SaviaOlivar

GRUPO OPERATIVO AEI-AGRI

Europa
invierte en las zonas rurales

PROYECTO SaviaOlivar

Sistema de análisis vascular integrado en olivicultura

Memoria

UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural

Junta de Andalucía
Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible

AUTORES:

JUANA NIETO CARRICONDO (1)

AZMAN SAID AABIBA (2)

DIANA NAVARRETE ANTON (1)

MARINO P. REYES MARIN (2)

ROCIO ACISCLO HIERRO (1)

CARLOS CABEZAS SORIANO (3)

MARIA GARRIDO LAZARO (4)

ANTONIO M. LALLENA ROJO (5)

EMILIA FERNÁNDEZ ONDOÑO (2)

(1) OLIVARUM. FUNDACIÓN CAJA RURAL DE JAÉN

(2) DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGÍA Y QUÍMICA AGRÍCOLA. UNIVERSIDAD DE GRANADA.

(3) ASOCIACIÓN TÉCNICA DE PRODUCCIÓN INTEGRADA EN OLIVAR (ATPIOLIVAR)

(4) CORTIJO GUADIANA. GRUPO CASTILLO DE CANENA.

(5) DEPARTAMENTO DE FÍSICA ÁTOMICA, MOLECULAR Y NUCLEAR. UNIVERSIDAD DE GRANADA

PROYECTO SaviaOlivar

Sistema de Análisis Vascular Integrado en Olivicultura

(GOP31-JA-16-0010)

Proyecto subvencionado por la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía y FEADER. Este proyecto se incluye dentro del programa de Funcionamiento de los Grupos Operativos de la AEI en materia de productividad y sostenibilidad agrícola, en el marco del Programa de Desarrollo Rural de Andalucía 2014-2020.

MEMORIA

ESTE PROYECTO SE HA PODIDO LLEVAR A CABO GRACIAS A LA COLABORACIÓN DE LOS PROPIETARIOS DE LAS FINCAS DE LAS ANIMAS (DILAR, GRANADA), CAÑADA LUENGA Y DEHESILLA (ÚBEDA, JAÉN), OJÉN (OSUNA, SEVILLA), LA FUENSANTA (FUENSANTA, GRANADA) Y HORNACHUELOS (HORNACHUELOS, CÓRDOBA)

NUESTRO AGRADECIMIENTO TAMBIEN A:

-RAFAEL ROMERO CASTRO (ATPIOLIVAR)

-SERGIO CABEZAS SORIANO (ATPIOLIVAR)

-MARIELA MARTÍNEZ CHOVA, CONCEPCIÓN MARTÍNEZ SÁNCHEZ Y EMILIO MORENO VELA (C. GUADIANA Y C. LA LOMA DEL GRUPO CASTILLO DE CANENA)

-JUAN MARIA GARCIA CASTILLO (COVIDESA)

-JOSE MARIA Y ANTONIO VELASCO GIL (QUARYAT DILLAR)

-ANTONIO HARO (APTIOLIVAR)

PROYECTO SaviaOlivar

Memoria

Índice:

Página	Concepto
6	1. — **Introducción**
10	2. — **Material y métodos**
10	2.1 — Diseño del muestreo
12	2.2 — Descripción explotaciones
32	2.3 — Toma de muestras
33	2.4 — Métodos de análisis
33	2.4.1 — Suelos
34	2.4.2 — Hojas
34	2.4.3 — Savia
35	3. — **Resultados**
35	3.1 — Resultados de suelos
48	3.2 — Resultados de hojas
58	3.3 — Resultados de savia
70	4. — **Discusión**
75	5. — **Conclusiones**
80	6. — **Bibliografía**

1. — INTRODUCCIÓN

La fertilización es clave en agricultura. Ha ido variando con el tiempo, el avance, la depuración de la tecnología, el conocimiento..... y sin duda ha contribuido, de forma decisiva, en el rendimiento de los cultivos.

En los últimos años diversos autores han puesto de manifiesto que la cantidad de fertilizantes que se aplican en olivar no siempre se ajustan a las producciones obtenidas (García-Ferrer et al., 1998; Parra et al., 2002). La cuestión económica, aunque importante, no siempre ha sido lo más preocupante, sino el efecto negativo en el entorno del cultivo, con procesos de contaminación de suelos y aguas, afectando incluso a la salud del árbol y su capacidad de resistencia ante diferentes parásitos (Fernández-Escobar et al., 2001). El aporte de fertilizantes excesivo y no utilizado por el árbol, permanece en el suelo desde donde puede ser lavado hasta los acuíferos o arrastrado con el suelo erosionado.

La contaminación de nitratos ha alcanzado altos niveles en algunas zonas cultivadas. La preocupación por la salud de las personas del entorno ha obligado a diversas administraciones a regular los aportes de fertilizantes inorgánicos.

La producción integrada lleva desde hace años contribuyendo a esta regulación. Así, la ORDEN de 8 de Junio de 2010, por la que se modifica el Reglamento Específico de Producción Integrada de Olivar, regula el aporte en olivares tradicionales y olivares intensivos (tanto secano como regadío), sin embargo no establece límites para otros manejos limitándose a permitir incrementar los aportes, con la correspondiente asesoría técnica, en el caso de cultivos con cubierta vegetal viva.

El olivo necesita de los mismos elementos nutritivos que el resto de las plantas. Con deficiencias en alguno de ellos, no puede completar su ciclo vegetativo ni sustituir esta deficiencia por otro elemento. N, P, K, Mg, Ca, S, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B, S y Cl, constituyen el objetivo de la fertilización (el resto de elementos esenciales se toman a partir del agua o la fotosíntesis). En conjunto, estos elementos sólo representan aproximadamente el 5% del peso seco de un olivo, por lo que es muy fácil provocar un exceso de alguno de ellos (Parra et al, 2002). Muchos de estos elementos se encuentran en el suelo en cantidades suficientes. Su disponibilidad depende de diversos factores, entre los que cabe destacar las características físico-químicas del suelo y el manejo. Un abonado eficiente es aquel que aportara en cada momento la dosis exacta que el árbol requiere. De ahí la necesidad de un diagnóstico preciso del estado nutritivo del árbol para establecer un correcto plan de fertilización.

El método que se utiliza de forma generalizada como sistema de diagnóstico nutricional en olivo es el análisis foliar. En general se han utilizado los valores de referencia de Chapman (1966) y Beutel (1983), en hojas recogidas en la primera quincena de julio, como representativos del estado nutritivo del olivar. También han sido referencia los trabajos desarrollados por Ferreira y col. (1984) aunque, el tipo de suelo utilizado, enmascaró los resultados obtenidos especialmente para el potasio. Más recientemente, Fernández-Escobar et al. (1999) y Nieto et al. (2017) han trabajado sobre la dinámica de diferentes nutrientes a lo largo de años consecutivos. En general este sistema de diagnóstico es un método ampliamente aceptado ya en un buen número de cultivos, pero tiene sus limitaciones. La hoja es un órgano en el que tienen lugar la mayor parte de las actividades metabólicas de la planta y a la vez puede actuar como sistema de almacenaje de elementos nutritivos, lo que hace que los niveles de nutrientes que encontramos en ella sean consecuencia de toda esta actividad. Esta circunstancia afecta negativamente a la hora de establecer el diagnostico nutricional ya que la propia actividad metabólica que se desarrolla en la hoja hace que el efecto de la fertilización aparezca enmascarado y dilatado en el tiempo. Por otra parte, el periodo en el que se obtiene una estabilidad nutricional referenciada es muy corto en el tiempo (primera quincena del mes de Julio, lo que dificulta

En resumen,
algunas de las críticas que ha recibido el análisis de hojas han sido:

- La limitación del periodo de análisis al mes de julio, cuando el interés por conocer las deficiencias puede aparecer en otros periodos.
- En el caso de los estudios más antiguos la limitación de las zonas geoclimáticas o el tipo de suelo.
- La falta de datos para algunas variedades muy extendidas en algunas zonas, como hojiblanca.
- La ausencia de valores de referencia para algunos elementos, el más importante el hierro, pero también otros como el sodio o el azufre.

la actuación cuando aparecen síntomas de deficiencias en otros periodos del año.

En el trabajo de Nieto et al. (2017) se determinó, para Jaén, la variedad picual y en olivos de riego, el periodo de muestreo más adecuado, así como los valores de referencia en hoja para los principales elementos. Este estudio ha sido utilizado por numerosos técnicos y agricultores para poder realizar un diagnóstico nutricional adecuado, que ha permitido efectuar un abonado racional, acorde con las deficiencias y problemas nutricionales que presente el olivar. Esto beneficia la economía del productor y la salud del medio en el que vive.

En los últimos años se han realizado diversos estudios relacionados con los niveles de nutrientes en el xilema de diferentes plantas estableciendo dinámicas relacionadas con el aporte de nutrientes, método de extracción, estado hídrico, tipo de suelo, etc. Así, do Amarante y col. (2006) estudiaron el contenido en nitrógeno y aminoácidos en el xilema de diversas leguminosas en condiciones controladas; Cabañero y Carvajal (2007) estudiaron los niveles de K^+, Mg^{2+} y Ca^{2+}, midiendo en absorción atómica las muestras de xilema de *Capsicum annuum* L. Más recientemente (Larbi y col., 2010) han utilizado muestras de xilema para estudiar la niveles de hierro en plantas de *Beta vulgaris* L.. El hierro es interesante porque es uno de los elementos para los que el análisis foliar no ha resultado efectivo en olivo. Guérin y col. (2007) utilizaron muestras de xilema de *Ligustrum ovalifolium* Hassk, recogidas en primavera para estudiar la movilidad de nutrientes y la interacción de los compuestos de N y C en plantas con y sin fertilización. En olivar la morfología del xilema se ha asociado a la relación de las plantas con la disponibilidades de agua (Bacelar y col., 2006, Russeau y col., 2009). Por otra parte Cadahias et al. (2008) han propuesto también un método de diagnosis en savia extraída mediante un método de presión.

En muchos de estos trabajos se concluye que este método permite conocer con rapidez y precisión la movilidad y efectividad de los nutrientes aplicados. Sin embargo los resultados difieren según el método, la especie y medio edáfico y climático utilizado. Por otra parte antes del inicio del ensayo ha sido necesario tener a punto el sistema adecuado para la extracción de la savia, su conservación y su análisis.

Esta puesta a punto se ha llevado a cabo gracias un proyecto financiado por la Fundación Caja Rural de Jaén y se ha ratificado con el proyecto SAVIA, financiado por la Junta de Andalucía y fondos FEADER cuyos resultados presentamos en este manuscrito.

Establecer un diagnóstico nutricional preciso en el olivo se enfrenta a dificultades relacionadas con la fenología del cultivo así como con el manejo, capacidad productiva, etc. Por lo que se hace preciso mantener estudios de larga duración que permitan obtener resultados que contemplen las diferentes variables que afectan a este cultivo de forma que las conclusiones sean válidas.

Este proyecto ha tenido como objetivo evaluar la savia del olivo propiamente dicha, extraída por medios físicos y sin contaminación de tejidos, como material idóneo para el diagnóstico nutricional. Para ello se han establecido parcelas de ensayo/demostrativas en seis explotaciones bajo régimen de Producción Integrada y ubicadas en diferentes zonas de Andalucía. A las 4 subparcelas fijadas en cada explotación se les ha llevado un seguimiento durante 19 meses a nivel de suelo, hoja y savia, lo que unido a los datos agronómicos y climatológicos ha permitido obtener una densa información sobre la aptitud de la savia como sistema de diagnóstico.

