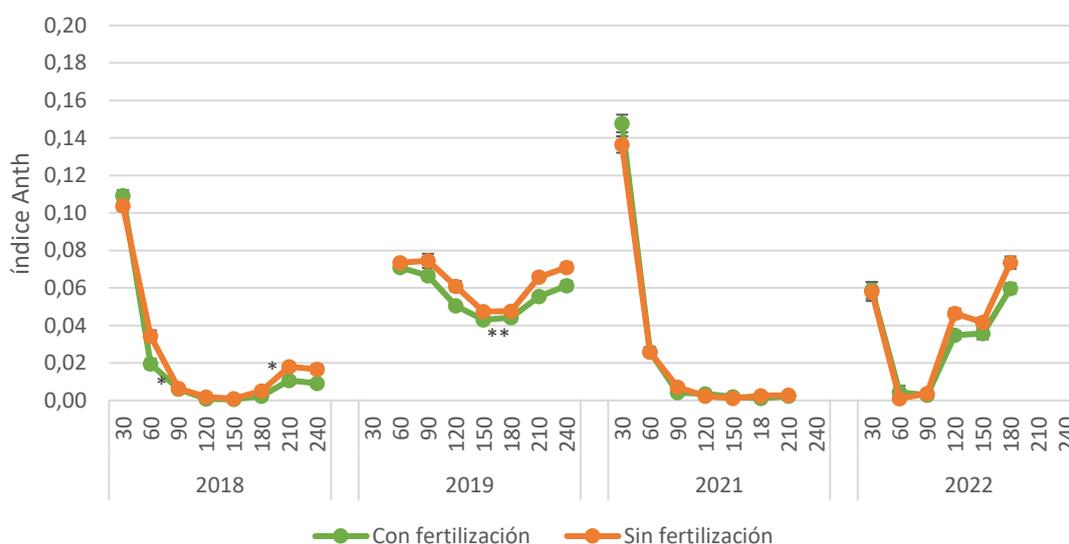


Figura 3- 19 Evolución del índice de antocianos medido con el Dualex® Scientific Force A en hojas de ciruelo japonés, cv. Angeleno, en los años 2018, 2019, 2021 y 2022. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; () significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.*

La evolución del índice NBI en el cv Angeleno se muestra en la Figura 3- 20. Durante la evolución se observó un aumento inicial de este índice en hojas, similar entre los dos tratamientos, pero con valores mayores en el tratamiento con fertilización y diferencias estadística en ciertos momentos del ciclo. Al igual que el índice de clorofilas y el índice de antocianos, el año 2019 tuvo valores de NBI más altos que el resto de los años a los 30 y 60 ddpf por el contrario, en el año 2022 aunque presentó valores más bajos en este índice a partir de los 90 ddpf. Las evoluciones de los años 2018 y 2021 fueron similares. En todos los años se produjo un incremento en el valor de NBI en hojas 60 ddpf, siendo menos significativo en el año 2019. El índice de balance de nitrógeno disminuyó al reducir los aportes de N (Saavedra, 2021), que queda puesto de manifiesto en nuestro trabajo.

La concentración de N en las hojas puede ser estimada directamente con Dualex, y el balance de nitrógeno es el indicador más preciso del estado nutricional de la planta en términos de nitrógeno (Coelho et al., 2012), quienes además indicaron una correlación lineal entre los valores de este índice con la producción, lo que indica la posibilidad de uso para previsión de la productividad en el cultivo de la patata.

La estabilidad de la medida del índice NBI fue distinta según el año de muestreo (Tabla 3- 5). Entre hojas 60-90 ddpf es un buen momento para la medida de índice NBI por la estabilización que se produjo entre estos dos momentos de muestreo.

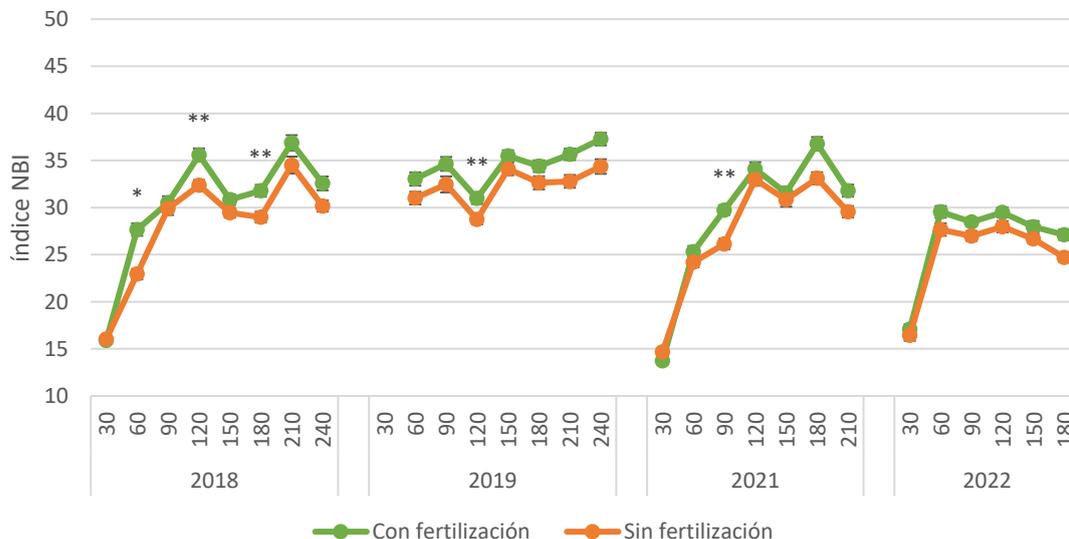


Figura 3- 20 Evolución del índice NBI medido con el Dualex® Scientific Force A en hojas de ciruelo japonés, cv. Angeleno, en los años 2018, 2019, 2021 y 2022. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

5.3.3.3. Índice NVDI y NVDIG en Angeleno

En el cv. Angeleno la evolución del índice NDVI en fechas de muestreo se indica en la Figura 3- 21. Este índice se usa para estimar el estado de N del cultivo mediante la radiación que reflejan (Hatfield et al., 2008; Ollinger, 2011; Padilla et al., 2018). Se observa que esta evolución fue similar entre los tratamientos, con diferencias significativas en hojas 60 ddpf en el año 2018, pero diferente entre años. Al igual que en el cv. Red Beaut, en las medidas al inicio del cultivo, 30 ddpf, ambos tratamientos tienen el mismo valor, seguido de un incremento en 60 ddpf y a partir de este momento la evolución del índice es distinta según el año de muestreo; en el año 2018 y 2019 es decreciente hasta finales de ciclo con una disminución más acusada en hojas 240 ddpf en el año 2019; en el año 2021 el índice presentó valores altos a los 150 y 210 ddpf, y bajos a los 120 y 180 ddpf y; en el año 2022 es decreciente pero a finales de ciclo se incrementa el índice. Las diferencias observadas en el índice NDVI en el año 2021 pensamos que se debió a un error en la medida en la banda del rojo.

De todos los años analizado, el 2022 tuvo un menor índice NDVI en ambos tratamientos a lo largo del ciclo de cultivo, pero fue el año que más diferencias entre tratamientos mostró. El tratamiento sin fertilizar tuvo valores más elevados de NDVI que el fertilizado en alguno de los momentos en que se midieron en todos los años del análisis. Los resultados obtenidos en este cultivar, con menor diferenciación entre los tratamientos que en el cv. Red Beaut, apoya más la tesis sobre la variabilidad de este índice entre años y que está influenciado por numerosos factores. El análisis estadístico del índice NDVI (Tabla 3- 5) indicó que para la mayoría de los momentos analizados se produjo una estabilización de los valores medidos en todos los años y en ambos tratamientos, con la excepción de hojas 30-60 ddpf en los tres primeros años.

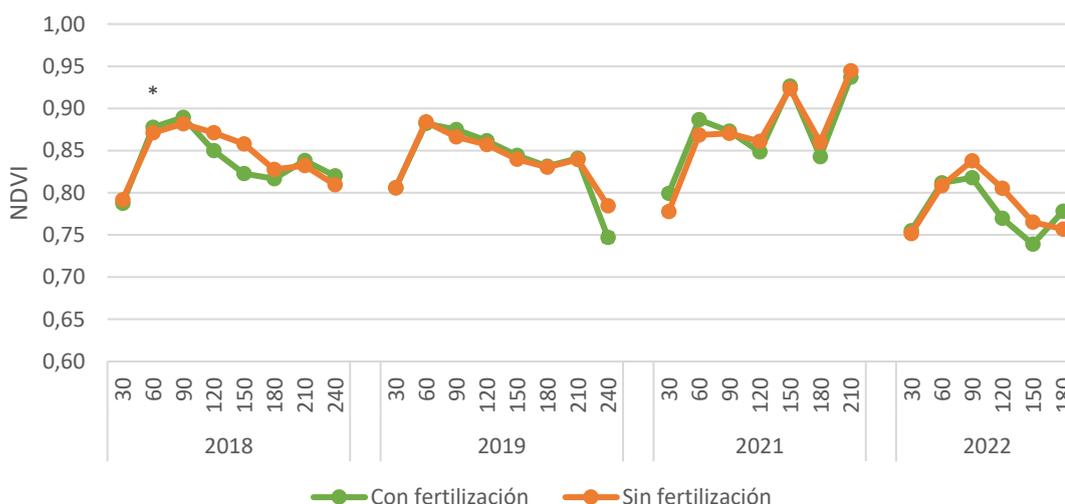


Figura 3- 21 Evolución del índice NVDI medido en hojas de ciruelo japonés, cv. Angeleno. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

La Figura 3- 22 muestra la evolución del índice NVDIG en momentos de muestreo, este índice también se usa para estimar el contenido en N del cultivo (Hatfield et al., 2008b; Ollinger, 2011; F. M. Padilla et al., 2018). En ellas se observa un comportamiento similar entre los tratamientos, con un comportamiento diferente entre los distintos años de estudio. Los valores de esta medida aumentaron hasta los 60 y los 90 días después de floración en los cuatro años (Tabla 3.4). A partir de este momento mostraron un periodo de estabilización con ligeras fluctuaciones. En 2018 y 2019 se produjo un descenso significativo de este índice al final del ciclo en los dos tratamientos. Los valores más bajos de este índice, se vio en el año 2022.

En el análisis estadístico entre momentos de muestreo (Tabla 3- 5), al igual que para el índice NDVI, el índice NVDIG salvo para hojas 30-60 ddfp, a partir de 60-90 ddpf encontramos medidas estables de este índice.

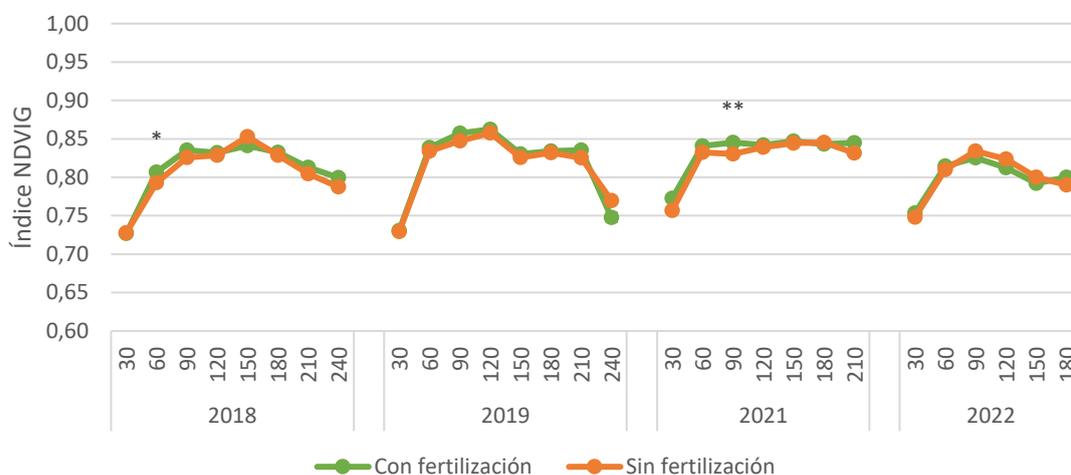


Figura 3- 22. Evolución del índice NVDIG medido en hojas de ciruelo japonés, cv. Angeleno, en los años 2018, 2019, 2021 y 2022. Las barras representan el error estándar de la media. Análisis estadístico: Prueba T Student. Las diferencias entre las medias se consideraron significativas estadísticamente cuando $p < 0.05$; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

Tabla 3- 5 Análisis estadístico de los índices empleados entre puntos de medida consecutivos en el cv. Angeleno. n.s. indica no significativo; (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%.