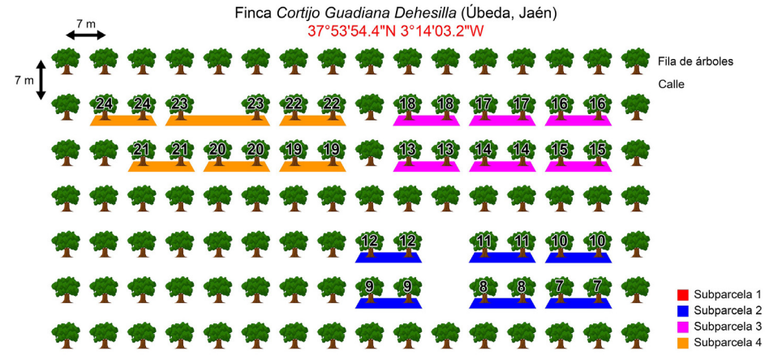
2. — MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 DISEÑO DEL MUESTREO

El proyecto se ha desarrollado en 6 explotaciones situadas en diferentes puntos de Andalucía y con dos variedades de olivo: picual y hojiblanca, elegidas estas por ser las más ampliamente cultivadas a nivel del territorio andaluz. Las características específicas de cada finca están recogidas más adelante y también en la web del proyecto:

www.saviaolivar.eu

En cada explotación colaboradora en el proyecto, se fijó una parcela de ensayo/demostración **(Figura 2.1)**, compuesta de 4 subparcelas que correspondían a otros tantos puntos de muestreos. A su vez cada subparcela estaba compuesta cada una por seis árboles (o doce, dependiendo del vigor). Los árboles que forman las subparcelas se fijaron y marcaron de forma que los muestreos se realizaran en todo momento sobre los mismos árboles.



←

Figura 2.1
Esquema de una parcela de ensayo/demostración tipo, compuesta de 4 subparcelas

En cada una de estas parcelas de ensayo/demostración, se tomaron muestras de suelos, hojas y savia en el periodo que va de abril de 2018 a octubre de 2019, ambos incluidos. Estas muestras fueron tomadas mensualmente al inicio de cada mes, a excepción de los meses de septiembre y octubre de 2019 que se intensificó el procedimiento, tomándose también a final de cada uno de estos dos meses. Esto ha dado como resultado 21 muestreos, lo que a su vez ha proporcionado un total de 1518 muestras (6 muestras de suelos para caracterización, 504 muestras de los bulbos de riego, 504 de hojas y 504 de savia). El número de determinaciones realizadas finalmente supera los 21000.

	ANÁLISIS	Nº MUESTREOS	Nº MUESTRAS	DETERMINACIONES/ MUESTRA	TOTAL ANÁLISIS
SUELOS	CARACTERIZACIÓN	6	6	25	150
	BULBO HÚMEDO	19	504	16	8064
HOJAS	MACRO-MICRONU-TRIENTES	21	504	11	5544
SAVIA	MACRO-MICRONU-TRIENTES	21	504	17	7298
NÚMERO DE DATOS RECOGIDOS					**21056**

↑

Tabla 2.1
Cuadro resumen con distribución de los análisis realizados

2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS EXPLOTACIONES

Para la caracterización del medio físico se utilizaron diversos mapas básicos y específicos de la zona.

Para los datos climáticos, además de la información recogida en los mapas de suelos realizados en las zonas de estudio, hemos utilizado los datos de las Estaciones Agroclimáticas del Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Por último, para los datos agronómicos, hemos realizado encuestas a los técnicos responsables de las explotaciones donde se realizó el estudio.

Todas las fincas están en Producción Integrada por lo que, con pequeñas diferencias, todas tienen el mismo manejo. Por ejemplo en el riego y la cantidad aplicada, que se realiza teniendo en cuenta el estado fenológico del cultivo y la climatología, priorizando desde la floración hasta el endurecimiento de hueso y envero.

El **esquema** seguido para la caracterización de todas las zonas

- **Descripción general de la zona (Factores formadores)**
  - Clima.
  - Geomorfología
  - Vegetación
- **Características del suelo representativo de la zona**
  - Suelos
  - Características analíticas
- **Características agronómicas**

EXPLOTACIÓN 1:
PICUAL-ALMAZARA QUARYAT DILLAR OLIVE OIL (GRANADA)

DESCRIPCIÓN GENERAL: FACTORES FORMADORES

La explotación **"Almazara QUARYAT DILLAR"** (coordenadas geográficas 37º N, 3º 36' W), se sitúa cerca del pueblo de Dílar y en el límite del Parque Natural de Sierra Nevada.

Sus aceites proceden de diferentes fincas cercanas que cuentan con el sello de Calidad Certificada y los certificados de Producción Ecológica y Producción Integrada, además de estar catalogado como Marca Parque Natural de Andalucía.

Para este trabajo se ha seleccionado una explotación en Producción Integrada, la situada en las proximidades de la Almazara.

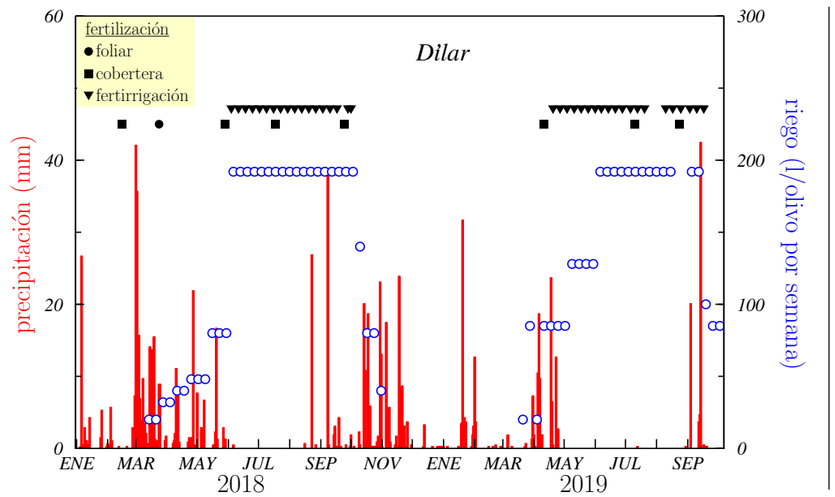
▶ CLIMA

El clima de la zona se puede describir como Mediterráneo continental. Según los datos de la Estación Agroclimática de Padul (la más cercana a la zona de estudio), las precipitaciones son escasas, con una media anual de 430 mm y una gran irregularidad interanual característica del clima mediterráneo. También la distribución mensual de las precipitaciones es muy irregular con grandes diferencias entre meses, e incluso dentro del mismo mes en los distintos años registrados. La sequía estival es muy acusada especialmente en los meses de julio y agosto.

La temperatura media anual es de 16 ºC. La estación fría abarca los meses de diciembre a enero, con temperaturas inferiores a los 10 ºC. Las heladas son frecuentes en estos meses. Los meses más cálidos son julio y agosto, con temperaturas en ocasiones superiores a los 30 ºC.

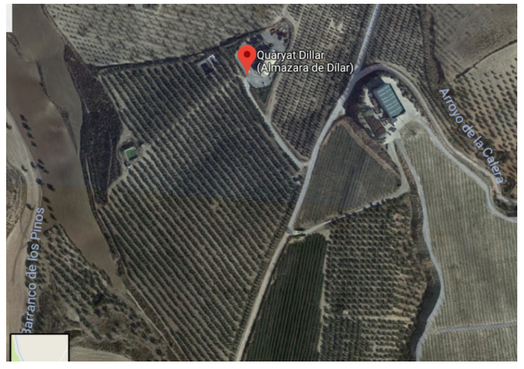
La evapotranspiración supera la precipitación gran parte del año.

2018, primer año de estudio, ha sido especialmente favorable climáticamente, la precipitación acumulada fue de 613,6 mm. Sin embargo la ETo superó considerablemente este valor y fue de 1137,07 mm. Durante el año 2019 la ETo fue algo mayor, 1200,16 mm y la precipitación descendió casi un 50%, con un valor de 339,2 mm.



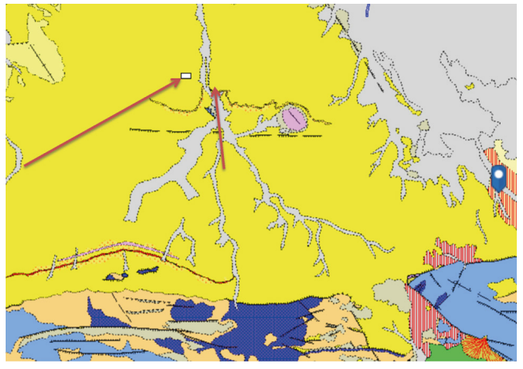
←
Figura 2.2
Precipitaciones, riego y abonado durante el periodo de estudio de la explotación de Dílar

▶ GEOMORFOLOGÍA



↑

Figura 2.3
Mapa de situación de la Almazara Quaryat Dillar (fuente: Google Map)



↑

Figura 2.4
Mapa geológico de la comarca de Dílar (MAGNA 1:50000)

La explotación se sitúa en un relieve ligeramente inclinado. Se trata de un pie de monte constituido por materiales aluviales consecuencia de la unión brusca de las laderas montañosas y las tierras bajas. Los materiales litológicos predominantes son limos, yesos, arenas y conglomerados.

▶ VEGETACIÓN

La vegetación del área queda incluida en el piso Mesomediterráneo. La comunidad climácica (*Paeonium-Quercetum rotundifoliae*) y sus etapas de sustitución (*Retamum-Genistetum speciosae, Thimo-Stipetum tenacissimae y Thimo-Lavanduletum lanatae*), tienen representación fragmentada en los alrededores de la explotación en donde el relieve se hace más abrupto.

Los olivos son de un pie y se plantaron hace 25 años.

→

Foto 2.1
Explotación Quaryat Dillar

CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

▶ CLASIFICACIÓN

Sierra et al. (1992), dentro del proyecto LUCDEME, ubica en la zona Regosoles calcáricos y Cambisoles cálcicos. Los describe formados por un material limo-arcilloso, pardo claro a rojo, fuertemente antropizado para el cultivo del olivo, con fuerte erosión hídrica laminar y en surcos. Sin embargo en la explotación de estudio, gracias al adecuado manejo con cubierta vegetal, la erosión es muy escasa.

▶ CARACTERÍSTICAS ANALÍTICAS

		ARENAS (%)					LIMO Y ARCILLA (%)		%	
Hor.	Prof. cm	Muy gruesa 2-1 mm	Gruesa 1-0,5 mm	Mediana 0,5-0,25 mm	Fina 0,25-0,1 mm	Muy fina 0,1-0,05 mm	Limo 0,05-0,002 mm	Arcilla >0,002 mm	UNIFIED <0,075 mm	Gravas >2 mm
Ap	0-40	11,7	9,0	8,4	11,9	7,3	36,5	15,2	54,7	33

		mg/100g					% Humedad		mm	
Hor.	Prof. cm	% CO	% N	C/N	P_2O_5	K_2O_5	$\%CaCO_3$	33 kPa	1500 kPa	H_2O útil
Ap	0-40	2,59	0,2	13	62,0	45,6	13,5	18,2	5,7	12,5

		pH	Bases y capacidad de intercambio catiónico $Cmol^{(+)}\ kg^{-1}$						$dS.m^{-1}$
Hor.	Prof. cm	H_2O	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	CIC	% V	C.E.
Ap	0-40	7,7	sat.	6,5	0,61	1,14	12,6	100	2,4

CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS

- **Variedad:** Picual.
- **Edad:** 25 años.
- **Porte:** Medio.
- **Marco de plantación:** 8 m x 4 m.
- **Sistema de cultivo:** Producción Integrada.
- **Manejo del suelo:** Cubierta vegetal en calles.
- **Modo de fertilización:** Superficie + Fertirrigación + Foliar.
- **Problemas fitosanitarios:** No presenta.
- **Riego:** Localizado.
  - **Volumen aportado:** 1500 m³/ha.
  - **Características del sistema de riego:** El agua procede de un sondeo propio. El riego se distribuye de marzo a junio según necesidades del cultivo, en función las lluvias de primavera y de la información de la sonda de humedad. A partir de junio y hasta septiembre, se aplican riegos deficitarios con cantidades fijas: 192 l/olivo/semana. Cada olivo recibe el riego a través de 2 goteros de 8 l/hora.
- **Productividad media:** La productividad media es de 38-42 kg/ árbol, llevando a una media de 8500 kg/ha.