Año	Con fertilización							Sin fertilización						
	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180	180-210	210-240	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180	180-210	210-240
Índice SPAD														
2018	***	*	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.
2019	***	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***	n.s.	***	**	n.s.	n.s.	n.s.
2021	***	n.s.	*	n.s.	n.s.			***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		
2022	***	**	n.s.	n.s.	n.s.			**	*	n.s.	*	n.s.		
Índice de Clorofilas														
2018	***	*	**	n.s.	n.s.	***	**	**	***	*	n.s.	n.s.	***	**
2019		**	n.s.	**	n.s.	**	n.s.		n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.	n.s.
2021	**	*	*	n.s.	**	**		***	**	*	n.s.	n.s.	n.s.	
2022	***	*	n.s.	*	n.s.			**	n.s.	n.s.	*	*		
Índice de flavonoles														
2018	**	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
2019		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**
2021	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
2022	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.			n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.		
Índice de antocianos														
2018	***	*	*	n.s.	*	*	n.s.	**	***	**	n.s.	*	**	n.s.
2019		n.s.	*	*	n.s.	**	*		n.s.	n.s.	***	n.s.	*	n.s.
2021	***	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		***	**	*	n.s.	n.s.	n.s.	
2022	**	n.s.	**	n.s.	*			**	n.s.	***	n.s.	**		
Índice NBI														
2018	***	n.s.	*	*	n.s.	*	*	**	***	n.s.	**	n.s.	**	*
2019		n.s.	**	*	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.
2021	**	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		***	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
2022	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		
Índice NVDI														
2018	**	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
2019	***	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	**	***	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	*
2021	*	n.s.	n.s.	**	**	***		**	n.s.	n.s.	***	***	***	
2022	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			n.s.	n.s.	*	*	n.s.		
Índices NVDIG														
2018	**	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	***	**	n.s.	**	*	n.s.	*
2019	***	**	n.s.	**	n.s.	n.s.	***	***	n.s.	n.s.	**	*	n.s.	**
2021	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
2022	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.		

5.3.3.4. Comparación entre medidas rápidas de estado nutricional y medidas bioquímicas

A pesar de que no hay referencias bibliográficas que relacionen las lecturas de los sensores ópticos con nutrientes distintos del nitrógeno, numerosos autores correlacionan los distintos índices obtenidos con los equipos de medidas rápidas y el estado de N en el cultivo (Cartelat et al., 2005; Gianquinto, et al., 2011; (Zhu et al., 2012)Usha & Singh, 2013).

Las correlaciones de Pearson entre los diferentes elementos e índices en el cv. Red Beaut se muestran en la Tabla 3- 6 para el ciclo completo y las correspondientes regresiones lineales se muestran en la Tabla 3- 7. Estadísticamente se observaron buenas correlaciones y regresiones entre algunos de los índices y el contenido de diferentes nutrientes, a excepción de la regresión entre el contenido de N y el índice de SPAD, los valores de R^2 no fueron muy altos y la estimación del error estándar fue alta (datos no mostrados). La alta correlación encontrada entre el índice SPAD y la concentración de nitrógeno coincide con los resultados descritos por otros autores en hortalizas, como tomate fresco (F. M. Padilla et al., 2015), tomate de industria (Gianquinto et al., 2006), melón (Padilla et al., 2014), pepino (Padilla et al., 2017), o patata (Gianquinto et al., 2004).

Tabla 3- 6. Correlación de Pearson entre los índices NVDIG, NDVI, SPAD, clorofila (Chl), flavonoides (Flav), antocianos (Anth) y NBI y el contenido en diferentes elementos: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn) a lo largo de todo el ciclo en el cv. Red Beaut.

Índice	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
NDVIG	-0.190	0.089	0.098	0.288	0.308	0.007	0.334	0.390*	0.073
NDVI	0.518**	0.686**	0.605**	-0.311	-0.091	-0.454*	0.425*	-0.054	0.671**
SPAD	-0.913**	-0.798**	-0.582**	0.681**	0.321	0.603**	-0.323	0.418*	-0.847**
Chl	-0.818**	-0.691**	-0.409*	0.679**	0.388	0.551**	-0.161	0.441*	-0.654**
Flav	-0.660**	-0.650**	-0.457*	0.597**	0.376	0.590**	-0.286	0.262	-0.623**
Anth	-0.074	-0.205	-0.325	0.169	0.396*	0.095	0.266	0.055	0.018
NBI	-0.506**	-0.371	-0.181	0.375	0.173	0.251	-0.026	0.327	-0.360

(*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%

Tabla 3- 7. Regresión lineal entre los índices NVDIG, NDVI, SPAD, clorofila (Chl), flavonoides (Flav), antocianos (Anth) y NBI y el contenido en diferentes elementos: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn) a lo largo de todo el ciclo en el cv. Red Beaut.

Índice	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
NDVIG								0.152*	
NDVI	0.240*	0.455***	0.348**			0.191*	0.182*		0.450***
SPAD	0.832***	0.628***	0.325**	0.453***		0.352**		0.175*	0.717***
Chl	0.670***	0.470***	0.158*	0.454***		0.295**		0.195*	0.428***
Flav	0.408**	0.406**	0.190*	0.345**		0.337**			0.388**
Anth					0.159*				
NBI	0.276**								

(*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%

Tras obtener unos buenos resultados en la correlación de Pearson entre los elementos minerales y las lecturas con los sensores ópticos considerando todos los momentos de muestreo y, viendo que presentaron una buena regresión lineal, se realizó las correlaciones de Pearson entre los diferentes elementos e índices para cada momento del ciclo en el cv. Red Beaut y que muestran en la Tabla 3- 8. Posteriormente se realizó la regresión lineal en los casos que había buena correlación de Pearson con el objetivo de predecir el estado nutricional del cultivo a través de herramientas rápidas y no destructivas. Se observó que a medida que transcurre el ciclo vegetativo la correlación de Pearson fue cada vez menor. Algunos autores sostienen que la utilización de medidas rápidas tomadas a los 120 días después de floración presenta buena correlación con el contenido de diferentes elementos (Leece & Gilmour, 1974; Montañés & Sanz, 1994)). En nuestro estudio, a los 120 el único índice que presentó buenos resultados fue el NBI, que puede estimar el contenido en N, Mg, Cu y Zn (Tabla 3- 8). Además, en este cultivar de ciclo corto como es Red Beaut, los 120 días después de floración no puede considerarse una medida de diagnóstico precoz porque los frutos ya están recogidos y no tendría sentido el abonado de corrección para mejorar la productividad, aunque si para mejorar el estado nutricional de las plantas.

Para determinar la concentración de los diferentes elementos mediante equipos de medidas rápidas a fechas más tempranas, podría utilizarse el índice de SPAD para estimar el contenido de N a lo largo de todo el ciclo, de P, K, Ca, Mg, Fe y Zn a los 30 días. Estos resultados coinciden con los establecidos por (Cartelat et al., 2005; YU et al., 2010; Tremblay et al., 2012) en cuanto al contenido de nitrógeno. También (Porro et al., 2000) encontraron correlaciones entre las lecturas de SPAD y la concentración de N y P en vid; y con el contenido de N, K, Ca y Mg en manzano.

No ha habido buena regresión entre los índices de reflectancia (NDVI y NDVIG) y el contenido de nitrógeno en ninguno de los momentos de muestreo, sin embargo (Fox & Walthall, 2015b) tuvieron muy buenos resultados. Numerosos autores utilizan los medidores de reflectancia en hortícolas, sin embargo, la mayoría de los trabajos están hecho en cereales (Varvel et al., 2007). También se han hecho medidas de clorofila para el manejo de la fertilización del nitrógeno en repollo, zanahorias y cebollas (Westerveld et al., 2004). El índice NDVI ha sido uno de los índices de vegetación más utilizados para el manejo del nitrógeno en los cultivos (Hatfield et al., 2008b). Este sensor óptico puede saturarse y dar una información errónea sobre el contenido de nitrógeno, puede llegar a considerar el cultivo deficiente cuando se ha sobrefertilizado (Padilla et al., 2014b).

La estimación precoz del contenido de nitrógeno a través de los índices medidos con Dualex tampoco fue posible, por el contrario Tremblay et al., (2012) ha destacado que el contenido de flavonoides y el índice NBI fueron los dos indicadores más adecuados para la evaluación del estado de nitrógeno, aunque las investigaciones se han realizado fundamentalmente con maíz (Tremblay et al., 2007) y trigo (Cartelat et al., 2005) y las investigaciones con cultivos de

hortalizas y frutales está más limitada. En este trabajo, el índice NBI sirve para estimar el contenido en Cu y Mn a los 60 días (Tabla 3- 8). También el contenido en N se puede estimar con el índice NBI a los 90 días (Tabla 3.20), sin embargo, esta fecha tampoco sería un diagnóstico precoz, por lo que sería mejor utilizar su relación con el índice de SPAD durante todo el ciclo (Tabla 3- 8).

Tabla 3- 8. Correlación de Pearson entre los índices medidos y el contenido en diferentes elementos: a los 30, 60, 90, 120, 180 y 210 días después de floración en 'Red Beaut'. (*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%

DDF	Índice	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	
30	NDVIG	0.922	0.988*	-0.982*	-0.994**	-0.987*	-0.950	-0.909	-0.313	0.939	
	NDVI	0.926	0.964*	-0.952*	-0.989*	-0.969*	-0.920	-0.907	-0.358	0.891	
	SPAD	-0.883	-0.993**			0.980*	0.992**	0.974*	0.903	0.273	-0.983*
	Chl										
	Flav										
	Anth										
	NBI										
60	NDVIG	-0.240	-0.662	0.906	0.844	0.778	0.854	0.910	0.838	0.759	
	NDVI	0.919	0.646	-0.362	-0.511	-0.591	-0.497	-0.393	-0.486	0.289	
	SPAD	0.798	0.434	0.090	-0.150	-0.270	-0.127	0.006	-0.030	0.741	
	Chl	-0.603	-0.860	0.993**	0.984*	0.955*	0.989*	0.998**	0.988*	0.601	
	Flav	-0.576	-0.350	-0.293	-0.001	0.119	-0.030	-0.150	-0.233	-0.879	
	Anth	-0.728	-0.948	0.944	0.999**	0.995**	0.998**	0.982*	0.949	0.424	
	NBI	-0.381	-0.681	0.986*	0.895	0.834	0.907	0.950*	0.964*	0.798	
90	NDVIG	0.649	-0.492	-0.489	0.302	0.359	0.054	0.519	0.557	0.726	
	NDVI	0.598	0.836	0.822	-0.923	-0.901	-0.959*	-0.814	-0.745	-0.620	
	SPAD	0.383	-0.847	-0.864	0.690	0.733	0.463	0.836	0.803	0.913	
	Chl	0.542	-0.730	-0.796	0.531	0.577	0.284	0.677	0.584	0.726	
	Flav	-0.664	-0.746	-0.737	0.853	0.824	0.920	0.715	0.636	0.492	
	Anth	-0.315	-0.979*	-0.943	0.993**	0.997**	0.929	0.991**	0.975*	0.924	
	NBI	0.959*	0.193	0.150	-0.419	-0.362	-0.644	-0.192	-0.168	0.056	
120	NDVIG	0.468	0.489	0.463	-0.489	-0.619	0.502	0.643	0.026	0.792	
	NDVI	0.590	0.696	0.673	-0.500	-0.762	0.688	0.730	0.181	0.893	
	SPAD	-0.408	-0.771	-0.782	-0.030	0.502	-0.721	-0.275	-0.539	-0.343	
	Chl	-0.537	-0.691	-0.715	0.172	0.530	-0.501	-0.368	-0.749	-0.325	
	Flav	-0.947	-0.871	-0.875	0.793	0.995**	-0.624	-0.973*	-0.727	-0.986*	
	Anth	-0.866	-0.972*	-0.972*	0.601	0.974*	-0.805	-0.874	-0.669	-0.950	
	NBI	0.959*	0.826	0.831	-0.842	-0.987*	0.555	0.989*	0.738	0.980*	
180	NDVIG	0.727		0.714	-0.739	-0.684	0.888	0.507	0.756	-0.089	
	NDVI	0.656		0.562	-0.758	-0.609	0.773	0.331	0.587	-0.133	
	SPAD	0.211		0.306	0.046	-0.266	0.011	0.543	-0.053	-0.424	
	Chl	-0.845		-0.848	0.799	0.812	-0.965*	-0.681	-0.800	0.211	
	Flav	0.220		-0.159	-0.568	-0.201	0.006	-0.306	-0.394	-0.490	
	Anth	-0.924		-0.856	0.908	0.899	-0.948	-0.707	-0.676	0.415	
	NBI	-0.688		-0.488	0.857	0.650	-0.683	-0.273	-0.368	0.359	
210	NDVIG	0.076		-0.281	-0.354	-0.006	-0.024	-0.764	-0.305	-0.138	
	NDVI	0.382		0.095	-0.012	-0.392	0.343	-0.954*	0.094	0.263	
	SPAD	-0.278		-0.183	-0.374	0.505	-0.372	0.898	-0.360	-0.514	
	Chl	-0.346		-0.676	-0.998**	0.741	-0.603	0.270	-0.999*	-0.991	
	Flav	-0.449		-0.608	-0.205	0.303	-0.429	-0.434	-0.446	-0.287	
	Anth	-0.856		-0.582	-0.082	0.720	-0.769	0.893	-0.516	-0.655	
	NBI	0.371		0.395	-0.153	-0.075	0.253	0.479	0.106	-0.065	

Como la relación lineal entre el índice SPAD y el contenido en N considerando todo el ciclo de Red Beaut; y con la concentración de K, P, Ca, Mg, Fe y Zn a los 30 días y; el índice NBI y el contenido en Cu y Mn a los 60 días mostraron buenos valores de R², se calculó la ecuación lineal que estima el contenido de los elementos minerales (Tabla 3- 9).