EXPLOTACIÓN 2:
HOJIBLANCO-FUENSANTA (GRANADA)

DESCRIPCIÓN GENERAL: FACTORES FORMADORES

La explotación **"Hojiblanco- Fuensanta"** (coordenadas geográficas 37º 09' 52,4" N, 3º 54' 16,9" W), se sitúa cerca de la localidad de Fuensanta y en los límites de las hojas topográficas 1 008 (Montefrío) y 1 009 (Granada).

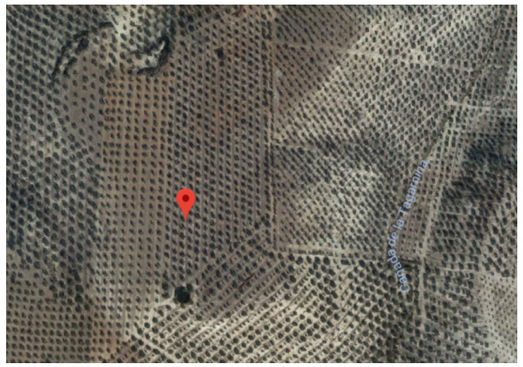
Se trata de una explotación con una extensión de 14,3 ha, de olivos de la variedad hojiblanca.

▶ CLIMA

El clima de la zona se puede describir como Mediterráneo continental. De acuerdo con los resultados de Simón et al. (1997), el régimen de humedad es Arídico y el régimen de temperatura Térmico. La estación agroclimática más cercana a la zona de estudio es la de Loja (37º 10' 09" N, 04º 08' 17" W) situada a 487 m de altitud. Las precipitaciones presentan una media anual de 447 mm (datos medios de los últimos 18 años) y son muy inferiores a la ETo del mismo periodo, que fue de 1419 mm. La variabilidad interanual es muy grande, así en el año 2018, primer de estudio de este proyecto, se ha registrado una precipitación de 625,8 mm y una ETo de 1251,07 (datos desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre de 2018). Sin embargo, en el mismo periodo del siguiente año se registraron solo 399 mm de precipitación y 1392,06 mm de ETo. La sequía estival es muy acusada, por ejemplo, durante el mes de julio de 2018, no se registraron precipitaciones.

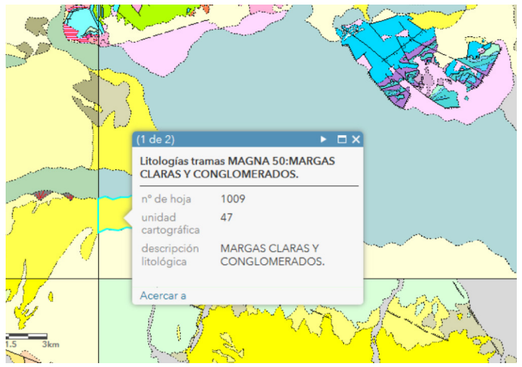
La temperatura media anual es de 16 ºC. La estación fría abarca los meses de diciembre a enero, con temperaturas inferiores a los 10 ºC. Las heladas son frecuentes en estos meses. Los meses más cálidos son julio y agosto, con temperaturas en ocasiones superiores a los 30 ºC.

▶ GEOMORFOLOGÍA



↑

Figura 2.5
Mapa de situación de Hojiblanco en Fuensanta (fuente: Google Map)



↑

Figura 2.6
Mapa geológico de la comarca de Fuensanta (MAGNA 1:50000)

La explotación se sitúa en un relieve de llano a ligeramente inclinado, aunque las parcelas las hemos situado en la posición más alta llana. Los suelos se forman sobre un conjunto de materiales compuesto mayoritariamente por lutitas, margas blancas y grises azuladas con muy frecuentes episodios conglomeráticos y arenosos.

▶ VEGETACIÓN

La vegetación del área queda incluida en el piso mesomediterráneo. La comunidad climácica *(Paeonium-Quercetum rotundifoliae)* y sus etapas de sustitución *(Retamum-Genistetum speciosae,Thimo-Stipetum tenacissimae y Thimo-Lavanduletum lanatae)*, tienen representación fragmentada en los alrededores de la explotación en donde el relieve se hace más abrupto. Sin embargo la representación de esta vegetación es muy escasa en el área de estudio.

Los olivos son de un pie y se plantaron hace aproximadamente 23 años.

↑

Foto 2.2
Hojiblanco Fuensanta (Granada)

CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

▶ CLASIFICACIÓN

Simón et al. (1997), dentro del proyecto LUCDEME, ubican en la zona Calcisoles háplicos con inclusiones de Calcisoles pétricos. Los primeros son suelos potentes con contenidos moderados de carbonatos y pH neutro o ligeramente alcalino. En general son muy fértiles. Los Calcisoles pétricos sin embargo presentan materiales conglomeráticos cementados cerca de la superficie, formando un horizonte petrocálcico. Esto a menudo limita la profundidad de enraizamiento.

Los límites entre los dos tipos de suelos están condicionados por el relieve y a menudo, como en la explotación seleccionada para este proyecto aparecen en una misma explotación.

▶ CARACTERÍSTICAS ANALÍTICAS

		ARENAS (%)					LIMO Y ARCILLA (%)		%	
Hor.	Prof. cm	Muy gruesa 2-1 mm	Gruesa 1-0,5 mm	Mediana 0,5-0,25 mm	Fina 0,25-0,1 mm	Muy fina 0,1-0,05 mm	Limo 0,05-0,002 mm	Arcilla >0,002 mm	UNIFIED <0,075 mm	Gravas >2 mm
Ap	0-40	1,4	0,8	0,8	5,6	8,6	49,1	33,7	86,3	33

		mg/100g					% Humedad		mm	
Hor.	Prof. cm	% CO	% N	C/N	P_2O_5	K_2O_5	$\%CaCO_3$	33 kPa	1500 kPa	H_2O útil
Ap	0-40	1,41	0,1	14	68,1	90,4	40,7	24,1	10,4	14

		pH	Bases y capacidad de intercambio catiónico $Cmol^{(+)}\ kg^{-1}$						$dS.m^{-1}$
Hor.	Prof. cm	H_2O	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	CIC	% V	C.E.
Ap	0-40	7,7	sat.	6,5	0,88	2,26	17,1	100	0,6

CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS

- **Variedad:** Hojiblanca.
- **Edad:** 23 años.
- **Porte:** Bueno.
- **Marco de plantación:** 9 m x 9 m.
- **Sistema de cultivo:** Producción Integrada.
- **Manejo del suelo:** Cubierta vegetal en calles.
- **Modo de fertilización:** Superficie + fertirrigación + foliar.
- **Problemas fitosanitarios:** No.
- **Riego:** Localizado.
  - **Volumen aportado:** 1500 m^3/ha.
  - **Características del sistema de riego:** El agua procede del Canal de Cacín. La instalación de riego es subterránea, con goteros integrados de 2,3 l/hora y a 1 metro de separación entre ellos. El riego se aplica de abril a finales de octubre de forma lineal, con periodicidad semanal a razón de 214 l/mes/ha.
- **Productividad media:** 6500 Kg/ha, 53Kg/árbol.

EXPLOTACIÓN 3 Y 4:
PICUAL-CAÑADA LUENGA Y CORTIJO GUADIANA (JAÉN)

Estas explotaciones pertenecen al grupo Castillo de Canena. Posee sistemas de producción en biodinámico, ecológico e integrado y por la alta calidad de sus aceites ha obtenido un amplio reconocimiento a nivel nacional e internacional. Las fincas están próximas y son representativas de los extensos olivares de la comarca olivarera La Loma. Son muy similares entre sí: la misma variedad, se plantaron en el mismo año, con el mismo marco de plantación y se tratan de la misma forma.

Los resultados de los análisis en ambas explotaciones son representativos de la repetitividad de los resultados junto con la variabilidad del olivar.

DESCRIPCIÓN GENERAL: FACTORES FORMADORES

Las explotaciones "C. Luenga" (coordenadas geográficas 37º 53' 05,5" N, 3º 14' 47,3" W), y "C. Guadiana" (coordenadas geográficas 37º 53' 54,4" N, 3º 14' 03,2" W) se sitúan se sitúa en la provincia de Jaén, cerca de las localidades de Úbeda, Jódar y Quesada, en la comarca de La Loma y en los límites de la hoja topográfica 927 (Baeza).

Estas explotaciones cuentan con 100 y 80 ha, respectivamente, de olivos de la variedad picual.

▶ CLIMA

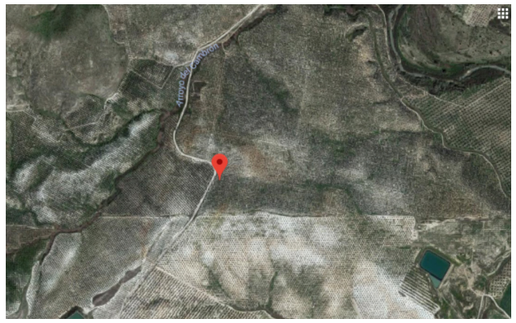
El clima de la zona se puede describir como Mediterráneo seco con inviernos fríos y relativamente húmedos y veranos calurosos y secos. De acuerdo con los resultados de Simón et al. (1997) el régimen de humedad es Xérico y el régimen de temperatura Térmico. La estación agroclimática más cercana a la zona de estudio es la de San José de los Propios (37º 51' 28" N, 03º 13' 49" W) situada a 509 m de altitud. Las precipitaciones presentan una media anual de 381 mm (datos medios de los últimos 18 años) y son muy inferiores a la ETo del mismo periodo, que fue de 1521 mm. La variabilidad interanual es muy grande, así en el año 2018, primer de estudio de este proyecto, se ha registrado una precipitación acumulada de 399 mm y una ETo de 1392,6 mm. En el año 2019 la precipitación fue prácticamente la misma, 382,8 mm, y la ETo ligeramente superior 1433,95 mm.

La temperatura media anual es de 16 ºC. La estación fría abarca los meses de diciembre a enero, con temperaturas inferiores a los 10 ºC. Las heladas son frecuentes en estos meses. Los meses más cálidos son julio y agosto, con temperaturas en ocasiones superiores a los 30 ºC.

▶ GEOMORFOLOGÍA

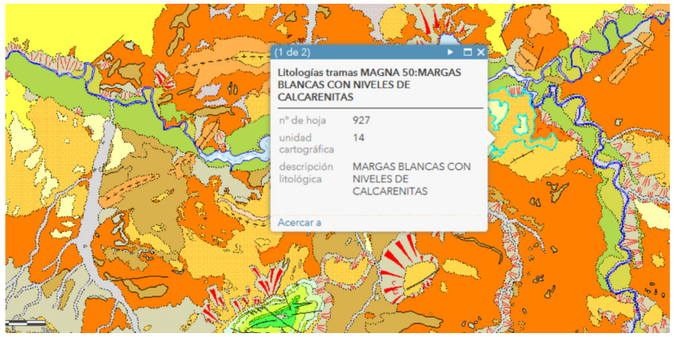
↑

Figura 2.7
Mapa de situación de C. Luenga
(fuente: Google Map)



↑

Figura 2.8
Mapa de situación de C. Guadiana
(fuente: Google Map)



←

Figura 2.9
Mapa geológico de la comarca de C. Luenga y C. Guadiana (MAGNA 1:50000)

Los suelos se forman sobre un conjunto de materiales compuesto mayoritariamente por margas blancas, aunque en el mapa geológico se señalan también niveles de calcarenitas.

La explotación se sitúa en un relieve de llano a ligeramente inclinado, con pendientes inferiores al 6 % característicos de la comarca. En general la comarca de La Loma es una sucesión de cerros testigo (restos de una antigua penillanura) y valles de fondo plano o casi plano. El paisaje es bastante homogéneo en lo referente a pendientes, pues oscila de ligeramente inclinado a moderadamente escarpado.