Tabla 3- 9 Regresión lineal entre el índice SPAD y el contenido en nitrógeno (N) a lo largo de todo el ciclo, en fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe) y zinc (Zn) a los 30 días después de floración y; entre el índice NBI y el contenido en potasio (K), cobre (Cu) y manganeso (Mn) a los 60 días después de floración en el cv. Red Beaut.

X	DDF	Elemento	Ecuación	R ²	Error estándar	
Índice SPAD	30	Todo el ciclo	N (%)	$y = -0.1028x + 6.5862$	0.8329***	0.259
		P (%)	$y = -0.0361x + 1.4022$	0.9870**	0.011	
		K (%)	$y = 0.1539x - 2.1806$	0.9994*	0.01	
		Ca (%)	$y = 0.1085x - 2.143$	0.9610*	0.056	
		Mg (ppm)	$y = 0.0241x - 0.3972$	0.9847**	0.008	
		Fe (ppm)	$y = 5.9758x - 96.75$	0.9492*	3.535	
		Zn (ppm)	$y = -1.2603x + 86.474$	0.9671*	0.595	
Índice NBI	60	Cu (ppm)	$y = 4.8267x - 102.5$	0.9026*	6.212	
		Mn (ppm)	$y = 9.1825x - 161.59$	0.9288*	9.962	

(*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%

En el cv. Angeleno, siendo un cultivar de ciclo largo, en general se observaron buenas correlaciones y regresiones lineales (Tabla 3- 10 y Tabla 3- 11). Sin embargo, aunque estadísticamente las correlaciones y las regresiones fueron significativas, los resultados de R² no superaron valores de 0.600 y se obtuvieron valores altos en la estimación del error estándar (datos no mostrados).

Tabla 3- 10 Correlación de Pearson entre los índices NVDIG, NDVI, SPAD, clorofila (Chl), flavonoides (Flav), antocianos (Anth) y NBI y el contenido en diferentes elementos: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn) a lo largo de todo el ciclo en el cv. Angeleno.

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
NDVIG	-0.232	-0.391**	0.510**	0.675**	0.512**	-0.046	-0.047	0.339**	-0.302*
NDVI	0.032	0.008	0.564**	0.466**	0.378**	-0.043	-0.344**	0.216	0.095
SPAD	-0.761**	-0.765**	0.029	0.743**	0.321*	0.279*	0.029	0.294*	-0.655**
Chl	-0.601**	-0.628**	0.189	0.760**	0.438**	0.345**	-0.013	0.421**	-0.474**
Flav	-0.381**	-0.443**	-0.503**	-0.168	-0.322*	-0.129	0.191	-0.413**	-0.569**
Anth	0.262	0.460**	-0.379**	-0.308*	0.079	0.150	0.183	-0.024	0.374**
NBI	-0.498**	-0.507**	0.315*	0.795**	0.518**	0.378**	-0.057	0.524**	-0.324*

(*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%

Tabla 3- 11. Regresión lineal entre los índices NVDIG, NDVI, SPAD, clorofila (Chl), flavonoides (Flav), antocianos (Anth) y NBI y el contenido en diferentes elementos: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn) a lo largo de todo el ciclo en el cv. Angeleno.

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
NDVIG		0.166**	0.252***	0.504***	0.266***			0.126**	0.091*
NDVI			0.314***	0.240***	0.145**		0.125**		
SPAD	0.591***	0.582***		0.553***	0.104*	0.071		0.082*	0.429***
Chl	0.374***	0.393***		0.587***	0.192**	0.124**		0.176**	0.224***
Flav	0.175**	0.211***	0.280***		0.105*			0.164**	0.323***
Anth		0.205**	0.168**	0.087*					0.145**
NBI	0.250***	0.253***	0.112*	0.639***	0.270***	0.145***		0.269***	0.105*

(*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%

Algunos autores han estimado que el momento óptico para determinar el estado nutricional del cultivo era a los 120 días después de floración (Leece & Gilmour, 1974; Montañés & Sanz, 1994). Para evaluar si se podría utilizar los equipos de medidas rápidas en el contenido en los diferentes elementos no sólo a 120 días, sino a lo largo de todo el ciclo, se realizaron las correlaciones entre los diferentes índices estudiados en este capítulo y el contenido en los diferentes elementos estudiados en el capítulo 2 en los diferentes momentos del ciclo (Tabla 3-12).

Tabla 3- 12. Correlación de Pearson entre los índices NVDIG, NVDI, SPAD, clorofila (Chl), flavonoides (Flav), antocianos (Anth) y NBI y el contenido en diferentes elementos: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn) a los 30, 60, 90, 120, 180 y 210 días después de floración en el cv. Angeleno.

DDF	Índice	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
30	NDVIG	0.085	-0.536	-0.492	-0.128	0.001	0.058	-0.417	-0.740*	-0.743*
	NDVI	0.832*	0.197	0.713*	0.751*	0.678	0.557	0.827*	0.655	0.675
	SPAD	0.258	0.029	0.874**	0.196	-0.070	0.171	0.503	0.611	0.510
	Chl	-0.908*	-0.170	-0.122	-0.803	-0.896*	-0.660	-0.757	-0.244	-0.247
	Flav	0.752	-0.567	-0.153	0.586	0.409	0.496	0.112	-0.482	-0.453
	Anth	0.948**	0.279	0.329	0.910*	0.980**	0.752	0.868*	0.369	0.376
	NBI	-0.978**	-0.038	-0.096	-0.864*	-0.898*	-0.706	-0.712	-0.125	-0.136
60	NDVIG	-0.348	-0.574	0.384	0.622	0.438	0.650	0.326	0.257	-0.228
	NDVI	-0.414	0.379	0.122	0.610	0.427	0.576	0.424	0.427	0.535
	SPAD	-0.234	-0.578	0.464	0.603	0.452	0.555	0.353	0.272	-0.237
	Chl	0.175	-0.144	0.902**	0.673	0.784*	0.511	0.744*	0.736*	0.257
	Flav	-0.741*	-0.623	-0.315	0.028	-0.195	0.176	-0.283	-0.375	-0.575
	Anth	-0.492	0.220	0.728*	0.967**	0.917**	0.823*	0.894**	0.865**	0.635
	NBI	0.295	-0.006	0.891**	0.625	0.764*	0.445	0.745*	0.754*	0.356
90	NDVIG	0.687	0.777*	0.639	0.669	0.777*	0.865**	0.811*	0.603	0.569
	NDVI	-0.162	0.538	0.294	0.328	0.152	0.188	0.316	0.405	0.571
	SPAD	-0.331	-0.639	-0.647	-0.906**	-0.855**	-0.870**	-0.767*	-0.669	-0.638
	Chl	0.477	0.464	0.503	0.312	0.603	0.481	0.641	0.525	0.381
	Flav	-0.092	-0.686	-0.644	-0.530	-0.395	-0.473	-0.541	-0.562	-0.695
	Anth	0.349	0.817*	0.732*	0.917**	0.993**	0.894**	0.961**	0.837**	0.787*
	NBI	0.382	0.916**	0.893**	0.685	0.773*	0.737*	0.923**	0.867**	0.879**
120	NDVIG	0.450	-0.064	-0.260	0.214	-0.043	-0.727*	-0.748*	-0.316	-0.020
	NDVI	-0.136	0.483	-0.058	0.617	0.372	-0.199	-0.922**	0.014	0.328
	SPAD	0.805*	-0.408	0.076	-0.102	-0.586	-0.923**	-0.457	-0.484	-0.330
	Chl	-0.249	0.404	0.497	0.299	0.008	0.413	-0.211	0.297	0.271
	Flav	-0.064	-0.303	-0.307	-0.596	-0.003	0.228	0.880**	0.040	-0.202
	Anth	0.407	-0.339	-0.616	-0.585	-0.050	-0.397	0.310	-0.115	-0.129
	NBI	-0.132	0.370	0.449	0.520	-0.006	0.104	-0.601	0.160	0.276
150	NDVIG	0.764*	0.896**	0.672	0.089	0.123	-0.367	-0.925**	-0.404	-0.109
	NDVI	0.641	0.828*	0.781*	0.441	0.279	-0.468	-0.836**	-0.648	-0.391
	SPAD	0.720*	0.901**	0.515	0.613	0.607	0.012	-0.870**	-0.066	0.197
	Chl	0.570	0.693	0.104	0.606	0.847**	0.181	-0.713*	0.213	0.405
	Flav	-0.757*	-0.505	-0.502	-0.345	-0.553	-0.368	0.586	-0.144	-0.335
	Anth	-0.512	-0.442	-0.719*	0.312	0.448	0.565	0.495	0.577	0.461
	NBI	0.640	0.677	0.219	0.592	0.818*	0.184	-0.715*	0.167	0.352
180	NDVIG	0.890**	0.735*	0.643	0.872**	0.089	-0.052	-0.903**	-0.278	-0.241
	NDVI	0.816*	0.709*	0.571	0.879**	0.200	-0.215	-0.873**	-0.412	-0.282
	SPAD	0.755*	0.621	0.623	0.854**	0.288	-0.101	-0.764*	-0.377	-0.246
	Chl	0.784*	0.619	0.697	0.838**	0.216	-0.016	-0.782*	-0.298	-0.107
	Flav	-0.701	-0.424	-0.643	-0.405	0.392	-0.778*	0.509	-0.473	-0.037
	Anth	-0.922**	-0.600	-0.704	-0.488	0.514	-0.108	0.729*	0.183	0.500

	NBI	0.825*	0.620	0.745*	0.818*	0.127	0.122	-0.787*	-0.186	-0.081
	NDVIG	0.569		0.366	-0.345	-0.207	-0.681	0.562	-0.829*	-0.830*
	NDVI	0.330		0.645	-0.246	-0.425	-0.582	0.933**	-0.837*	-0.668
	SPAD	0.405		-0.260	0.294	0.688	-0.661	0.304	-0.733	-0.765
210	Chl	-0.005		-0.437	-0.011	0.269	0.521	-0.796	0.718	0.546
	Flav	-0.196		-0.493	0.414	0.550	-0.910*	0.006	-0.733	-0.844*
	Anth	-0.158		-0.833*	0.336	0.705	-0.193	-0.771	0.108	-0.149
	NBI	0.004		-0.172	-0.131	0.011	0.794	-0.651	0.898*	0.813*
	NDVIG	-0.277	0.402	0.595	0.877	0.722	-0.975*	0.967*	0.727	
	NDVI	-0.371	0.451	0.527	0.915	0.778	-0.992**	0.988*	0.667	
	SPAD	0.513	-0.784	-0.528	-0.973*	-0.664	0.894	-0.923	-0.341	
240	Chl	0.514	-0.647	-0.479	-0.982*	-0.778	0.970*	-0.985*	-0.477	
	Flav	-0.595	0.061	-0.939	-0.210	0.099	0.399	-0.370	-0.825	
	Anth	0.077	-0.486	-0.818	-0.800	-0.464	0.857	-0.860	-0.689	
	NBI	0.715	-0.765	-0.279	-0.997**	-0.822	0.907	-0.936	-0.239	

(*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%

A la vista de las correlaciones en la Tabla 3- 12se observó que el índice NBI puede resultar efectivo para determinar el contenido en N, Ca y Mg si se aplica a los 30 días después de floración. Para el resto de nutrientes puede utilizarse el índice NBI pero aplicado a los 90 días en donde se obtuvieron buenas correlaciones y al tratarse de un cultivar de ciclo largo, sería posible realizar un diagnóstico nutricional precoz. Ambas fechas pueden ser consideradas para un diagnóstico precoz del estado nutricional del cultivo en 'Angeleno' ya que es un cultivar de ciclo largo. La relación lineal entre el índice NBI y los valores del laboratorio mostraron buenos resultados en los valores de R^2 (Tabla 3- 13), por tanto, se pueden relacionar los valores de este índice con el contenido en los diferentes elementos mediante la ecuación lineal que se describe y obtener así un diagnóstico precoz del estado del cultivo mediante el uso del Dualex.

En numerosos trabajos se recoge que los medidores de clorofila pueden saturarse parcialmente con niveles elevados de nitrógeno (Monje & Bugbee, 1992; Markwell et al., 1995; Parry et al., 2014; (Novichonok et al., 2016), esta podría ser una posible causa del por qué no es posible la utilización del índice SPAD como indicador del estado nutricional de nitrógeno en el cv. Angeleno. Sin embargo, no está definido con claridad las condiciones por las que se produce la saturación, ni cuando no se produce (Thompson et al., 2017) y a menudo la respuesta de saturación parcial no ocurre y se observan relaciones lineales entre las lecturas del medidor de clorofilas y el nitrógeno en hojas (Cartelat et al., 2005; Remorini et al., 2011; Tremblay et al., 2012; Li et al., 2013)

En nuestro trabajo el índice NDVI a diferencia de los resultados obtenidos en el cv. Red Beaut, presentó correlaciones con la concentración de algunos de los elementos minerales, aunque los trabajos se centran fundamentalmente en la estimación de la concentración de nitrógeno a través del cálculo del NDVI (F. Padilla et al., 2014a), en este sentido, hubo correlación entre el índice NDVI y el contenido de nitrógeno en hojas a los 30 ddfp, por lo que

resultaría un buen indicador precoz del estado nutricional de nitrógeno.

A diferencia del cultivar de ciclo corto Red Beaut, en el cv. Angeleno el índice NBI fue un buen indicador del estado nutricional de nitrógeno a los 30 dpdf. Este resultado coincide con los de otros autores como Abdallah & Goffart, (2012) que obtuvieron buenos resultados en la evaluación del estado de nitrógeno en el cultivo de dos cultivares de patatas.

Tabla 3- 13. Regresión lineal entre el índice NBI y el contenido en nitrógeno (N), calcio (Ca) y magnesio (Mg) a los 30 días después de floración y fósforo (P), potasio (K), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn) a los 90 días después de floración en el cv. Angeleno.

DDF	Elemento	Ecuación	R ²	Error estándar
30	N (%)	$y = -0.1939x + 6.4356$	0.9572**	0.044
	Ca (%)	$y = -0.1657x + 3.4067$	0.7457*	0.103
	Mg (ppm)	$y = -0.0516x + 1.067$	0.8057*	0.027
90	P (%)	$y = 0.0444x - 1.0637$	0.8384**	0.057
	K (%)	$y = 0.0898x + 0.0634$	0.7972**	0.134
	Fe (ppm)	$y = 4.5835x - 39.068$	0.5431*	12.41
	Cu (ppm)	$y = 4.2428x - 110.46$	0.8526**	5.208
	Mn (ppm)	$y = 10.758x - 235.63$	0.7523**	18.223
	Zn (ppm)	$y = 3.9632x - 88.785$	0.7719**	6.36

(*) significativo al nivel del 5%; (**) significativo al nivel del 1% y (***) significativo al nivel del 0,1%
X: Índice NBI

5.4. Conclusiones

Los aparatos ópticos de media en hoja han resultado viables para medir el estado nutricional de una plantación, sin embargo, no todos presentaron la misma eficacia ni se pudieron emplear en el mismo periodo de tiempo. En todos los casos fue difícil establecer relaciones directas entre un solo nutriente y los valores de los índices obtenidos, puesto que el diseño de estos no estaba encaminado a la detección de carencias nutricionales específicas.

En ambos cultivares se observó que los valores del índice SPAD son consistentes a lo largo del ciclo vegetativo, así los años en que los valores al inicio del ciclo fueron bajos, se mantuvieron en niveles inferiores a otros años con valores iniciales mayores. Es posible la utilización del índice SPAD para el diagnóstico nutricional precoz en el cv. Angeleno ya que permitió establecer diferencias entre tratamientos a partir de los 60 ddpf. Al tratarse de un cultivar de ciclo largo, cuya fecha de recolección es a los 180 ddpf, este índice resultó igualmente útil para el cv Red Beaut en la mayoría de sus nutrientes permitiendo establecer diferencias entre tratamientos a partir de los 60 ddpf, estabilizándose la medida en hojas a los 60-90 ddpf en el año 2018, mientras que el año 2019 la estabilización de las medidas fue a partir de los 120 ddpf. En ambos cultivares se observó una tendencia similar en los valores del índice SPAD, los puntos de inflexión en las tendencias de los valores variaron de un cultivar a otro y demostrando que es necesario realizar calibraciones independientes al cultivar. La sensibilidad del sensor fue elevada, revelando diferencias significativas entre tratamientos y detectando cambios en las dosis de abonado aplicadas.

En el cultivar Red Beaut el índice de flavonoides e índice NBI medidos con Dualex® Scientific Force A, permitieron establecer diferencias claras entre tratamientos a lo largo del desarrollo del cultivo. El índice de flavonoides no presentó diferencias entre los momentos de muestreo en épocas tempranas, por lo que lo hace en un buen indicador para diagnóstico precoz en cultivares con una longitud de ciclo corto a diferencia del índice NBI que, aunque permitió distinguir diferencias entre tratamientos a lo largo de todo el ciclo, no tuvo estabilización en las medidas hasta los 180 ddpf. Los índices medidos con Dualex® Scientific Force A en el cultivar de ciclo largo Angeleno, permitieron establecer diferencias entre tratamientos, sin embargo, el índice de flavonoides, el índice de antocianos y el índice NBI fueron buenos indicadores para diagnosticar el estado nutricional del cultivo en épocas tempranas. Al tratarse de un cultivar de ciclo largo, estos índices se estabilizaron en fechas tempranas para aplicar un abonado de corrección.

El índice NDVI y el índice NDVIG en el cv. Red Beaut logró establecer diferencias entre tratamientos antes de recolección, por el contrario, en el cv. Angeleno ninguno de los índices fueron buenos indicadores del estado nutricional relativo al contenido de nitrógeno. En cuanto a la estabilización de las medidas de NDVI y NDVIG entre momentos de muestreo, en el cv. Red

Beaut y cv. Angeleno se produjeron a los 60 ddpf. Este momento de muestreo es previo a recolección en el cv. Red Beaut, mientras que en el cv. Angeleno se corresponde a menos de la mitad del ciclo. Los equipos de medidas en hoja (SPAD Minolta 502 y Dualex® Scientific Force A) mostraron mayor robustez para un correcto diagnóstico nutricional que el equipo a nivel de cubierta (Crop Circle ACS470). Las medidas que se realizan a nivel de cubierta van a estar influenciadas por la densidad de hojas en la planta, entre otros factores y puede haber interferencias con las zonas que no están cubiertas de hojas e indicar medidas erróneas.

Las correlaciones entre la concentración de nutrientes y las lecturas con los sensores ópticos han permitido establecer ecuaciones para pronosticar los contenidos de nitrógeno y del resto de los elementos minerales en los cvs. Red Beaut y Angeleno.

Es posible la utilización de medidas rápidas a través de sensores no destructivos para el diagnóstico nutricional en hojas en el cv. Red Beaut. El índice SPAD permite conocer el estado nutricional de N a lo largo de todo el ciclo; de P, K, Ca, Mg, Fe y Zn a los 30 ddpf y; a los 60 ddpf, el índice NBI para conocer el contenido de Cu y Mn.

En el cv. Angeleno, el índice NBI es un buen indicador del estado nutricional del cultivo a los 30 ddfp con el contenido de N, Ca y Mg y; a los 90 ddpf con la concentración de P, K, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn.

Para realizar un correcto estado nutricional de los cultivos es importante que las plantas estén el mismo desarrollo de cultivo respecto a los valores de referencia con los que se van a comparar. Por ello se plantea la necesidad de establecer valores de referencia ajustados al desarrollo del cultivo más que al momento de muestreo a través de la estimación de ecuaciones de concentración de nutrientes a partir de las medidas realizadas con sensores ópticos.

5.5. Bibliografía

- Abdallah, F. Ben, Philippe, W., Nutrition, J. G.-J. of P., & 2018, undefined. (2019). Comparison of optical indicators for potato crop nitrogen status assessment including novel approaches based on leaf fluorescence and flavonoid content. *Taylor & FrancisF Ben Abdallah, W Philippe, JP GoffartJournal of Plant Nutrition, 2018•Taylor & Francis, 41(20), 2705–2728*. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1510514>
- Abdallah, F. B., & Goffart, J. P. (2012). Potential indicators based on leaf flavonoids content for the evaluation of potato crop nitrogen status. *ICPA Indianapolis* . https://www.ispag.org/abstract_papers/papers/abstract_1151.pdf
- Argenta, G., Ferreira da Silva, P. R., Mielniczuk, J., & Bortolini, C. G. (2002). Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, 37(4), 519–527*. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000400014>
- Breeuwer, A., Heijmans, M. M. P. D., Robroek, B. J. M., & Berendse, F. (2008). The effect of temperature on growth and competition between Sphagnum species. *Oecologia, 156(1), 155–167*. <https://doi.org/10.1007/S00442-008-0963-8>
- Campbell, R., Mobley, K., Marini, R., & Pfeiffer, D. G. (1990). Growing conditions alter the relationship between SPAD-501 values and apple leaf chlorophyll. *HortScience, 25(3), 330–331*. <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/25/3/article-p330.xml>
- Cao, Q., Miao, Y., Wang, H., Huang, S., Cheng, S., Khosla, R., & Jiang, R. (2013). Non-destructive estimation of rice plant nitrogen status with Crop Circle multispectral active canopy sensor. *Field Crops Research, 154, 133–144*. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2013.08.005>
- Cartelat, A., Cerovic, Z., Goulas, Y., Meyer, S., Learch, C., Prioul, J.-L., Barbottin, A., Jeuffroy, M.-H., Gate, P., Agati, G., & Moya, I. (2005). Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Fied Crops Research, 91, 35–49*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037842900400139X>
- Cerovic, Z., Cartelat, A., Goulas, Y., & Meyer, S. (2005). In-the-field assessment of wheat-leaf polyphenolics using the new optical leaf-clip Dualex. *Precision Agriculture, 243–249*. <https://www.wageningenacademic.com/doi/pdf/10.3920/978-90-8686-549-9#page=245>
- Cerovic, Z. G., Masdoumier, G., Naïma, N., Ghazlen, B., & Latouche, G. (2012a). A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. *Wiley Online LibraryZG Cerovic, G Masdoumier, NİB Ghazlen, G LatouchePhysiologia Plantarum, 2012•Wiley Online Library, 146(3), 251–260*. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01639.x>
- Cerovic, Z. G., Masdoumier, G., Naïma, N., Ghazlen, B., & Latouche, G. (2012b). A new optical leaf-

clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. *Wiley Online Library*ZG Cerovic, G Masdoumier, NİB Ghozlen, G Latouche*Physiologia Plantarum*, 2012•*Wiley Online Library*, 146(3), 251–260. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01639.x>

Chishaki, N., Production, T. H.-P. N. for S. F., & 1997, undefined. (1997). Responses of secondary metabolism in plants to nutrient deficiency. *SpringerN Chishaki, T HoriguchiPlant Nutrition for Sustainable Food Production and Environment: Proceedings, 1997*•*Springer*, 43(SPEC. ISS.), 987–991. <https://doi.org/10.1080/00380768.1997.11863704>

Clay, D. E., Kim, K.-I., Chang, J., Clay, S. A., Dalsted, K., & Kim, K. (2006). Characterizing water and nitrogen stress in corn using remote sensing. *Wiley Online Library*DE Clay, KI Kim, J Chang, SA Clay, K Dalsted*Agronomy Journal*, 2006•*Wiley Online Library*, 98(3503), 579–587. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0204>

Coelho, F. S., Fontes, P. C. R., Finger, F. L., & Cecon, P. R. (2012). Avaliação do estado nutricional do nitrogênio em batateira por meio de polifenóis e clorofila na folha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(4), 584–592. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000400015>

Debaeke, P., Rouet, P., & Justes, E. (2006). Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: Application to durum wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 29(1), 75–92. <https://doi.org/10.1080/01904160500416471>

Dong, R., Miao, Y., Wang, X., Chen, Z., Yuan, F., Zhang, W., & Li, H. (2020). Estimating plant nitrogen concentration of maize using a leaf fluorescence sensor across growth stages. *Remote Sensing*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/RS12071139>

El-Jendoubi, H., Melgar, J., Álvarez-Fernández, A., San, M., Abadía, A., & Abadía, J. (2011). Setting good practices to assess the efficiency of iron fertilizers. *Plant Physiology and Biochemistry*, 49, 483–488. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0981942811000696>

El-Shikha, D., Waller, P., Hunsaker, D., ... T. C.-A. water, & 2007, undefined. (2007). Ground-based remote sensing for assessing water and nitrogen status of broccoli. *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.05.020>

Espada, J. L., & Romero, J. (2009). Comportamiento agronómico de la variedad de melocotonero “Jesca” sobre distintos patrones en replantación UNIÓN EUROPEA. *Informaciones TÉCNICAS. Dirección General de Desarrollo Rural. Centro de Transferencia Agroalimentaria. Gobierno de Aragón*, 202, 1–8.