Los principales factores que condicionan la geomorfología de la comarca son (Soria, 2002):

1) La escasa resistencia a la erosión de margas y gran parte de las areniscas.

2) La compacidad y menor erosionabilidad de algunos paquetes de areniscas.

3) Las labores agrícolas, que desde antiguo borran rasgos erosivos anuales impidiendo su pronunciación en años sucesivos.

▶ VEGETACIÓN

La vegetación del área también queda incluida en el piso mesomediterráneo. La comunidad climácica *(Paeonium-Quercetum rotundifoliae)* y sus etapas de sustitución *(Retamum-Genistetum speciosae, Thimo-Stipetum tenacissimae* y *Thimo-Lavanduletum lanatae)*, tienen representación fragmentada en los alrededores de las explotaciones en donde el relieve se hace más abrupto. Sin embargo la representación de esta vegetación es muy escasa en el área de estudio.

La cubierta vegetal es espontánea, compuesta principalmente por gramíneas y crucíferas.

Los olivos son de un pie y se plantaron hace 24 años.

↑

Foto 2.3
Olivar de la comarca olivarera de La Loma (Jaén)

CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

▶ CLASIFICACIÓN

De acuerdo con Soria (2002), los suelos característicos de esta explotación son Regosoles calcáricos y Cacisoles háplicos, ya que, a pesar de que los contenidos en arcilla son muy elevados, y un porcentaje muy alto de la misma se ha identificado como montmorillonita, el escaso desarrollo del material edáfico determina esta clasificación.

El carácter expansible de las arcillas condiciona el desarrollo de los árboles, en general menos frondosos que el resto de explotaciones ya que frecuentemente sufren episodios periódicos de rotura de raíces superficiales. Además a esto se une que el alto porcentaje de arcilla condiciona la disponibilidad de agua.

▶ CARACTERÍSTICAS ANALÍTICAS

		ARENAS (%)					LIMO Y ARCILLA (%)		%	
Hor.	Prof. cm	Muy gruesa 2-1 mm	Gruesa 1-0,5 mm	Mediana 0,5-0,25 mm	Fina 0,25-0,1 mm	Muy fina 0,1-0,05 mm	Limo 0,05-0,002 mm	Arcilla >0,002 mm	UNIFIED <0,075 mm	Gravas >2 mm
Ap	0-20	0,1	0,1	0,1	0,4	1,7	40,6	57,0	99,0	2,6

		mg/100g					% Humedad		mm	
Hor.	Prof. cm	% CO	% N	C/N	P_2O_5	K_2O_5	$\%CaCO_3$	33 kPa	1500 kPa	H_2O útil
Ap	0-20	2,89	0,2	14	83,1	47,6	60,9	36,8	20,2	43,2

		pH	Bases y capacidad de intercambio catiónico $Cmol^{(+)}\ kg^{-1}$					dS.m^{-1}
Hor.	Prof. cm	H_2O	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	CIC	% V	C.E.
Ap	0-20	7,9	sat.	7,8	1,16	1,19	21,2	100	1,7

CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS

- **Variedad:** Picual.
- **Edad:** 24 años.
- **Porte:** Bueno.
- **Marco de plantación:** 7 m x 7 m.
- **Sistema de cultivo:** integrado (sin herbicidas).
- **Manejo del suelo:** Cubierta vegetal completa. Control con desbrozadora.
- **Modo de fertilización:** Se realiza fertirrigación con aportes puntuales mediante aplicaciones foliares, en función de las necesidades nutritivas teniendo en cuenta los análisis foliares, de agua… y las extracciones realizadas por la cosecha.
- **Problemas fitosanitarios:** No.
- **Riego:** Localizado.
  - **Volumen aportado:** 1500 m³/ha.
  - **Características del sistema de riego:** El riego se reparte teniendo en cuenta el estado fenológico del cultivo y la climatología, priorizando desde floración hasta endurecimiento de hueso y envero. El agua es captada del Rio Guadiana Menor y almacenada en una balsa de capacidad útil 363.483,90 m³. El agua se bombea desde el rio, a través de 4 electrobombas sumergidas de 20 CV cada una, a la balsa y de ahí mediante 8 bombas (4 de 250 CV, 2 de 200 CV y 2 de 75 CV), alimentadas de la red eléctrica, se distribuye a las tres naves de filtrado para regar la totalidad de la explotación.
- **Productividad media en C. Luenga:** 45 kg/árbol. Media: 9200 kg/ha.
- **Productividad media en C. Guadiana:** 38-42 kg/árbol. Media: 8500 kg/ha.

EXPLOTACIÓN 5:
PICUAL-HORNACHUELOS (CÓRDOBA)

DESCRIPCIÓN GENERAL: FACTORES FORMADORES

La explotación de **Hornachuelos** (coordenadas geográficas 37º 55' 08,1" N, 5º 18' 15,3" W), se sitúa en el Parque Natural Sierra de Hornachuelos, en la provincia de Córdoba. Es una zona con el bosque mediterráneo probablemente mejor conservado de Sierra Morena, por lo que ha sido declarado también Lugar de Interés Comunitario (LIC) y Zona de Especial Protección para las aves (ZEPA). Forma parte, Junto al Parque Natural Norte de Sevilla y el Parque Natural Sierra de Aracena y Picos de Aroche, de la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena. Geográficamente la explotación se sitúa en la hoja topográfica 921 (Las Navas de la Concepción).

Se trata de una explotación con una extensión de 25 ha, de olivos de la variedad picual.

▶ CLIMA

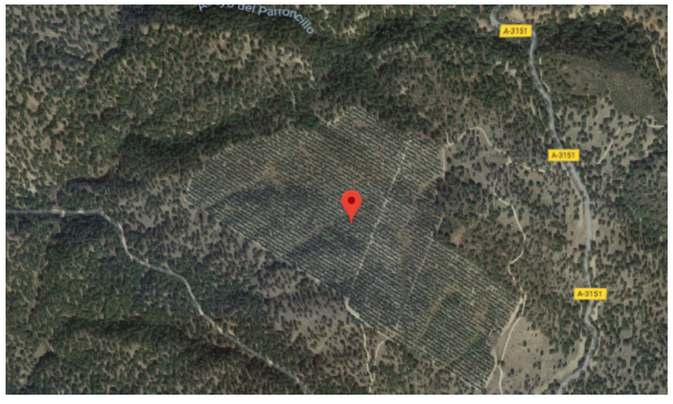
Las precipitaciones máximas, entre 500 y 800 mm se concentran en invierno, mientras que en verano, frecuentemente, no se recogen más de 10 mm. Las temperaturas están también fuertemente contrastadas y oscilan entre los valores medios de 8-10 ºC del invierno a los 25-26 ºC del verano. Estaríamos por tanto en un clima Mesomediterráneo seco.

La estación Agroclimática más cercana es la de Hornachuelos situada en la Latitud 37º 43' 11" N y la Longitud 05º 09' 36', con una altitud de Altitud de 130 m.

Las precipitaciones fueron muy diferentes en los dos años estudiados, con 672,6 mm en 2018 y solo 284,2 mm en 2019. La ETo fue menor en 2018, 1133,2 mm y se incrementó en 2019 a 1215,3 mm.

▶ GEOMORFOLOGÍA

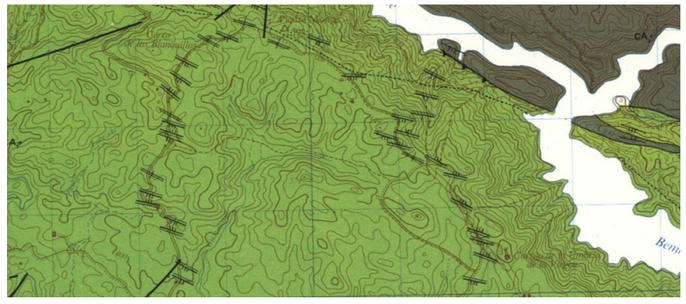
Aunque en la zona son frecuentes las zonas escarpadas, como puede observarse en la **figura 2.10**, la zona de estudio se ubica en un área con una ligera pendiente inferior al 6%.

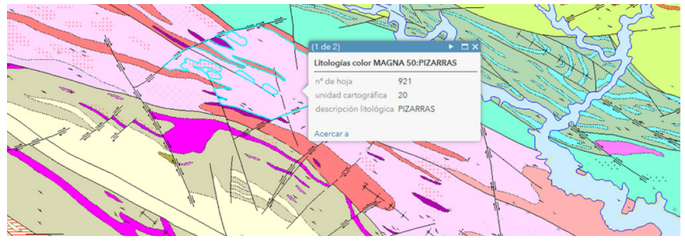


La roca madre es pizarra lo que afecta a la distribución de la vegetación natural y a las características del suelo.

←

Figura 2.10
Mapa de situación de la finca de Hornachuelos, Sierra de Hornachuelos (fuente: Google Map)





→

Figura 2.11 A,B
Mapa geológico de la finca de Hornachuelos, Sierra de Hornachuelos (MAGNA 1:50000)

▶ VEGETACIÓN

La zona es refugio de comunidades faunísticas de gran valor gracias a la vegetación de bosques mixtos de encinas, alcornoques y quejidos y de frondosas dehesas.

La vegetación natural del parque está dominada por el bosque esclerófilo mediterráneo de la encina *(Quercus ilex)* y el alcornoque *(Quercus suber)*, mientras que en vaguadas, umbrías y laderas expuestas al norte aparece el quejigo *(Quercus faginea)*.

Los olivos son de un pie y se plantaron hace 20 años.

↑

Foto 2.4
Dehesa que rodea la explotación

↑

Foto 2.5
Explotación de Hornachuelos (Sierra de Hornachuelos)

CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

▶ CLASIFICACIÓN

Siguiendo el informe técnico de Aguilar et al. (1999), los suelos de la zona se agrupan en una asociación de Cambisoles y Luvisoles desarrollados sobre pizarras y calizas del Cámbrico. El suelo de la zona de estudio se incluiría entre los Cambisoles crómicos desarrollados sobre pizarras, con un horizonte superficial de color pardo o pardo oscuro, de textura franco arenosa, estructura grumosa y moderadamente orgánico.

En el detalle de la **foto 2.6** puede observarse la capa de costra biológica que recubre el suelo, resultado del no laboreo y la humedad de la zona, y que lo protege de la erosión.

↑

Foto 2.6
Detalle de la superficie del suelo en la explotación de Hornachuelos (Sierra de Hornachuelos)

▶ CARACTERÍSTICAS ANALÍTICAS

		ARENAS (%)					LIMO Y ARCILLA (%)		%	
Hor.	Prof. cm	Muy gruesa 2-1 mm	Gruesa 1-0,5 mm	Mediana 0,5-0,25 mm	Fina 0,25-0,1 mm	Muy fina 0,1-0,05 mm	Limo 0,05-0,002 mm	Arcilla >0,002 mm	UNIFIED <0,075 mm	Gravas >2 mm
Ap	0-30	5,8	7,5	9,8	10,3	9,1	40,6	16,9	68,9	32,1

		mg/100g					% Humedad		mm	
Hor.	Prof. cm	% CO	% N	C/N	P_2O_5	K_2O_5	$\%CaCO_3$	33 kPa	1500 kPa	H_2O útil
Ap	0-30	2,5	0,3	8	98,5	52	2,7	36,8	20,2	16,6

		pH	Bases y capacidad de intercambio catiónico $Cmol^{(+)}\,kg^{-1}$						$dS.m^{-1}$
Hor.	Prof. cm	H_2O	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	CIC	% V	C.E.
Ap	0-30	6,2	sat.	4,0	1,7	1,3	22,1	100	2,4

CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS

- **Variedad:** Picual.
- **Edad:** 20 años.
- **Porte:** Medio.
- **Marco de plantación:** 6 m x 7 m.
- **Sistema de cultivo:** Producción Integrada.
- **Manejo del suelo:** Cubierta vegetal.
- **Modo de fertilización:** Cobertera+ fertirrigación +foliar.
- **Problemas fitosanitarios:** No.
- **Riego:** Localizado.
  - **Volumen aportado:** 1092 m³/ha.
  - **Características del sistema de riego:** El agua procede de un sondeo propio. El riego se efectúa de junio a octubre, durante 7 horas diarias en días alternos. Cada árbol dispone de dos goteros de 4 l/hora.
- **Productividad media:** 202.784 kg.

EXPLOTACIÓN 6:
OJÉN (OSUNA, SEVILLA)

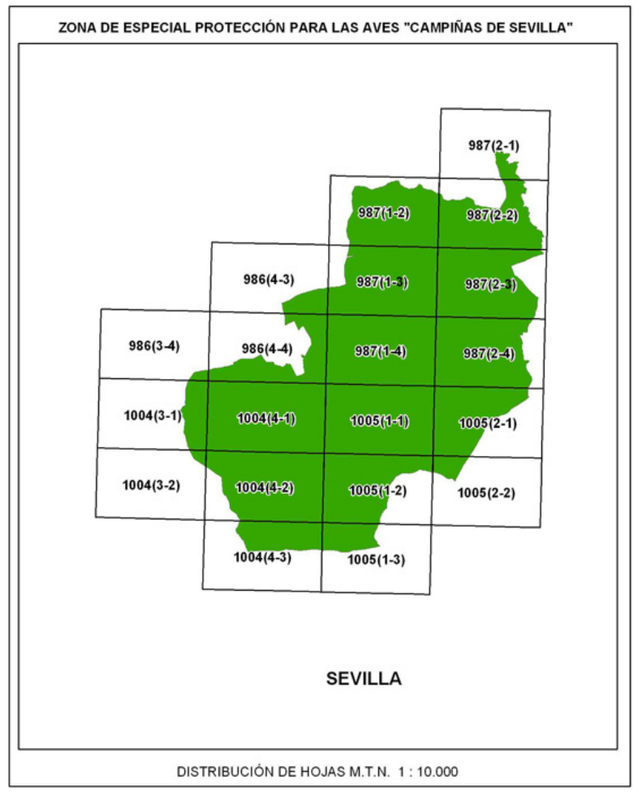
DESCRIPCIÓN GENERAL: FACTORES FORMADORES

La explotación **"Ojén"** (coordenadas geográficas 37º 19' 28,4" N, 5º 13' 25,2" W), se sitúa en la provincia de Sevilla, cerca de las localidad de Osuna, en los límites de la hoja topográfica 1004 (Marchena).

Está situada en una zona declarada ZEPA en 2008, dentro de las Zonas Especiales de Protección de Aves "Campiñas de Sevilla". Se trata de un paisaje estepario, modelado por la agricultura tradicional, que incluye las lagunas del complejo endorreico de Lantejuela, también zona ZEPA.

Destacan la gran cantidad de aves esteparias en la zona y entre ellas la avutarda. Se estima que el 25% de los machos de Andalucía se encuentran en esta zona. Estas aves están adaptadas a las actividades agrícolas, cereales y olivar mayoritariamente, pero son vulnerables a la transformación de los medios y las labores agrícolas.

Se trata de una explotación con una extensión de 20,60 ha, de olivos de la variedad hojiblanca.



→

Figura 2.12
Extensión de la zona ZEPA donde se ubica la explotación Ojén

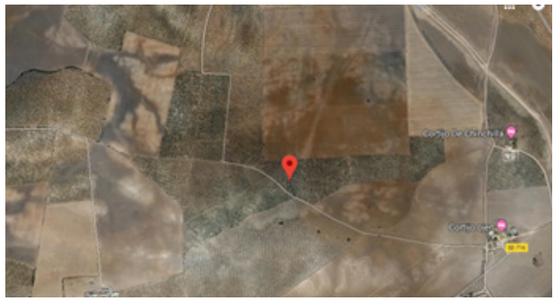
▶ CLIMA

La estación agroclimática más cercana a la zona de estudio es la de Osuna (337º 15' 18" N, 05º 08' 05" W) situada a 214 m de altitud. Las precipitaciones presentan una media anual de 439 mm (datos medios de los últimos 18 años) y son muy inferiores a la ETo del mismo periodo,

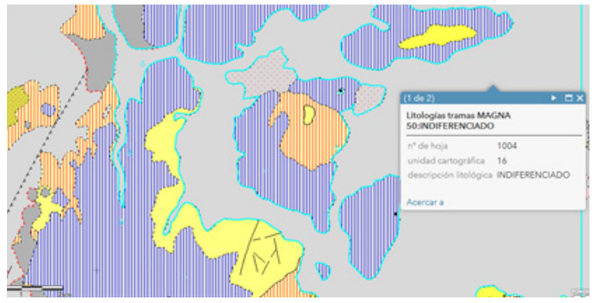
que fue de 1497 mm. La variabilidad interanual es muy grande, y el año 2018, primero de estudio de este proyecto, ha sido especialmente húmedo con 653,8 mm registrados a lo largo del año. Sin embargo la ETo en el mismo periodo duplicó este valor, con 1334,43 mm.

Durante el año 2019, la precipitación acumulada fue de solo de 303,2 mm y la ETo fue aún superior, con 1534,15 mm.

▶ GEOMORFOLOGÍA



↑
Figura 2.13
Mapa de situación de Ojén (fuente: Google Map)



↑
Figura 2.14
Mapa geológico de la comarca de Ojén (MAGNA 1:50000)

Los suelos se forman sobre un conjunto mayoritario de materiales aluviales que se identifican como cuaternario indiferenciado.

La explotación se sitúa en un relieve de llano a ligeramente inclinado, con pendientes inferiores al 6 % característicos de la comarca.

El modelado actual de la zona se origina como consecuencia de la instalación de una red fluvial que ha dado lugar a un sistema de terrazas y otros sedimentos cuaternarios que actualmente recubren gran parte de la zona.

▶ VEGETACIÓN

La zona que rodea la explotación estudiada se dedica mayoritariamente al cultivo de cereales y en menor medida de olivar. Como puede observarse en la **figura 2.13** y en la **foto 2.7** el paisaje es predominantemente agrícola y las áreas de vegetación natural son muy escasas.

Se mantiene la cubierta en las calles hasta marzo que se elimina mediante arado.

Los olivos son de un pie y se plantaron hace 16 años.

↑
Foto 2.7
Explotación de Ojén (Sevilla)

↑
Foto 2.8
Paisaje de olivar de la explotación Ojén

CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

▶ CLASIFICACIÓN

El carácter que define en mayor medida los suelos de la zona es la naturaleza caliza y sedimentaria de sus materiales. Los principales tipos de suelos son Fluvisoles, con aportes recientes de materiales y Regosoles y Luvisoles en zonas más alejadas de los aportes periódicos.

El suelo de estudio se ha clasificado inicialmente como Luvisol calcárico, desarrollado sobre calizas detríticas y areniscas, aunque moderadamente carbonatado en el horizonte superior y en el árgico.

▶ CARACTERÍSTICAS ANALÍTICAS

		ARENAS (%)					LIMO Y ARCILLA (%)		%	
Hor.	Prof. cm	Muy gruesa 2-1 mm	Gruesa 1-0,5 mm	Mediana 0,5-0,25 mm	Fina 0,25-0,1 mm	Muy fina 0,1-0,05 mm	Limo 0,05-0,002 mm	Arcilla >0,002 mm	UNIFIED <0,075 mm	Gravas >2 mm
Ap	0-20	5,1	4,1	10,1	10,4	9,7	18,6	42,0	70,3	24,6

		mg/100g					% Humedad		mm	
Hor.	Prof. cm	% CO	% N	C/N	P_2O_5	K_2O_5	$\%CaCO_3$	33 kPa	1500 kPa	H_2O útil
Ap	0-20	2,66	0,2	14	35,8	52,4	13,9	36,8	20,2	43,2

		pH	Bases y capacidad de intercambio catiónico $Cmol^{(+)}\ kg^{-1}$						$dS.m^{-1}$
Hor.	Prof. cm	H_2O	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	CIC	% V	C.E.
Ap	0-20	7,4	sat.	4,9	0,9	1,3	29,5	100	1,5

CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS

- **Variedad:** Hojiblanca.
- **Edad:** 16 años.
- **Porte:** Medio.
- **Marco de plantación:** 6 m x 7 m.
- **Sistema de cultivo:** Producción Integrada.
- **Manejo del suelo:** Se mantiene la cubierta en las calles hasta marzo, se elimina mediante arado.
- **Modo de fertilización:** : Fertirrigación + foliar.
- **Problemas fitosanitarios:** No.
- **Riego:**
  - **Volumen aportado:** 2200 m^3/ha.
  - **Características del sistema de riego:** Localizado.
- **Productividad media:** 4500-5000 kg/ha.

Localidad	Precipitación			ETo	
	2018	2019	Total precipitación	2018	2019
Dílar	613,6	339,2	952,8	1137	1200
Fuensanta	625,8	399	1024,8	1251	1392
C. Guadiana C. Luenga	399	382,8	781,8	1392,1	1433,9
Hornachuelos	672,6	284,2	956,8	1133,2	1215,3
Osuna	653,8	303,2	957	1334,43	1543,2

↑
Tabla 2.2
Resumen datos climáticos: Precipitación y evapotranspiración (ETo)

	Dílar	Fuensanta	Hornachuelos	Cortijo Guadiana	Cañada Luenga	Osuna
Provincia	Granada	Granada	Córdoba	Jaén	Jaén	Sevilla
Situación	Linde Parque Natural	Comarca de Loja	Parque Natural	Comarca de La Loma	Comarca de La Loma	Zona ZEPA
Variedad	Picual	Hojiblanca	Picual	Picual	Picual	Hojiblanca
Superficie (ha)	5	14,3	25	100	80	20,61
Edad	25	23	20	24	24	16
Marco plantación	8 x 4	9 x 9	6 x 7	7 x 7	7 x 7	6 x 7
Topografía	Ondulada	Ondulada	Ondulada	Ondulada	Ondulada	Ondulada
Sistema de cultivo	Producción Integrada	Producción Integrada	Producción Integrada	Producción Integrada (sin herbicidas)	Producción Integrada (sin herbicidas)	Producción Integrada
Manejo de suelo	Cubierta vegetal en calles	Cubierta vegetal en calles	Cubierta vegetal	Cubierta vegetal	Cubierta vegetal	Cubierta vegetal en calles
Fertilización	Cobertera + Fertirrigación + foliar	Cobertera + Fertirrigación + foliar	Cobertera + Fertirrigación + foliar	Fertirrigación + foliar	Fertirrigación + foliar	Fertirrigación + foliar
Riego m^3/ha	Localizado 1500	Localizado 1500	Localizado (pozo) 1092	Localizado 1500	Localizado 1500	Localizado 2200

↑
Tabla 2.3
Resumen datos agronómicos

2.3 TOMA DE MUESTRAS DE SUELOS, HOJAS Y SAVIA

Los muestreos de seguimiento se realizaron mensualmente, procediéndose simultáneamente a la toma de muestras de suelos, hojas y savia.

En el caso de los suelos, se llevaron a cabo dos tipos de muestreos, uno de ellos orientado a la caracterización de los suelos, para lo cual se realizaron en las explotaciones de ensayo/demostración calicatas con objeto de tomar muestras de los diferentes perfiles de cada suelo. Por otro lado y dado que lo que estudiamos en este trabajo son los cambios dinámicos que se producen en la hoja y la savia del olivo y estos parecen estar muy relacionados con el manejo, especialmente la savia, recogimos muestras del bulbo húmedo a la vez que se recogían muestras de hoja y ramas para la extracción de savia. Las muestras de suelos se embolsaban convenientemente etiquetadas para su traslado al laboratorio de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Granada, en donde se realizaron los análisis.