Estiarte, M., Filella, I., Serra, J., & Peñuelas, J. (1994). Effects of nutrient and water stress on leaf phenolic content of peppers and susceptibility to generalist herbivore *Helicoverpa armigera* (Hubner). *Oecologia*, 99(3–4), 387–391. <https://doi.org/10.1007/BF00627753>

Evans, J. R. (1989). Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia*, 78(1), 9–19. <https://doi.org/10.1007/BF00377192>

- Fontes, P., Ferreira, G., Ferreira, M., & Dantas, J. (2006). *Índice SPAD e teor de clorofila no limbo foliar do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica, em duas épocas de cultivo*. <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/13208>
- Fox, R. H., & Walthall, C. L. (2015a). Crop monitoring technologies to assess nitrogen status. *Nitrogen in Agricultural Systems*, 647–674. <https://doi.org/10.2134/AGRONMONOGR49.C16>
- Fox, R. H., & Walthall, C. L. (2015b). Crop monitoring technologies to assess nitrogen status. *Nitrogen in Agricultural Systems*, 647–674. <https://doi.org/10.2134/AGRONMONOGR49.C16>
- Gérard, B., Buerkert, A., Hiernaux, P., & Marschner, H. (1997). Non-destructive measurement of plant growth and nitrogen status of pearl millet with low-altitude aerial photography. *Plant Nutrition for Sustainable Food Production and Environment*, 373–378. https://doi.org/10.1007/978-94-009-0047-9_113
- Gianquinto, G., Goffart, J. E., Olivier, M., Guarda, G., Colauzzp, M., Costa, L. D., Delle Vedove, G., Vos, J., & Mackerron, D. K. L. (2004). The use of hand-held chlorophyll meters as a tool to assess the nitrogen status and to guide nitrogen fertilization of potato crop. *Potato Research*, 47(5), 35–80. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02731970>
- Gianquinto, G., Orsini, F., Fecondini, M., Mezzetti, M., Sambo, P., & Bona, S. (2011). A methodological approach for defining spectral indices for assessing tomato nitrogen status and yield. *European Journal of Agronomy*, 35, 135–143. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030111000645>
- Gianquinto, G., Orsini, F., Pennisi, G., & Bona, S. (2019). Sources of variation in assessing canopy reflectance of processing tomato by means of multispectral radiometry. *Sensors*, 19(4730), 1–25. <https://doi.org/10.3390/s19214730>
- Gianquinto, G., Orsini, F., Sambo, P., & D'Urzo, M. P. (2011). The Use of Diagnostic Optical Tools to Assess Nitrogen Status and to Guide Fertilization of Vegetables. *HortTechnology*, 21(3), 287–292. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.21.3.287>
- Gianquinto, G., Sambo, P., & Borsato, D. (2006). Determination of SPAD threshold values for the optimisation of nitrogen supply in processing tomato. *Symposium Towards Ecologically Sound Fertilisation Strategies*, 700, 159–166. https://www.actahort.org/books/700/700_26.htm
- Gilabert, M. A., González-Piqueras, J., & García-Haro, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección*, 8, 1–10. https://www.researchgate.net/profile/Ma-Gilabert/publication/39195330_Acerca_de_los_indices_de_vegetacion/links/00b7d5187635eb5a1a000000/Acerca-de-los-indices-de-vegetacion.pdf?_sg%5B0%5D=started_experiment_milestone&origin=journalDetail
- Gitelson, A. A., Gritz, Y., & Merzlyak, M. N. (2003). Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of Plant Physiology*, 160, 160–2082. <https://doi.org/10.1078/0176-1617->

00887

- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., & Merzlyak, M. N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sens. Environ.*, *58*, 289–298. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425796000727>
- Goffart, J., Olivier, M., Research, M. F.-P., & 2008, undefined. (2008). Potato crop nitrogen status assessment to improve N fertilization management and efficiency: past–present–future. *SpringerJP Goffart, M Olivier, M FrankinetPotato Research, 2008•Springer, 51(3–4)*, 355–383. <https://doi.org/10.1007/s11540-008-9118-x>
- Goulas, Y., & Cerovic, Z. G. (2004). *Dualex: a new instrument for field measurements of epidermal ultraviolet absorbance by chlorophyll fluorescence*.
- Hatfield, J., Gitelson, A., ... J. S.-A., & 2008, undefined. (2008a). Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. *Wiley Online LibraryJL Hatfield, AA Gitelson, JS Schepers, CL WalthallAgronomy Journal, 2008•Wiley Online Library, 100(3 SUPPL.)*. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0370c>
- Hatfield, J., Gitelson, A., ... J. S.-A., & 2008, undefined. (2008b). Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. *Wiley Online LibraryJL Hatfield, AA Gitelson, JS Schepers, CL WalthallAgronomy Journal, 2008•Wiley Online Library, 100(3 SUPPL.)*. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0370c>
- Hurtado, E., González-Vallejos, F., Roper, C., Bastías, E., & Mazuela, P. (2017). Propuesta para la determinación del contenido de clorofila en hojas de tomate. *SciELO Chile, 35(4)*, 129–130. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292017000400129&script=sci_arttext
- Hurtado, S. M. C., Silva, C. A., Resende, A. V., Corazza, E. J., Shozo, L., & Stoshi, F. (2010). Sensibilidade do clorofilômetro para diagnóstico nutricional de nitrogênio no milho. *Cienc. Agrotec.*, *34(3)*, 688–697. <https://www.scielo.br/j/cagro/a/zr3VzX3C9Fj966KZHpt9HML/>
- Jia, L., Bürkert, A., Chen, X., Roemheld, V., Research, F. Z.-F. C., & 2004, undefined. (2004). Low-altitude aerial photography for optimum N fertilization of winter wheat on the North China Plain. *Field Crops Research, 89*, 389–395. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.02.014>
- Király, Z. (1964). Effect of Nitrogen Fertilization on Phenol Metabolism and Stem Rust Susceptibility of Wheat. *Journal of Phytopathology, 51(3)*, 252–261. <https://doi.org/10.1111/J.1439-0434.1964.TB03432.X>
- Landry, L. G., Stapleton, A. E., Lim, J., Hoffman, P., Hays, J. B., Walbot, V., & Last, R. L. (1997). An Arabidopsis photolyase mutant is hypersensitive to ultraviolet-B radiation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 94(1)*, 328–332. <https://doi.org/10.1073/PNAS.94.1.328>
- Leece, D., & Gilmour, A. (1974). Diagnostic leaf analysis for stone fruit. 2. Seasonal changes in the

- leaf composition of peach. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 14(71), 822–827. <https://doi.org/10.1071/EA9740822>
- León, A. P., Viña, S. Z., Frezza, D., Chaves, A., & Chiesa, A. (2007). Estimation of chlorophyll contents by correlations between SPAD-502 meter and chroma meter in butterhead lettuce. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38(19–20), 2877–2885. <https://doi.org/10.1080/00103620701663115>
- Li, J. W., Zhang, J. X., Zhao, Z., Lei, X. D., Xu, X. L., Lu, X. X., Weng, D. L., Gao, Y., & Cao, L. K. (2013). Use of fluorescence-based sensors to determine the nitrogen status of paddy rice. *Journal of Agricultural Science*, 1–10. <https://doi.org/10.1017/S0021859612001025>
- Li, YC., Alva, AK., Calvert, DV., & Zhang, M. (1998). A rapid nondestructive technique to predict leaf nitrogen status of grapefruit tree with various nitrogen fertilization practices. *HortTechnology*, 8(1), 81–86. <https://journals.ashs.org/horttech/view/journals/horttech/8/1/article-p81.xml>
- Ma, B. L., Morrison, M. J., & Dwyer, L. M. (1996). Canopy light reflectance and field greenness to assess nitrogen fertilization and yield of maize. *Agronomy Journal*, 88(6), 915–920. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ1996.00021962003600060011X>
- Markwell, J., Osterman, J. C., & Mitchell, J. L. (1995). Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. *Photosynthesis Research*, 46(3), 467–472. <https://doi.org/10.1007/BF00032301>
- Martínez, D., & Guiamet, J. J. (2004). Distortion of the SPAD 502 chlorophyll meter readings by changes in irradiance and leaf water status. *Agronomic*, 24, 41–46. <https://doi.org/10.1051/agro:2003060>
- Martínez-Alcántara, B., Quiñones, A., Primo-Millo, E., & Legaz, F. (2011). Movilización del nitrógeno de reservas en plantaciones de cítricos en función de la fertilización. *Vida Rural. Dossier Cítricos*, 46–50.
- McClure, J. W. (1979). The Physiology of Phenolic Compounds in Plants. *Biochemistry of Plant Phenolics*, 525–556. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-3372-2_16
- Monje, O. A., & Bugbee, B. (1992). Inherent limitations of nondestructive chlorophyll meters: a comparison of two types of meters. *HortScience*, 27(1), 69–71. <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/27/1/article-p69.xml>
- Montañés, L., & Sanz, M. (1994). Prediction of reference values for early leaf analysis for peach trees. *Journal of Plant Nutrition*, 17(10), 1647–1657. <https://doi.org/10.1080/01904169409364837>
- Motomiya, A. V., Molin, J. P., & Chiavegato, J. (2009). Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13(2), 137–145. <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/6VmpkdbLcZ89QVgvtvQC6Gcq/>
- Novichonok, E. V., Novichonok, A. O., Kurbatova, J. A., & Markovskaya, E. F. (2016). Use of the

atLEAF+ chlorophyll meter for a nondestructive estimate of chlorophyll content. *Photosynthetica*, 54(1), 130–137. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0172-8>

Ollinger, S. V. (2011). Sources of variability in canopy reflectance and the convergent properties of plants. *New Phytologist*, 189(2), 375–394. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03536.x>

Padilla, F. M., Farneselli, M., Gianquinto, G., Tei, F., & Thompson, R. B. (2020). Monitoring nitrogen status of vegetable crops and soils for optimal nitrogen management. *Agricultural Water Management*, 241. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2020.106356>

Padilla, F. M., Gallardo, M., Peña-Fleitas, T. M., De Souza, R., & Thompson, R. B. (2018). Proximal Optical Sensors for Nitrogen Management of Vegetable Crops: A Review. *Sensors*, 18(2083), 1–23. <https://doi.org/10.3390/s18072083>

Padilla, F. M., Peña-Fleitas, M. T., Gallardo, M., Giménez, C., & Thompson, R. B. (2017). Derivation of sufficiency values of a chlorophyll meter to estimate cucumber nitrogen status and yield. *Computers and Electronics in Agriculture*, 141, 54–64. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169916312212>

Padilla, F. M., Peña-Fleitas, M. T., Gallardo, M., & Thompson, R. B. (2015). Threshold values of canopy reflectance indices and chlorophyll meter readings for optimal nitrogen nutrition of tomato. *Annals of Applied Biology*, 166(2), 271–285. <https://doi.org/10.1111/AAB.12181>

Padilla, F., Peña-Fleitas, M., Gallardo, M., & Thompson, R. B. (2014a). Evaluation of optical sensor measurements of canopy reflectance and of leaf flavonols and chlorophyll contents to assess crop nitrogen status of muskmelon. *Eur. J. Agron*, 58, 39–52. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030114000471>

Padilla, F., Peña-Fleitas, M., Gallardo, M., & Thompson, R. B. (2014b). Evaluation of optical sensor measurements of canopy reflectance and of leaf flavonols and chlorophyll contents to assess crop nitrogen status of muskmelon. *European Journal of Agronomy*, 58, 39–52. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030114000471>

Padilla, F., Peña-Fleitas, M. T., Gallardo, M., & Thompson, R. (2016). Proximal optical sensing of cucumber crop N status using chlorophyll fluorescence indices. *European Journal of Agronomy*, 73, 83–97. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030115300484>

Parry, C., Jr, J. B., Plant, B. B., environment, cell &, & 2014, undefined. (2014). In situ measurement of leaf chlorophyll concentration: analysis of the optical/absolute relationship. *Wiley Online Library* Parry, JM Blonquist Jr, B Bugbee Plant, Cell & Environment, 2014•Wiley Online Library, 37(11), 2508–2520. <https://doi.org/10.1111/pce.12324>

Parvizi, Y., Ronaghi, A., Maftoun, M., & Karimian, N. A. (2004). Growth, nutrient status, and chlorophyll meter readings in wheat as affected by nitrogen and manganese. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 35(9–10), 1387–1399. <https://doi.org/10.1081/CSS-120037553>

- Peryea, F. J., & Kammereck, R. (1997). Use of Minolta SPAD-502 chlorophyll meter to quantify the effectiveness of mid-summer trunk injection of iron on chlorotic pear trees. *Journal of Plant Nutrition*, 20(11), 1457–1463. <https://doi.org/10.1080/01904169709365348>
- Porro, D., Dorigatti, C., Stefanini, M., & Ceschini, A. (2000). Use of SPAD meter in diagnosis of nutritional status in apple and grapevine. *IV International Symposium on Mineral Nutrition of Deciduous Fruit Crops*. https://www.actahort.org/books/564/564_28.htm
- Prado, R., & Wyllyam, D. (2008). NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO NA LEITURA SPAD EM PORTA-ENXERTO DE LIMOEIRO CRAVO. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 38, 227–232. <https://www.redalyc.org/pdf/2530/253020303001.pdf>
- Prieto, M. H., González, J. A., Campillo, C., Fórtés, R., Millán, S., & González, V. (2014). Evaluación de diferentes medidas de planta para la guía de la fertilización nitrogenada de la coliflor. Ensayos en Extremadura. *Actas V Jornadas Fertilización SECH*, 66, 31–36.
- Ramos, C., Rivacoba, L., Prieto, H., Berbegall, F., & Pardo, A. (2014). Evaluación de diferentes medidas de planta para la guía de la fertilización nitrogenada de la coliflor. Ensayos en tres zonas de España. *V Jornadas Fertilización SECH. Actas de Horticultura*, 66, 37–40. <http://www.sech.info/ACTAS/Acta%20n%C2%BA%2066.%20V%20Jornadas%20del%20grupo%20de%20fertilizaci%C3%B3n/Sesi%C3%B3n%201.%20Cultivos%20Hort%C3%ADcolas/Evaluaci%C3%B3n%20de%20diferentes%20medidas%20de%20planta%20para%20la%20gu%C3%ADa%20de%20la%20fertilizaci%C3%B3n%20nitrogenada%20de%20la%20coliflor.%20Ensayos%20en%20tres%20zonas%20de%20Espa%C3%B1a.pdf>
- Reis, A., Junior, E. F., Buzetti, S., & Bragantia, M. A. (2003). Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. *Bragantia*, 65(1), 163–171. <https://www.scielo.br/j/brag/a/TRMg3BzYn6fpRz4FVjMVddC/>
- Ribeiro, A., Leoschua, K., De Pádua Sousa, A., & Martinez, R. A. (2015). Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de lisianthus en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido. *IDESISA*, 33, 97–105.
- Richardson, A. D., Duigan, S. P., & Berlyn, G. P. (2002). An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New Phytologist*, 153(1), 185–194. <https://doi.org/10.1046/J.0028-646X.2001.00289.X>
- Rincón, A., & Adolfo, G. (2010). Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(2), 122–128. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/36834>
- Rivacoba, L. (2016). Evaluación de medidas de nitrógeno en planta para su uso como sistema de recomendación de abonado nitrogenado en el cultivo de coliflor. *Tesis Doctoral*, 1–217. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=50246>
- Rivacoba, L., Vázquez, N., Suso, M., Grupo, A. P.-A. V. J. del, & 2014, undefined. (2014). Evaluación

de diferentes medidas de planta para la guía de la fertilización nitrogenada de la coliflor. Ensayos en La Rioja. V *Jornadas Fertilización SECH. Actas de Horticultura*, 66, 24–30. <http://www.sech.info/ACTAS/Acta%20n%C2%BA%2066.%20V%20Jornadas%20del%20grupo%20de%20fertilizaci%C3%B3n/Sesi%C3%B3n%201.%20Cultivos%20Hort%C3%ADcolas/Evaluaci%C3%B3n%20de%20diferentes%20medidas%20de%20planta%20para%20la%20gu%C3%ADa%20de%20la%20fertilizaci%C3%B3n%20nitrogenada%20de%20la%20coliflor.%20Ensayos%20en%20La%20Rioja.pdf>

Rodrigo, M. C., López, D., Carazo, N., & Ramos, C. (2006). El análisis rápido de savia y la medida de clorofila como indicadores de la nutrición nitrogenada en la alcachofa. In *Nutrición mineral: Aspectos fisiológicos, agronómicos y ambientales* (Vol. 2). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5605566>

Saavedra, M. F. (2021). *Evaluación de accesiones de tomate para eficiencia de uso del nitrógeno*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/177995>

Sauceda, C. P., López, B. E., Ayala, Q. A., Valenzuela, F. A., Sifuentes, I. E., & Flores, A. A. (2022). Reflectancia y transmitancia para diagnosticar la fertilización nitrogenada en maíz (*Zea mays* L.). In Carlos Enrique Ail Catzim, Blanca Margarita Montiel Batalla, & Marisol Galicia Juárez (Eds.), *Investigación en Ciencias Agrícolas. Desarrollo científico y tecnológico en la producción agrícola sustentable* (Primera. Astra). https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Ail/publication/368755831_Investigacion_en_Ciencias_Agricolas_Desarrollo_cientifico_y_tecnologico_en_la_produccion_agricola_sustentable/links/63f846b60d98a97717b28071/Investigacion-en-Ciencias-Agricolas-Desarrollo-cientifico-y-tecnologico-en-la-produccion-agricola-sustentable.pdf#page=735

Schepers, J. S., Blackmer, T. M., Wilhelm, W., Resende, M., & Schepers', J. S. (1990). Transmittance and reflectance measurements of cornleaves from plants with different nitrogen and water supply. *Journal of Plant Physiology*, 148, 523–529. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S017616179680071X>

Sellers, P. J. (1985). Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *International Journal of Remote Sensing*, 6(8), 1335–1372. <https://doi.org/10.1080/01431168508948283>

Sexton, P., & Carroll, J. (2002). Comparison of SPAD chlorophyll meter readings vs. Petiole nitrate concentration in sugarbeet. *Journal of Plant Nutrition*, 25(9), 1975–1986. <https://doi.org/10.1081/PLN-120013288>

Steyn, W. J., Wand, S. J. E., Holcroft, D. M., & Jacobs, G. (2002). Anthocyanins in vegetative tissues: A proposed unified function in photoprotection. *New Phytologist*, 155(3), 349–361. <https://doi.org/10.1046/J.1469-8137.2002.00482.X>

Thompson, R. B., Tremblay, N., Fink, M., Gallardo, M., & Padilla, F. M. (2017). Tools and Strategies for Sustainable Nitrogen Fertilisation of Vegetable Crops. In *Advances in Research on*

Fertilization Management of Vegetable Crops. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53626-2_2

Tremblay, N., Bélec, C., Jenni, S., Fortier, E., & Mellgren, R. (2009). The Dualex—a new tool to determine nitrogen sufficiency in broccoli. *Acta Horticulturae. Proc. IS on Appl. of Precision Agric. for Fruits and Vegetales*, 824, 121–132. https://www.actahort.org/books/824/824_13.htm

Tremblay, N., Wang, Z., & Bélec, C. (2007). Evaluation of the dualex for the assessment of corn nitrogen status. *Journal of Plant Nutrition*, 30(9), 1355–1369. <https://doi.org/10.1080/01904160701555689>

Tremblay, N., Wang, Z., & Cerovic, Z. G. (2012). Sensing crop nitrogen status with fluorescence indicators. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(2), 451–464. <https://doi.org/10.1007/S13593-011-0041-1>

Usha, K., & Singh, B. (2013). Potential applications of remote sensing in horticulture—A review. *Scientia Horticulturae*, 153, 71–83. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423813000241>

Varvel, G., Wilhelm, W., ... J. S.-A., & 2007, undefined. (2007). An algorithm for corn nitrogen recommendations using a chlorophyll meter based sufficiency index. *Wiley Online Library*, 99(3), 701–706. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0190>

Vasconcelos, R., Mello, R., Reyes, A., & Cainoe, G. (2014). Efecto del horario de medición, posición y porción de la hoja en los índices de clorofila en la papa. *IDESIA*, 32(4), 23–28. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292014000400004&script=sci_arttext&tlng=en

Westerveld, S., McKeown, A., Scott-Dupree, C. D., & McDonald, M. R. (2004). Assessment of chlorophyll and nitrate meters as field tissue nitrogen tests for cabbage, onions, and carrots. *HortTechnology*, 14(2), 179–188. <https://journals.ashs.org/horttech/view/journals/horttech/14/2/article-p179.xml>

Yang, W., Li M., & Sigrimis, N. (2010). Estimating nitrogen content of cucumber leaves based on NIR spectroscopy. *Sensor Letters* 201, 8(1), 145–150. <https://www.ingentaconnect.com/contentone/asp/senlet/2010/00000008/00000001/art00027>

YU, H., WU, H.-S., & Wang, Z.-J. (2010). Evaluation of SPAD and Dualex for in-season corn nitrogen status estimation. *Acta Agronomica Sinica*, 36(5), 840–847. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875278009600511>

Zaida, M. C. (2017). Respuestas ecofisiológicas y moleculares de *Opuntia streptacantha* bajo condiciones de estrés térmico. *Tesis Doctoral* 1, 1–151. <http://148.224.97.92/xmlui/bitstream/handle/i/5699/Zaida%20Zarely%20Ojeda%20Perez%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Zhu, J., Tremblay, N., & Liang, Y. (2012). Comparing SPAD and atLEAF values for chlorophyll assessment in crop species. *Canadian Journal of Soil Science*, 92(4), 645–648. <https://doi.org/10.4141/CJSS2011-100>

DISCUSIÓN GENERAL

6. DISCUSIÓN GENERAL

En Extremadura el cultivo del ciruelo japonés y del melocotonero se extiende fundamentalmente a lo largo de todas las Vegas del Guadiana, divididas en Vegas Altas y Vegas Bajas, por ello los trabajos realizados en este estudio se han distribuido en la principal zona de cultivo de la región.

El análisis de las características fisicoquímicas de los suelos ha indicado una considerable variabilidad en los parámetros edáficos, influyen sobre la disponibilidad de los nutrientes para las plantas y que implica un manejo diferencial en las prácticas agrícolas en lo referente a la aplicación del agua de riego y los fertilizantes. Así, los suelos de Vegas Altas se caracterizan por tener una textura fundamentalmente Franco Arenosa, mientras que los de Vegas Bajas son Franca y Franca Arcillosa, por lo que las prácticas agrícolas referidas al aporte hídrico y de nutrientes deberían ser distintas. Los suelos arenosos presentan poca capacidad de retención y requieren riegos en menor proporción de agua y fertilizantes pero más frecuentes; mientras que los suelos Franco Arcillosos presentan mayor capacidad de retención de agua y nutrientes, aunque corren el riesgo de compactación si no se hace un buen laboreo.

Otro de los parámetros a tener en cuenta en el suelo es la acidez del suelo, ya que de su valor depende que los nutrientes estén disponibles en mayor o menor grado para las plantas; se ha visto que el pH de los suelos de las parcelas de las Vegas Bajas es mayoritariamente alcalino, esto provoca problemas de solubilidad de otros elementos minerales como el P, Fe, Cu, Mn y Zn y favorece la absorción de K (Maldonado et al., 2001). En las condiciones de las parcelas estudiadas se ha visto que los contenidos foliares a los 120 ddpf de P, Mn y Zn han sido más bajos en estos suelos alcalinos. Por el contrario, los suelos de las parcelas de Vegas Altas son ácidos lo que concuerda con la baja presencia de Ca en los mismos, siendo una de sus causas el uso continuado de fertilizantes que favorecen la acidez y en los que se recomienda para aumentar el pH la aplicación de carbonato cálcico (Ginés & Mariscal-Sancho, 2002) u otras enmiendas calizas.

Los contenidos de bases intercambiables de Ca, Mg y K, que definen en gran parte el grado de fertilidad de suelo (Molina, 2007), en general son bajos y por el contrario, los niveles de P son elevados, cuyo origen al igual que para la acidez, proviene de una fertilización excesiva durante un largo periodo de tiempo.

Otro de los aspectos fundamentales del suelo es su contenido en materia orgánica, ésta contribuye al crecimiento y desarrollo de los cultivos a través de sus efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Silva, 1998), su valor en las parcelas estudiadas ha sido baja, debido a la sobre explotación de cosechas sucesivas con cultivos que se sobrefertilizan, en los que se produce un aumento de la mineralización de la materia

orgánica, con una consiguiente disminución de la misma (Aguilera, 2000).

Docampo, (2010) indica que la cantidad de carbono en suelo, es el parámetro analítico para determinar la materia orgánica presente en el suelo, y puede ser estimada a través de factores de conversión. El contenido total potencial no influye por las prácticas de manejo en el suelo y depende de factores como el contenido de arcilla, la profundidad, la densidad de suelo y la vegetación que soporta; aun así existen diversos factores y su interacción entre ellos, que afectan a la cantidad de carbono orgánico del suelo como tipo de suelo, clima, composición mineral, topografía, biota del suelo y el tipo de material que compone la entrada del carbono al suelo, ya que no toda la materia orgánica tiene la misma composición y por tanto varían los niveles de descomposición de la misma.

Además, la capacidad de intercambio catiónico del suelo es baja y tiene una gran importancia agronómica, porque influye en las propiedades físicas del suelo como estructura, estabilidad estructura, retención y almacenamiento de agua, capacidad amortiguadora de pH, y reposición de nutrientes (Hang, 2014).

Los valores en el contenido de sodio en los suelos estudiados también son altos, lo que afecta la estructura y porosidad de los suelos, alterando la circulación de los fluidos, propiciando los encharcamientos y dificultando la renovación del aire en el suelo, lo que genera suelos excesivamente duros al secarse y se encostran con facilidad (Andreau et al., 2012).