En el caso de las hojas la toma de muestras se realizó siguiendo el protocolo generalmente aceptado y que consiste en tomar muestra de hoja alrededor del olivo (las cuatro orientaciones), a la altura de los ojos del operador, de brotes sin fruto y tomados al azar, desechando los brotes vigorosos de crecimiento vertical según recomendaciones de Fernández-Escobar (2004). Dentro de cada brote se considera el tramo correspondiente al crecimiento del año, por lo que se han tomado exclusivamente las hojas de la parte central de este tramo y solamente hojas bien desarrolladas y expandidas, que no presenten ninguna anormalidad (ataque de plagas o enfermedades, necrosis, etc). Se tomaron las hojas completas, incluyendo el peciolo y sin la yema axilar y se conservaron en sobres de papel y en nevera hasta su entrega en el laboratorio.

Para obtener la savia se recogieron cuatro brotes de cada árbol, uno de cada orientación. Cada muestra de savia procedía, por tanto, de 24 brotes de los seis árboles que constituyen la unidad experimental (subparcela).

Los muestreos de savia junto con los de hojas y suelos se realizaron siempre en el intervalo horario de 9 a 11 h, para en lo que afecta a la savia el procedimiento estuviera estandarizado.

Las ramas más adecuadas se comprobó que eran las que contaban con una edad de 2-3 años y con varias ramificaciones. Las ramas se conservaban en bolsas negras y en lugar fresco durante la recogida, procediéndose a su traslado inmediato al laboratorio.

La extracción de la savia, así como el análisis de esta y de las hojas se realizó en Olivarum, laboratorio de Fundación Caja Rural de Jaén.

2.4 METODOS DE ANÁLISIS

2.4.1 SUELOS

Para la caracterización de los suelos de las explotaciones se realizaron los análisis más frecuentes para esta finalidad, utilizando los Métodos Oficiales de Análisis de Suelos (2004). Las determinaciones fueron: gravas, textura, bases y capacidad de intercambio catiónico, contenido en carbono orgánico, fósforo asimilable, nitrógeno, porcentaje de carbonato cálcico, pH, conductividad eléctrica, carbonatos y capacidad de retención de humedad. Para realizar estos análisis utilizamos los Métodos Oficiales de Análisis de Suelos (2004).

Para el seguimiento mensual de las parcelas los muestreos de suelo se realizaban del bulbo húmedo y en este caso los análisis realizados fueron:

- pH y Conductividad eléctrica por potenciometría en pHmetro marca Crison Basic 20 y en Conductímetro marca Crison Basic 30.
- Carbono Oxidable (método Tyuring).
- Carbono y Nitrógeno total en un analizador C/N marca LECO.
- Fósforo asimilable (método Olsen).
- Ca, K, Mg, Na solubles, a partir del extracto de saturación del suelo, medido en Espectrofotómetro de Absorción Atómica, marca SpectrAA 220 FS Varian.
- Aniones: cloruros, nitratos, sulfatos, medidos en el extracto de saturación y medidos en Cromatógrafo de aniones, marca Thermo Scientific, Dionex ICS-1100.
- Fe, Cu, Mn y Zn, extraídos con DTPA y medidos en Espectrofotómetro de Absorción Atómica, marca SpectrAA 220 FS Varian.

2.4.2 HOJAS

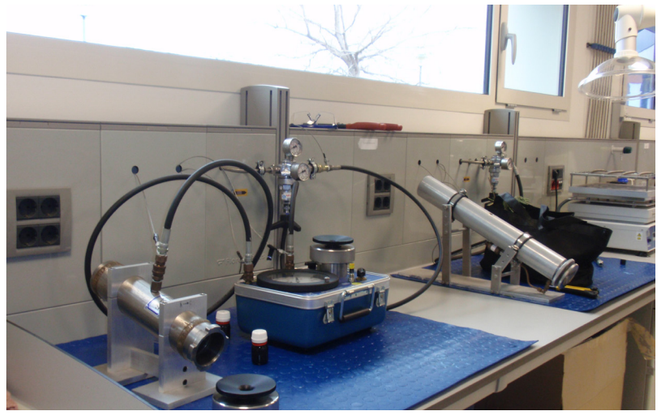
Las hojas, antes de proceder a su procesado y análisis, se lavaron con una solución de Tritón X100 a una concentración del 0,05% con fin de eliminar los restos de tierra y los residuos de los tratamientos propios del olivar, que interferirían en los análisis.

Los elementos que se han analizado en hoja son: N, P, K, Ca, Mg, Mn, Cu, Zn, Na, Fe, S y B. El análisis del nitrógeno se ha realizado mediante un analizador elemental C/N (marca Leco C/N 628). Para el resto de determinaciones se ha procedido a destruir la materia orgánica por calcinación en horno Mufla y extrayendo la fracción mineral con ácido clorhídrico al 2%; a partir de este extracto, el fósforo se analizó por el método de nitro-molibdo-vanadato en un espectrofotómetro UV/V (marca Perkin Elmer, Lambda 35), y el resto de nutrientes mediante un equipo ICP-OES (Perkin Elmer Optima 8000).

2.4.3 SAVIA

La extracción de savia se realizó mediante un equipo del tipo cámara de presión o cámara de Scholander, modificado, al contar con una cámara con tamaño suficiente para albergar las ramas de olivo **(Foto 2.9)**. Este sistema permite tener control sobre las presiones de extracción, con el fin de estandarizar el proceso. La presión dentro de la cámara se generó mediante nitrógeno. Una vez la savia extraída se fraccionaba en tubos de 5 ml para su congelación y posterior análisis.

Las determinaciones de savia se realizaron mediante ICP-OES (Perkin Elmer Optima 8000) para el caso de Na, K, Ca, Mg, Mn, Cu, Zn, Fe, B, P, S. Los aniones (cloruros, nitratos, nitritos, sulfatos y fosfatos) se analizaron mediante cromatografía aniónica (Thermo Scientific, Dionex ICS-1100). El pH se midió con un pHmetro Crison Basic 20 y la Conductividad Eléctrica con un Conductímetro Crison Basic 30.



↑

Foto 2.9

Cámara de Scholander adaptada para la extracción de savia

3. — RESULTADOS

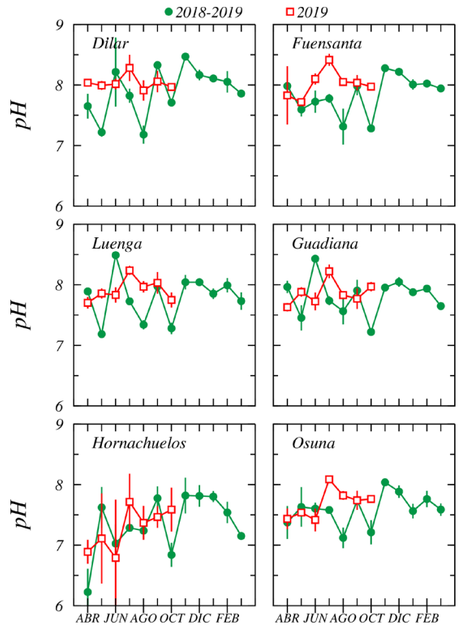
3.1 RESULTADOS DE SUELOS

pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE).

La reactividad del suelo es una propiedad físico-química que se expresa por medio del pH y hace referencia al grado de acidez, basicidad o alcalinidad. Es diferente en cada horizonte e incluso, varía en función de donde se toma la muestra (Porta et al., 2013). En nuestro estudio, en donde además las muestras se recogen en el bulbo húmedo generado por el fertirriego la mayoría de los meses, es de esperar una gran variabilidad en las medidas. Aunque aparentemente los intervalos de pH son pequeños hay que tener en cuenta que la escala de pH es logarítmica, por lo que un cambio de 1 unidad en la escala de pH equivale a un cambio de 10 unidades en la actividad de los protones.

Los intervalos de pH oscilan entre 7,5 y 8,5 para la mayoría de las explotaciones excepto para Osuna y especialmente para Hornachuelos en las que el intervalo se sitúa entre siete y ocho, aunque en Hornachuelos se han registrado valores inferiores a 6,5 **(Figura 3.1)**. Estas dos explotaciones podrían clasificarse neutras o medianamente básica, con mínimos efectos tóxicos por disponibilidad de micronutrientes y adecuada disponibilidad del resto de nutrientes. El pH por encima de 7,9 disminuye la disponibilidad de P y B y se puede presentar una deficiencia creciente de Co, Cu, Fe, Mn y Zn (Porta et al. 2013).

En nuestros datos los cambios en el pH son más frecuentes en los meses de 2018 que en el 2019. Los valores mínimos, o acercándose al mínimo, se observaron para la mayoría de las explotaciones, excepto para Hornachuelos, los meses de mayo, julio, agosto y octubre. Para Hornachuelos los valores mínimos se observaron en abril, junio y octubre. Esta explotación presenta los mayores cambios y las mayores desviaciones estándar entre las medidas realizadas. Hay que tener en cuenta que el suelo, al estar tamponado, reacciona con los iones para impedir los cambios de pH. Las modificaciones por el aporte de abonado son muy puntuales, y esto condiciona que las diferencias entre las medidas de una misma explotación sean grandes (recordamos que los resultados que presentamos son valores medios de cuatro muestras compuestas de seis o doce árboles, según el porte de los mismos, recogidas mensualmente en cada explotación). Por otra parte, los cambios en 2019 son menores que en 2018, probablemente debido a las menores precipitaciones en 2019.



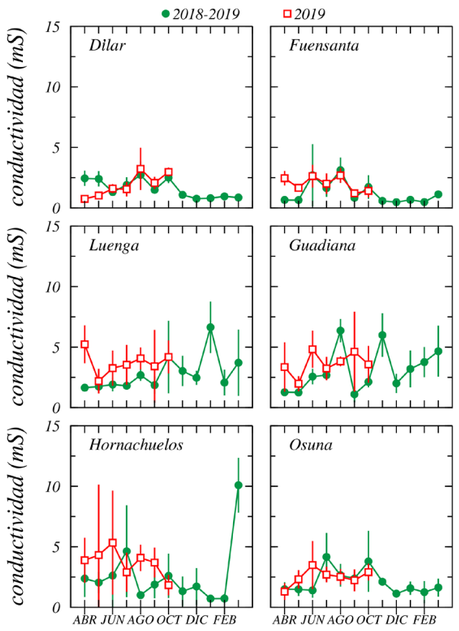
↑

Figura 3.1
pH ± DS de las muestras analizadas.
Verde, periodo de abril de 2018 a marzo de 2019;
rojo periodo de abril de 2019 a noviembre de 2019

El paso de la corriente eléctrica a través de una solución salina depende de la temperatura y de la concentración de sales. La conductividad eléctrica (CE) es una medida rápida y sencilla que se ha estandarizado en la mayoría de los laboratorios realizada en pasta saturada de suelo y medida a 25 ºC, o con temperaturas variables y un factor de corrección de dicha temperatura.

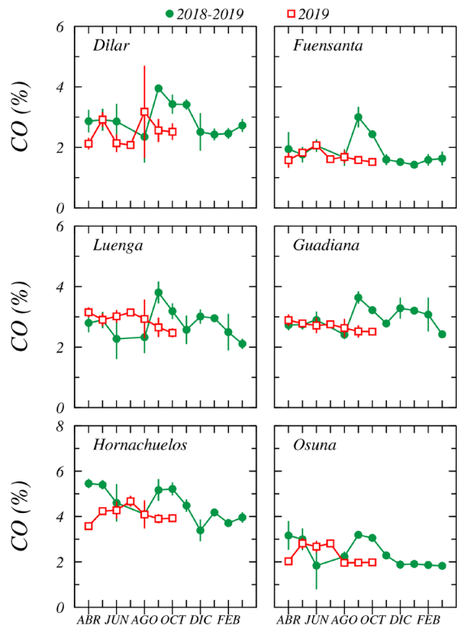
El valor crítico de conductividad eléctrica para considerar un suelo salino, fue establecido por Richard (1954) en 4 dS m^{-1} (decisiemens por metro). En algunos laboratorios se realizan pruebas previas de salinidad midiendo la CE en una solución suelo:agua 1:5. En este caso valores superiores a 0,2 dS m^{-1} indican posibles problemas de salinidad (Swaw et al., 1987).

En los suelos estudiados la CE está, en la mayoría de los casos por debajo de cuatro aunque con grandes diferencias entre meses y entre muestras, lo que condiciona grandes desviaciones estándar en las medidas. Señalar especialmente el caso de Hornachuelos, donde la diferencia entre las repeticiones mensuales fue mayor, oscilando entre valores de 10 a menores de 2, por ejemplo durante los meses de mayo y junio de 2018 **(Figura.3.2)**.



↑

Figura 3.2
CE ± DS (dS m^{-1}) de las muestras analizadas.
Verde, periodo de abril de 2018 a marzo de 2019;
rojo periodo de abril de 2019 a noviembre de 2019



↑

Figura 3.3
CO ± DS (%) de las muestras analizadas.
Verde, periodo de abril de 2018 a marzo de 2019;
rojo periodo de abril de 2019 a noviembre de 2019

CARBONO OXIDABLE. NITROGENO TOTAL

El contenido en carbono orgánico (método Tyuring) oscila para la mayoría de las explotaciones entre 2 y 3 por ciento. Aunque en algunas muestras los valores son ligeramente inferiores en otros sobrepasan estos valores. Así, Hornachuelos se diferencia del resto de las explotaciones ya que presenta un alto contenido en carbono orgánico, superior al 4% en varios meses **(Figura 3.3)**.

Estos valores tan altos en todas las fincas se explican porque las muestras están recogidas cercanas al tronco de los árboles, en donde el suelo tiene el aporte anual de la caída de la hoja. En el centro de la calle los valores son diferentes, pero no muy alejados de estos ya que en la mayoría de las explotaciones se mantiene una cubierta vegetal que se elimina con desbrozadora, excepto en Osuna, que se labra la superficie, y se aportan restos de poda. Resultados similares han sido descritos por otros autores (Rodríguez et al, 2012).

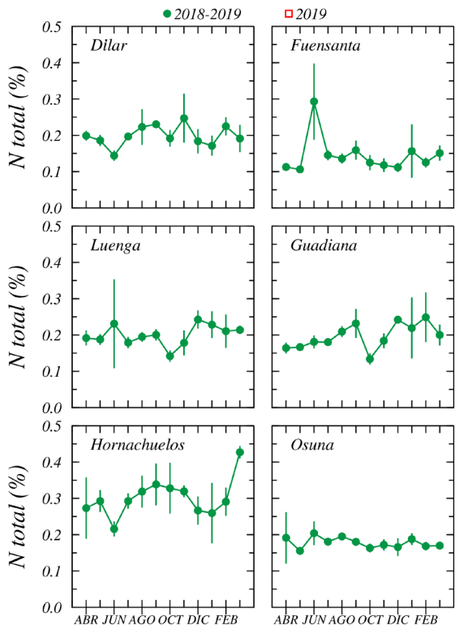
En Hornachuelos además, las altas precipitaciones favorecen la humificación de la materia orgánica de ahí los valores tan altos registrados.

El contenido en nitrógeno total (Método Dumas) también es alto, alrededor de 0,2%, con variaciones puntuales al alza, por ejemplo, junio de 2018 en Fuensanta o a la baja, por ejemplo octubre de 2018 en Guadiana **(Figura 3.4).**

Como ocurría con el carbono orgánico los valores de nitrógeno son más altos en Hornachuelos, en algunos meses superiores al 0,3% y con una curva de evolución con mínimos en los meses de junio, diciembre y enero **(Figura 3.4)**.

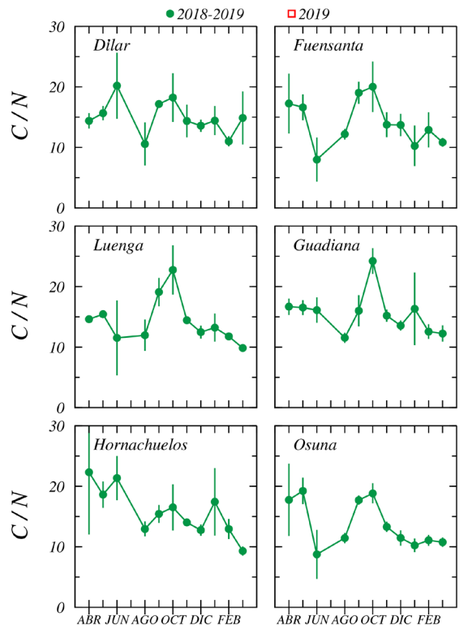
En la **Figura 3.5** se presenta la relación carbono/nitrógeno. Los valores son superiores a 10 la mayor parte de los meses y algunos de ellos cercanos a 20.

En realidad esta relación tiene sentido ecológico en un suelo agrícola cuando no ha sido recientemente fertilizado (Porta et al., 2013) pero en este caso nos aporta información de la cantidad de materia orgánica que se produce en esta zona del olivar y de la tendencia a la humificación de la misma.



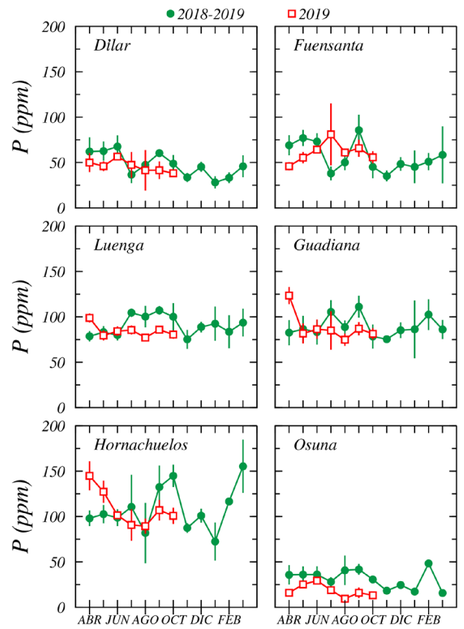
↑

Figura 3.4
N ± DS (%) de las muestras analizadas.
Verde, periodo de abril de 2018 a marzo de 2019;
rojo periodo de abril de 2019 a noviembre de 2019



↑

Figura 3.5
C/N ± DS de las muestras analizadas.
Verde, periodo de abril de 2018 a marzo de 2019;
rojo periodo de abril de 2019 a noviembre de 2019



↑

Figura 3.6
P ± DS (ppm) de las muestras analizadas.
Verde, periodo de abril de 2018 a marzo de 2019;
rojo periodo de abril de 2019 a noviembre de 2019

FÓSFORO ASIMILABLE

El papel del fósforo en la nutrición del olivar ha sido comparado con la respuesta, en hojas y fruto, al no abonado y a la aplicación de nitrato potásico y mono potasio fosfato (Sarrwy et al., 2010). La respuesta similar cuando no se aplica fósforo ha sido interpretada como una mejor respuesta al nitrato, sin quitar valor a las necesidades de fósforo. Aunque el fósforo juega un papel importante en varias reacciones metabólicas en el árbol, las concentraciones encontradas en fruto, con relaciones N:P 10:1, han hecho cuestionar a muchos autores sobre la importancia del abonado con fósforo en la producción (Mills y Jones, 1996; Fernández-Escobar, 2008).

La concentración de fósforo asimilable varia en las diferentes explotaciones, con valores que oscilan desde los 100 ppm de Luenga, Guadiana y Hornachuelos, esta última explotación con valores puntualmente cercanos a 150 ppm, a valores más bajos, de 50 ppm en Dílar, Fuensanta y Osuna **(Figura 3.6)**.

Estas concentraciones coinciden con las encontradas por otros autores (Rodrigues et al., 2012) en olivos de Portugal. El fósforo reacciona con el calcio en suelos carbonatados y queda inactivo, de ahí que se aplique en dosis de fertirrirriego como ácido fosfórico, lo que asegura una constante y buena disponibilidad durante todo el tiempo de estudio. La relación del fósforo con la materia orgánica y la presencia de carbonato cálcico incrementan la disponibilidad de fósforo en Hornachuelos.

ELEMENTOS SOLUBLES: CALCIO, MAGNESIO, SODIO Y POTASIO

Las dinámicas de calcio y magnesio en suelo, como veremos también en savia y hojas, son muy similares entre sí con la diferencia de la concentración menor para el magnesio que para el calcio. Las concentraciones de los dos elementos son relativamente bajas, incluso en las explotaciones de Luenga y Guadiana, muy ricas en carbonato cálcico. En estas explotaciones las concentraciones de magnesio se sitúan entre 5 y 10 ppm y las de calcio entre 20 y 40, de acuerdo con los valores de referencia de Motsara y Roy **(Tabla 3.1)** se pueden considerar como valores moderados.

Interpretación	Elementos solubles (extracto de saturación) mg L^{-1}		
	Ca	Mg	K
Insuficiente	<40	<8	<10
Moderado/suficiente	40-60	8-12	11-80
Más que suficiente	>60		>80

←

Tabla 3.1
Valores de referencia de elementos solubles (adaptado de Motsara y Roy (2008)

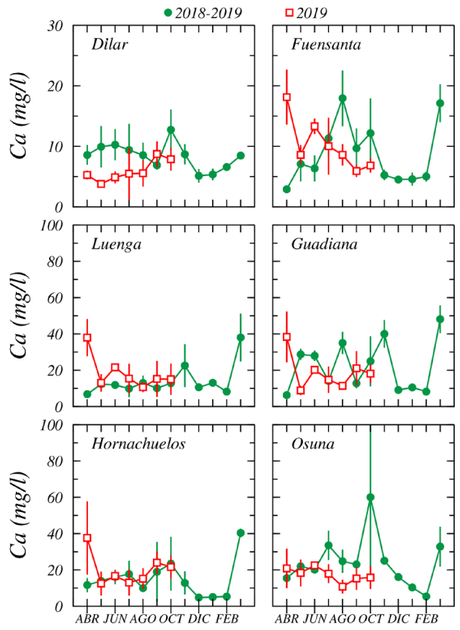
Las explotaciones de Dílar y Fuensanta son las más estables en los meses estudiados y las concentraciones observadas son también en general las más bajas, inferiores a 20 ppm para el calcio y 5 ppm para el magnesio. En general no se observan diferencias significativas entre años. La explotación de Osuna es también muy estable en magnesio y también en calcio, pero solo durante 2019. Durante 2018 presenta incrementos considerables en ambos elementos en el mes de octubre, que también se observaron en las medidas de Luenga, Guadiana y Hornachuelos. Por último, en todas las explotaciones se registra un incremento tanto en calcio como en magnesio en el mes de marzo de 2019 que se mantiene en muchas de ellas en abril del mismo año.

En general las explotaciones con mayores contenidos en carbonato cálcico, Luenga y Guadiana, presentan las concentraciones más altas y las mayores oscilaciones mensuales.

Estos cambios no están relacionados con el contenido en carbonatos pero sí posiblemente con el manejo en meses determinados, por ejemplo marzo, con abono ácido que los solubilice y aumente su disponibilidad. Esto es más visible en las explotaciones que presentan un mayor contenido en carbonato cálcico. También puede estar relacionado con un incremento en las precipitaciones que aumente el contenido de calcio y magnesio en la solución del suelo, por ejemplo en octubre.