El N total en el que se incluye una parte del nitrógeno mineralizable, es un indicador de la productividad del suelo y suministro potencial de este elemento mineral (Bautista et al., 2004). Las concentraciones de este nutriente son bajas, el 90-95 % del N total del suelo deriva de la materia orgánica del suelo y se encuentra en forma orgánica. Los restos de hojas y/o animales se descomponen en el suelo y aportan materia orgánica y N orgánico al suelo, que mediante el proceso de mineralización, el N orgánico pasa a ser N mineral y queda disponible para ser consumido por las plantas, siendo sus formas químicas más abundantes en forma de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) (Soledad & Cremona, 2022). Aunque las plantas absorben principalmente el nitrógeno en forma de nitrato y en menor medida como amonio (Antúñez-Ocampo et al., 2014), debido a la gran lixiviación que tiene la forma nítrica en el perfil del suelo, las explotaciones están sometidas a una fertilización excesiva de nitrógeno, dada que su presencia es fundamental para el desarrollo de los cultivos y que se requiere en cantidades más elevadas que cualquier otro elemento, además del carbono, hidrógeno y oxígeno (Barrera-Cobos & Sáenz, 2016). Como consecuencia de las cantidades elevadas de nitrógeno que se aplican a los cultivos y, favorecido por la facilidad de lixiviarse los nitratos en el perfil de suelo, la Unión Europea estableció el (Real Decreto 261/1996) con el objetivo de establecer las medidas necesarias para prevenir y corregir la contaminación de las aguas, causada por los nitratos de origen agrario. A nivel regional la Junta de Extremadura ha elaborado un Programa de Actuación aplicable en las Zonas Vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias en Extremadura (Orden de 9 de marzo, 2009) y, en una continua revisión

de los acuíferos y actualizando las Zonas Vulnerables (Orden de 4 de marzo de 2019).

Con todas las características físico-químicas que presentan los suelos de las Vegas del Guadiana, principal zona de cultivo de la región, se ha analizado el estado nutricional de dos especies de gran interés económica en la Comunidad, ciruelo japonés y melocotonero. La información que disponemos sobre las necesidades nutricionales de estas especies en Extremadura es escasa, aunque en la región el cultivo de la fruta de hueso, entre los que se incluye el ciruelo y melocotonero, representan a nivel nacional el 47 % y 8% respectivamente de la superficie nacional, y en producción, un 50% en ciruelo y un 6 % en melocotonero de las toneladas que se producen anualmente en España (MAPA, 2020).

De forma tradicional los planes de abonado se calculan a partir de la producción estimada sin tener en cuenta las características físico-químicas del suelo, el contenido de nutrientes que se aporta a través del agua de riego, la especie, el cultivar o el momento de desarrollo fenológico del cultivo. De acuerdo a los datos estudiados, se ha visto que existe una gran heterogeneidad en la aplicación de N, P y K a través del abonado, por lo que habría que ajustar el programa de fertilización de las plantaciones de frutales siguiendo criterios racionales y en las condiciones concretas de una localización y cultivar, de forma que los nutrientes se aporten en la cantidad justa.

En el análisis químico del agua de riego, se ha comprobado que el contenido de algunos elementos minerales como el nitrato y el magnesio es elevado. El agua empleada para el riego en la mayoría de las parcelas fue procedente de pozos, en los que existían unos niveles altos de nitratos debido a la contaminación en las aguas subterráneas por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados que percolan fácilmente en el perfil del suelo, concentrándose en los acuíferos. Además, hay que tener en cuenta la especie, el cultivar, el momento de desarrollo fenológico y la localización, que vendrá definido por las características físico-químicas del suelo, a la hora de establecer un plan de fertilización adaptado a las necesidades del cultivo.

Para conocer el estado nutricional de los cultivos, lo primero fue analizar la concentración de los elementos minerales, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn a los 120 días después de plena floración (ddpf), que es el periodo con menor cambio de concentración de nutrientes en hoja de acuerdo a la bibliografía disponible hasta el momento (Leece & Gilmour, 1974). Esto se llevó a cabo en distintos cultivares de melocotonero y ciruelo japonés, abarcando cultivares tanto de ciclo corto como de ciclo largo y plantaciones ubicadas en Vegas Altas y Vegas Bajas.

En ciruelo japonés, se observó que el contenido foliar de nitrógeno a los 120 ddpf fue más elevado en las parcelas de Vegas Bajas y, aunque en suelo el N orgánico fue bajo en todas las parcelas, se debió a una fertilización nitrogenada, propiciando una mayor concentración foliar. Los contenidos de fósforo en suelo fueron altos en todas las parcelas analizadas, sin embargo, la concentración foliar se mostró en los cultivares de Vegas Altas más elevada, que fue la que mayor aplicación de fósforo recibió por fertirrigación, por lo que la presencia de fósforo en

hojas se debió al plan de abonado principalmente y no al presente en el suelo. A pesar de que la concentración de potasio en suelo fue baja, las parcelas de ciruelo japonés no mostraron deficiencias y, en algunas parcelas de Vegas Altas se observaron excesos que fueron debidos fundamentalmente a una aplicación superior de las unidades fertilizantes de potasio. Los contenidos de calcio y magnesio en hojas presentaron una tendencia a ser excedentarias, los de calcio más elevadas en Vegas Altas, mientras que los de magnesio en Vegas Bajas. En relación a los microelementos, hierro, cobre, manganeso y zinc aunque no se tienen en cuenta en los planes de fertilización, es importante su determinación e interpretación por las posibles interacciones que puedan tener con los macronutrientes. La concentración de hierro estuvo dentro de los valores de referencia; los de cobre en exceso, fomentado por los tratamientos fitosanitarios que se aplican al cultivo; los cultivares de Vegas Altas presentaron altos contenidos de manganeso y los de Vegas Bajas, deficiencias en zinc.

En melocotonero, la concentración de nitrógeno en hojas a los 120 ddpf de forma general estuvo dentro de los límites establecidos, con bajos contenidos de N orgánico en suelo pero elevada concentración de nitratos en agua de riego y una fertilización nitrogenada más cuantiosa en Vegas Bajas. En fósforo se observó que aquellas parcelas que tenían una fertilización fosfórica más elevada, tuvieron una mayor concentración de fósforo en hojas y, aunque los contenidos de fósforo en suelo fueron altos, no influyeron en la concentración foliar. La fertilización de potasio fue más elevada en las parcelas de Vegas Bajas sin embargo, la concentración foliar fue más elevada en parcelas de Vegas Altas. La concentración de calcio y magnesio en hojas se vio favorecida por la presencia de este elemento en el agua de riego, aquellas parcelas que tuvieron unos contenidos de calcio más elevados en hojas también lo presentaron. Los micronutrientes, al igual que en ciruelo japonés, la concentración foliar de hierro estuvo dentro de los límites de referencia y, los de cobre y manganeso con una tendencia excedentaria, los de manganeso deficientes en las Vegas Bajas.

Al analizar estadísticamente el efecto de la longitud de ciclo -corto o largo- y la localización de las parcelas -Vegas Altas o Vegas Bajas- y la interacción de ambos factores en ciruelo japonés y melocotonero, tuvo una mayor repercusión en la concentración la localización de las parcelas que la longitud de ciclo, debidas a las diferentes características físico-químicas que mostró el suelo.

En los ensayos llevados a cabo en la parcela experimental, se observó que el contenido de nitrógeno a los 120 ddpf fue más elevado en el cultivar de ciclo largo, hecho justificado porque el cultivar de ciclo corto ya se había recolectado y disminuyó la aplicación de nitrógeno mediante fertirrigación. El contenido de fósforo fue más alto en el cultivar de ciclo corto, mientras que el de potasio fue más bajo. La concentración de calcio y magnesio en el cultivar de ciclo largo presentó valores dentro de la normalidad. Y en cuanto a los micronutrientes, el manganeso fue deficiente mientras que el cobre, manganeso y zinc se mostraron dentro de los valores de referencia. Cuando analizamos el efecto de la longitud de ciclo -ciclo corto o ciclo

largo- y, tratamientos -fertilizado y sin fertilizar-, en dos cultivares de ciruelo japonés en una parcela experimental en hojas a los 120 ddpf, no hubo diferencias entre ambos factores, pero analizando cada factor por separado, los resultados indicaron que en la concentración de nutrientes influyó más el factor longitud de ciclo que tratamiento, poniendo de manifiesto la importancia de la individualización de los planes de abonado.

En los cultivares de ciclo corto, la determinación de la concentración de nutrientes a los 120 ddfp resulta tardía para optimizar el abonado de corrección, los frutos estarían ya recolectados, aunque serviría para conocer el estado nutricional de cara al desarrollo del cultivo del año siguiente. Trabajos realizados por Sanz & Montañés, (1993) en melocotonero en el Valle del Ebro, han obtenido resultados positivos adelantado la toma de muestras hasta los 60 días después de plena floración o incluso extendiéndola a lo largo de todo su ciclo vegetativo. Otros autores han conseguido para diversos frutales, como melocotonero (Leece & Gilmour, 1974), ciruelo (Leece, 1975a), cerezo (Leece, 1975b) y albaricoquero (Leece & Ende, 1975) establecer modelos matemáticos que permiten adelantar la época en la que es posible el diagnóstico. Sin embargo, hay muy pocos trabajos publicados en esta línea sobre ciruelo japonés y en ningún caso validados en las condiciones de cultivo de las Vegas del Guadiana en Extremadura.

El estudio detallado de la evolución de los elementos minerales en los cultivares con distinta longitud de ciclo y tratamiento indicó que, la concentración de nitrógeno y fósforo disminuye a lo largo del ciclo al igual que los resultados que obtuvieron (Sánchez-Alonso & Lachica, 1987), mientras que el nitrógeno fue más elevado en el tratamiento fertilizado y el contenido de fósforo fue similar en ambos tratamientos. La evolución en la concentración de potasio en el cultivar de ciclo largo se caracterizó por incrementar su concentración entre los 60-90 ddpf disminuyendo hasta el fin del periodo vegetativo. La concentración de calcio y magnesio aumenta a lo largo del ciclo y con una concentración más elevada en el tratamiento sin fertilizar. El contenido de hierro fue mayor o igual en el tratamiento sin fertilizar que en el fertilizado en la mayoría de los nuestros realizados. La concentración de cobre y zinc tuvo una tendencia decreciente con concentraciones similares entre tratamientos, mientras que la de manganeso aunque con una tendencia creciente fue distinta entre años de muestreo.

En ambos cultivares, el análisis de flores se podría emplear como diagnóstico precoz del estado nutricional de nitrógeno, estos resultados coinciden con los obtenidos por (Sanz & Montañés, 1995) en melocotón, (Bouranis et al., 2001) en almendro y (Martinez et al., 2003) en café. También se obtuvieron buenos resultados en hojas 60-90 ddpf, coincidiendo con lo obtenido por (Sanz et al., 1995) en melocotonero, pero el cv. Red Beaut al ser de ciclo corto, estaría próximo a recolección y no sería efectiva la medida correctora. Mientras que en el cv. Red Beaut es posible la utilización de las flores como medida precoz de fósforo, en el cv. Angeleno, el momento de estabilización estuvo comprendido en hojas entre 150-180 ddpf y no sería efectiva la medida correctora.

Conocer el estado nutricional del cultivo a lo largo de su desarrollo vegetativo es

fundamental, pero el empleo de los métodos bioquímicos tiene el inconveniente de que tras la recogida de la muestra, tiene que realizarse su determinación analítica y la posibilidad de obtener los resultados de forma rápida es baja. Por eso, una vez que conocemos la distribución de los nutrientes a lo largo del ciclo, se planteó realizar el diagnóstico a través de equipos de medida rápida y no destructivos, que permiten que los resultados sean instantáneos para tener capacidad de intervención en caso necesario.

Los aparatos ópticos de medida en hoja han resultado viables para medir el estado nutricional de una plantación, sin embargo, no todos presentaron la misma eficacia ni se pudieron emplear en el mismo periodo de tiempo. No fue posible en todos los casos establecer relaciones directas entre un solo nutriente y los valores de los índices obtenidos, puesto que el diseño de éstos no estaba encaminado a la detección de carencias nutricionales específicas.

En aquellos casos en la que las correlaciones de los equipos fueron posibles, se llevaron a cabo regresiones entre los alores y el equipo para poder emplearlos en campo. De esta manera, el índice SPAD permite conocer el estado nutricional de N a lo largo de todo el ciclo a igual que los resultados obtenidos por Benati et al., (2021) en melocotonero; de P, K, Ca, Mg, Fe y Zn a los 30 ddpf y; a los 60 ddpf, el índice NBI para conocer el contenido de Cu y Mn. Sin embargo, en el cv. Angeleno, el índice NBI fue un buen indicador del estado nutricional del cultivo a los 30 ddpf con el contenido de N, Ca y Mg y; a los 90 ddpf con la concentración de P, K, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn.

La vida útil media de inversión de una explotación frutícola de cultivos leñosos es aproximadamente de 15 años, al tratarse de un cultivo permanente y ocupar una posición fija en el suelo, resulta más compleja la optimización de los recursos (Vallejo, 2001). Los datos climáticos recogidos en las estaciones agroclimáticas proporcionan una información valiosa, e indicaron un incremento de la temperatura a lo largo de los años de estudio y periodos con alternancia en la pluviometría. En el análisis de la evolución de los datos climáticos se observaron, cambios en la temperatura y en los patrones de pluviometría, esto debe tenerse en cuenta a la hora de diseñar el programa de riego y fertilización. Resulta imprescindible el conocimiento y la investigación para desarrollar sistemas de producción agrícolas que reduzcan o eviten las emisiones de gases de invernadero y que introduzcan acciones de adaptación al cambio climático que colaboren con las acciones de mitigación. Entre las consecuencias del cambio climático, en frutales de hueso se encuentra la reducción del frío invernal, que puede comprometer la rentabilidad del cultivo, provocando problemas en la floración, bien adelantándose en aquellos cultivares que requieren poco frío invernal o retrasándose en las variedades más exigentes en frío, afectando de forma negativa a la fructificación y posterior cosecha (Fadón et al., 2023).

Al analizar la evolución de los nutrientes en hoja a lo largo del ciclo de cultivo, observamos que la recogida de hojas para diagnóstico nutricional en días julianos no se ajustó al desarrollo del cultivo. Para un correcto análisis del estado nutricional de los cultivos es necesario que todos

los individuos se encuentren en el mismo momento de desarrollo del cultivo. Por tanto, para que el programa de fertilización sea efectivo, se plantea adaptar la distribución y dosis de los elementos minerales a las plantas en función del estado fenológico, que viene dado por los grados días acumulados del cultivo. Este hecho cobra más importancia en los últimos años, debido al adelanto o retraso de la fenología como consecuencia de la alteración de las temperaturas y la pluviometría de los últimos años.

6.1. Bibliografía

- Aguilera, S. (2000). Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. *Sociedad Chilena de La Ciencia Del Suelo*, 14, 77–85. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121065>
- Andreau, R., Gelati, P., Provaza, M., Bennardi, D., Fernández, D., & Vázquez, M. (2012). Degradación física y química de dos suelos del cordón hortícola platense: Alternativas de tratamiento. *Ciencia Del Suelo*, 30(2), 107–117. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672012000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Antúñez-Ocampo, O. M., Sandoval-Villa, M., Alcántar-González, G., & Solís-Martínez, M. (2014). Aplicación de amonio y nitrato en plantas de *Physalis peruviana* L. *Agrociencia*, 48, 805–817.
- Barrera-Cobos, O. F., & Sáenz, M. (2016). El aprovechamiento del nitrógeno por la planta con tecnología N-HIB®. *Revista Ingenio UFPSO*, 12, 85–99. <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/2127>
- Bautista, A., Etchevers, J., Del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2), 90–97. <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>
- Benati, J. A., Nava, G., & Mayer, N. A. (2021). Spad index for diagnosis of nitrogen status in “Esmeralda” peach. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 43(1), 1–6. <https://doi.org/10.1590/0100-29452021093>
- Bouranis, D. L., Chorianopoulou, S. N., Zakyntinos, G., Sarlis, G., & Drossopoulos, J. B. (2001). FLOWER ANALYSIS FOR PROGNOSIS OF NUTRITIONAL DYNAMICS OF ALMOND TREE. *Journal of Plant Nutrition*, 24(4–5), 705–716. <https://doi.org/10.1081/PLN-100103664>
- Docampo, R. (2010). La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola. *Serie Actividades de Difusión INIA Las Brujas*, 1–9. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1199/1/128221131113111309.pdf>
- Fadón, E., Rodrigo, J., & De Zaragoza, Z. (2023, March 1). Reposo y desarrollo floral en frutales de clima templado. *Vida Rural. Especial Frutales*, 50–53.
- Ginés, I., & Mariscal-Sancho, I. (2002). Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo. *Fertiberia*, 1–9.
- Hang, S. (2014). El complejo de intercambio del suelo (CI). Capacidad de intercambio catiónica (CIC). *Edafología*, 1–79. https://blog.ucc.edu.ar/edafologia/files/2014/08/Microsoft-PowerPoint-CIC_UCC_2014.pdf
- Leece, D. (1975a). Diagnostic leaf analysis for stone fruit. 4. Plum. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 15(72), 112–117. <https://doi.org/10.1071/EA9750112>
- Leece, D. (1975b). Diagnostic leaf analysis for stone fruit. 5. Sweet cherry. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 15(72), 118–122. <https://doi.org/10.1071/EA9750118>
- Leece, D., & Ende, B. den. (1975). Diagnostic leaf analysis for stone fruit. 6. Apricot. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 15(72), 123–128. <https://doi.org/10.1071/EA9750123>
- Leece, D., & Gilmour, A. (1974). Diagnostic leaf analysis for stone fruit. 2. Seasonal changes in the leaf composition of peach. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 14(71), 822–827. <https://doi.org/10.1071/EA9740822>
- Maldonado, R., Etchevers, J. D., Alcántar, G., Rodríguez, J., & Colinas, M. T. (2001). Estado nutrimental del limón mexicano en suelos calcimorficos. *TERRA Latinoamericana*, 19(2), 163–174. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57319207.pdf>

- MAPA.Ministerio de Agricultura, P. y A. (2020). Anuario de Estadística. Estadísticas Agrarias. <https://www.mapa.gob.es/Es/Estadistica/Temas/Publicaciones/Anuario-de-Estadistica/2021/Default.aspx?Parte=3&capitulo=07&grupo=9&seccion=11>.
- Martinez, H. E. P., Souza, R. B., Abadía Bayona, J., Hugo Alvarez Venegas, V., & Sanz, M. (2003). Coffee-Tree Floral Analysis as a Mean of Nutritional Diagnosis. *Journal of Plant Nutrition*, 26(7), 1467–1482. <https://doi.org/10.1081/PLN-120021055>
- Molina, E. (2007). Análisis de suelos y su interpretación. *Amino Grow International*, 1–8. <http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Suelos/SUELOS-AMINOGROWanalisisinterpretacion.pdf>
- Orden de 4 de marzo de 2019. (2019). por la que se declaran las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos de origen agrario en la Comunidad Autónoma de Extremadura. In *Diario Oficial de Extremadura* (pp. 11220–11228).
- por la que se aprueba el Programa de Actuación aplicable en las zonas vulnerables a contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias de Extremadura, *Diario Oficial de Extremadura*, 54 7289 (2009).
- Real Decreto 261/1996, de 26 de febrero. (1996). Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. *BOE* 61.
- Sánchez-Alonso, F., & Lachica, M. (1987). Seasonal trends in the elemental content of plum leaves. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 18(1), 31–43. <https://doi.org/10.1080/00103628709367801>
- Sanz, M., & Montañés, L. (1995). Flower analysis as a new approach to diagnosing the nutritional status of the peach tree. *Journal of Plant Nutrition*, 18(8), 1667–1675. <https://doi.org/10.1080/01904169509365012>
- Sanz, M., Val, J., Monge, E., & Montañés, L. (1995). IS IT POSSIBLE TO DIAGNOSE THE NUTRITIONAL STATUS OF PEACH TREES BY CHEMICAL ANALYSIS OF THEIR FLOWERS? *Acta Horticulturae*, 383, 159–164. <https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.1995.383.17>
- Silva, A. (1998). La materia orgánica del suelo. *Facultad de Agronomía*, 1–34. <http://bibliofagro.pbworks.com/f/materia+organica+del+suelo.pdf>
- Soledad, A., & Cremona, M. V. (2022). EL Nitrógeno del suelo y sus formas químicas. Ejemplo de su aplicación como indicador de deterioro de ecosistemas. *Presencia*, 77, 36–40.
- Vallejo, V. U. (2001). Morfología y desarrollo vegetativo de los frutales. *Monografías de Fruticultra*, 5, 1–213. <https://repositori.udl.cat/handle/10459.1/47019>

CONCLUSIONES GENERALES

7. CONCLUSIONES GENERALES

Para una mayor eficiencia de los planes de abonado, se debe realizar un análisis físico-químico de las muestras de suelo.

La textura del suelo es un factor clave que va a condicionar los aportes hídricos y la aplicación de productos fertilizantes.

Los suelos analizados se han caracterizado por tener un bajo contenido en materia orgánica, siendo un factor clave en las propiedades del suelo que influye sobre el desarrollo y crecimiento de los cultivos.

La capacidad de intercambio catiónico fue baja en todos los suelos, por tanto son suelos con poca capacidad de reposición de nutrientes y baja capacidad amortiguadora de pH.

Los contenidos de las bases cambiables, Ca, Mg y K, que definen la fertilidad del suelo, son bajos.

El pH del suelo ha sido distinto según la localización en las Vegas del Guadiana, en Vegas Altas los suelos presentaron un pH ácido, mientras que, en Vegas Bajas fueron alcalinos.

El contenido de P ha sido elevado en todas las parcelas como consecuencia de una sobre fertilización de las tierras en el transcurso de los años.

Los contenidos de Na en suelo han sido elevados, afectando a la estructura y porosidad de los mismos.

El N total, indicador de la productividad del suelo y suministro potencial del nitrógeno para el cultivo, ha sido bajo.

El agua de riego extraída de acuíferos, tienen altos contenidos en nitrato y magnesio y en la parcela experimental una elevada concentración de nitratos.

La concentración foliar a los 120 días después de plena floración (ddpf) en distintos cultivares comerciales de ciruelo japonés y melocotonero se vio influenciada más por la localización de las parcelas, que por la longitud de ciclo.

Los contenidos foliares a los 120 ddpf de las parcelas comerciales de ciruelo japonés presentaron una tendencia excedentaria para la mayoría de los elementos minerales analizados, solo la concentración de Fe se mostró dentro de los valores de referencia.

Los contenidos foliares a los 120 ddpf de las parcelas comerciales de melocotonero, presentaron concentraciones dentro de los valores de referencia.

La falta de uniformidad de los planes de abonado entre parcelas del mismo cultivar, se traduce en un deterioro de las propiedades del suelo, aumento de la contaminación de los acuíferos, problemas de intoxicación en las planta y pérdidas económicas para el productor.

El incremento de la temperatura y los cambios en los patrones de pluviometría hacen que el desarrollo fenológico se altere, por lo que conocer el estado nutricional a lo largo del ciclo es fundamental para adaptar los planes de abonado a las necesidades reales del cultivo.

En la parcela experimental la evolución de los nutrientes de ciruelo japonés bajo dos estrategias de fertilización a lo largo del ciclo vegetativo ha indicado que en nitrógeno, fósforo, hierro y zinc se produce una evolución decreciente; en calcio, magnesio y manganeso se observó una tendencia creciente y; en potasio un incremento seguido de una disminución.

Ha sido posible establecer fechas de muestreo para el diagnóstico precoz, adelantándonos a la fecha clásica de 120 ddpf, no viable para cultivares de ciclo corto. En el cultivar de ciclo corto Red Beaut el muestreo a 60 ddpf es válido para diagnóstico precoz y en el cultivar Angeleno, flores para el diagnóstico de calcio.

El análisis foliar presentó la sensibilidad suficiente para detectar diferencias entre distintas estrategias de fertilización sin embargo, tiene el inconveniente de falta de inmediatez en los resultados para una rápida intervención.

Los índices NDVI y NDVIG medidos a nivel de cubierta (Crop Circle ACS470) no fueron buenos indicadores para diagnóstico precoz. Las medidas que se realizan a nivel de cubierta están influenciadas por la densidad de hojas en la planta habiendo interferencias y obteniendo lecturas erróneas.

En el cultivar Red Beaut el índice SPAD ha permitido conocer el estado nutricional de nitrógeno a lo largo de todo el ciclo y, de fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro y zinc a los 30 ddpf y el índice NBI a los 60 ddpf para conocer el contenido de cobre y manganeso.

En el cultivar Angeleno el índice NBI es un buen indicador del contenido de nitrógeno, calcio y magnesio a los 30 ddfp y, a los 90 ddfpf de fósforo, potasio, magnesio, hierro, cobre, manganeso y zinc.

Las correlaciones entre la concentración de nutrientes y las lecturas con los sensores ópticos han permitido establecer ecuaciones para pronosticar los contenidos de nitrógeno y del resto de los elementos minerales en los cvs. Red Beaut y Angeleno.

Para realizar un correcto estado nutricional de los cultivos es importante que las plantas estén el mismo desarrollo de cultivo respecto a los valores de referencia con los que se van a comparar. Por ello es necesario establecer valores de referencia ajustados al desarrollo del cultivo más que al momento de muestreo a través de la estimación de ecuaciones de concentración de nutrientes a partir de las medidas realizadas con sensores ópticos.