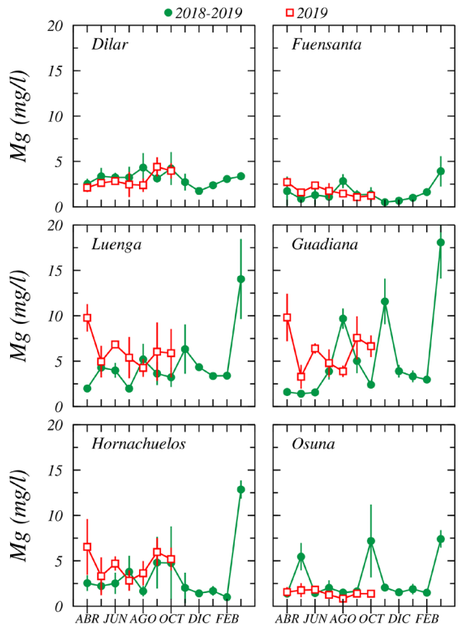
↓

Figura 3.7
Concentración de Ca ± DS (mg L^{-1}) en extracto de saturación de las muestras analizadas. Verde, periodo de abril de 2018 a marzo de 2019; rojo periodo de abril de 2019 a noviembre de 2019



↓

Figura 3.8
Concentración de Mg ± DS (mg L^{-1}) en extracto de saturación de las muestras analizadas.
Verde, periodo de abril de 2018 a marzo de 2019; rojo periodo de abril de 2019 a noviembre de 2019

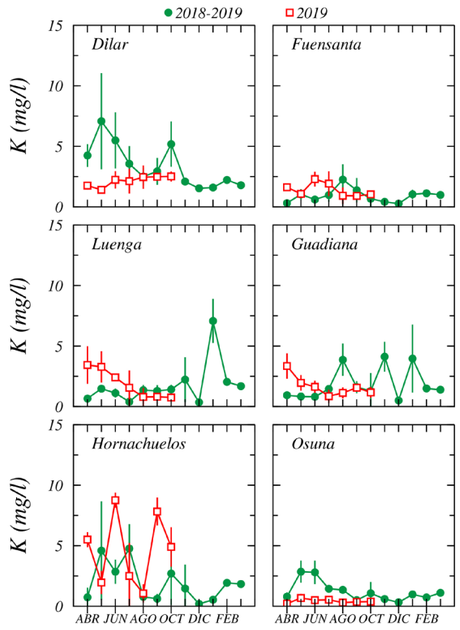


Las concentraciones de potasio soluble son en general bajas, menores de 10 ppm, valor considerado como insuficiente **(Tabla 3.1)**, aunque se midieron concentraciones más altas en las explotaciones de Luenga y Guadiana en los meses de primavera y, en la mayoría excepto Fuensanta y Osuna, también en los meses de otoño. En la interpretación de estos resultados hay que tener en cuenta que las muestras se obtienen del bulbo húmedo en donde se reciben los aportes por fertirriego, pero también se dan las mayores extracciones. Los valores de referencia que se encuentran en la bibliografía son del centro de la calle, por lo que la interpretación puede ser diferente.

La concentración de sodio es muy baja, especialmente en Hornachuelos, Fuensanta, Dílar y Osuna excepto un incremento considerable registrado en esta última en el mes de octubre de 2018 que coincide con un incremento en sulfato y en la conductividad eléctrica (que analizaremos más adelante) **(Figura 3.10)**. Las concentraciones de Na en suelo se interpretan relacionándolas con las concentraciones de Ca y Mg así como con la conductividad eléctrica y el pH del suelo, para reconocer problemas de salinidad en los medios. En este trabajo no ha sido necesario realizar esas correlaciones ya que las explotaciones no presentan problemas de salinidad.

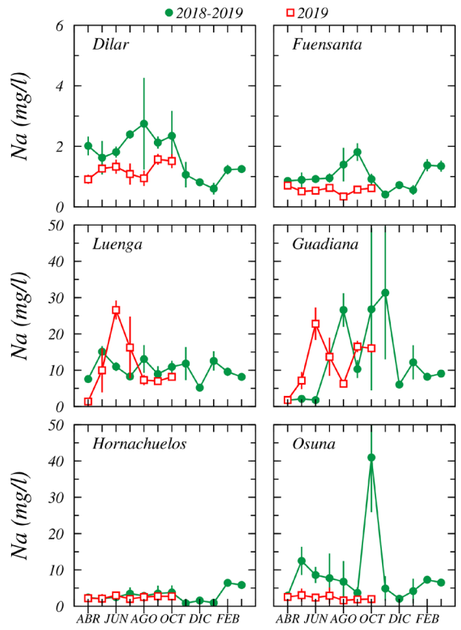
↓

Figura 3.9
Concentración de K ± DS (mg L^{-1}) en extracto de saturación de las muestras analizadas.
Verde, periodo de abril de 2018 a marzo de 2019; rojo periodo de abril de 2019 a noviembre de 2019



↓

Figura 3.10
Concentración de Na ± DS (mg L^{-1}) en extracto de saturación de las muestras analizadas.
Verde, periodo de abril de 2018 a marzo de 2019; rojo periodo de abril de 2019 a noviembre de 2019



ELEMENTOS SOLUBLES: NITRATOS, CLORUROS Y SULFATOS

Las concentraciones de nitratos fueron muy variables en los diferentes meses, con grandes diferencias entre muestras en una misma explotación **(Figura 3.11)**. El nitrato se aplica por fertirriego desde junio hasta octubre y es muy soluble. Se necesitaría un muestreo más repetitivo y con mayor detalle para poder establecer la dinámica de este elemento en relación con la fertilización en producción integrada en olivar.

Los cloruros en las explotaciones estudiadas presentan una gran variabilidad en las concentraciones, con valores inferiores a 20 ppm en algunas localidades y fuertes incrementos en algunos meses. Por ejemplo, en la explotación de Dílar, en los meses de agosto, septiembre y octubre, se analizaron valores superiores a 50 ppm, y en Hornachuelos y Osuna mayores de 200 ppm los meses de abril, mayo y junio **(Figura 3.12)**.

Las plantas lo toman como ión $C1^-$ de la solución del suelo, en donde es muy móvil, ya que, por su carga, no suele unirse al complejo de cambio del suelo (arcilla y materia orgánica). Como el sulfato, del que hablaremos a continuación, es fundamental para las plantas ya que interviene en la fotosíntesis, el ajuste osmótico y la supresión de enfermedades.

Se aplica en fertirriego formando parte del cloruro potásico, de ahí las altas y repetitivas (tanto en 2018 como 2019) concentraciones de este elemento en los meses de verano, por ejemplo, en Dílar.

En altas concentraciones resulta tóxico pero es muy soluble, de ahí la fuerte disminución que se observa en el momento que se detienen los aportes **(Figura 3.12)**.

El sulfato presenta también concentraciones muy variables **(Figura 3.13)** y con grandes diferencias entre las medidas de una misma explotación. Se suele aplicar como cobertera pero también, en ocasiones en fertirriego.

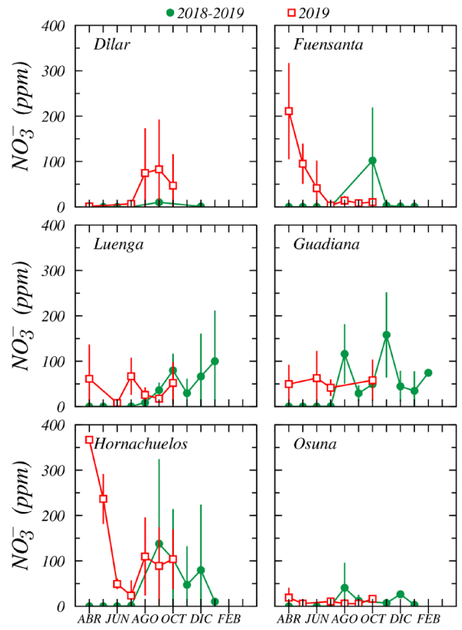


Figura 3.11
Concentración de nitrato ± DS (mg L^{-1}) en extracto de saturación de las muestras analizadas.
Verde, periodo de abril de 2018 a marzo de 2019; rojo periodo de abril de 2019 a noviembre de 2019

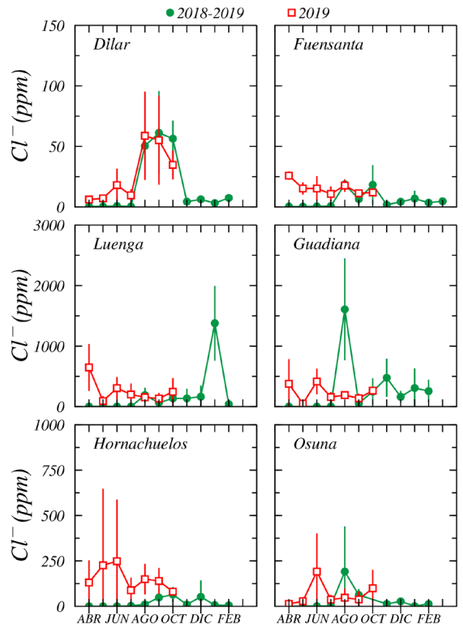


Figura 3.12
Concentración de cloruro ± DS (mg L^{-1}) en extracto de saturación de las muestras analizadas.
Verde, periodo de abril de 2018 a marzo de 2019; rojo periodo de abril de 2019 a noviembre de 2019

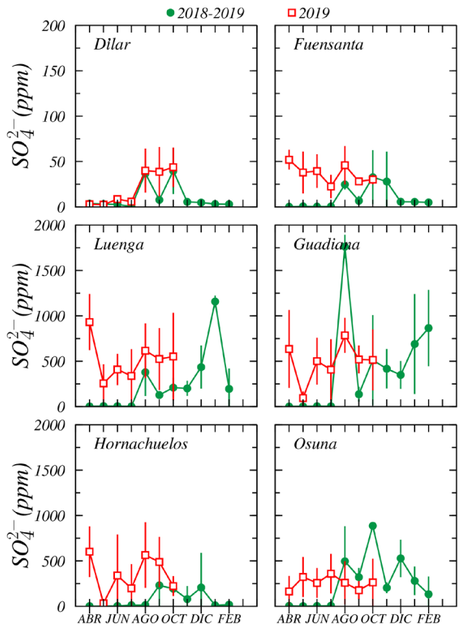


Figura 3.13
Concentración de sulfato ± DS (mg L^{-1}) en extracto de saturación de las muestras analizadas.
Verde, periodo de abril de 2018 a marzo de 2019; rojo periodo de abril de 2019 a noviembre de 2019

Aunque son raras las deficiencias en sulfatos su uso se recomienda por su efecto fungicida. Un seguimiento más detallado de este elemento en el tiempo permitiría obtener resultados más robustos sobre su dinámica.

MICRONUTRIENTES DISPONIBLES (DTPA): HIERRO, MANGANESO, COBRE Y ZINC

El contenido total de micronutrientes en el suelo no es indicativo de su disponibilidad para las plantas, así, para determinar las concentraciones que son realmente disponibles para el cultivo, se utilizan técnicas que extraen cantidades similares a las que estarían biodisponibles en esos medio. Hemos utilizado la técnica de extracción con DTPA (Lindsay y Norwell, 1978), una de las utilizadas y recomendadas, por ejemplo por la FAO (Motsara y Roy, 2008) o por la Universidad del Estado de Nuevo México (Flynn, 2015). Los valores de referencia propuestos por las dos primeras publicaciones no son exactamente los mismos **(Tabla 3.2 y Tabla 3.3)** y para algunos elementos, como el cobre son demasiado bajos, ya que en olivo, como en vid, el cobre se utiliza como fungicida y puede presentarse en concentraciones altas en varios meses del año (Graniti, 1993). Otros autores han utilizado también esta técnica y la han considerado adecuada para establecer los niveles de disponibilidad de estos micronutrientes en suelos (Gasparatos et al., 2011; Nazif et al., 2015). Recientemente, Chatzistathis, et al. (2017), estudiando las concentraciones de micronutrientes extraídos con DTPA en suelos de Grecia, señalaban concentraciones en los primeros centímetros (0-20 cm) del suelo de 5,5 a 14 ppm para el Fe, de 11 a 24 ppm para el Mn, de 2 a 8,5 ppm para el Zn y de 13 a 26 ppm para el Cu. Estos resultados están próximos a los observados en nuestro trabajo.

Por otra parte la biodisponibilidad del cobre, como la del resto de microelementos depende de factores del suelo como el pH, el contenido en materia orgánica, la interacción entre sí y con el contenido en N y P, el contenido en carbonato cálcico, etc. (Vukadinovic & Loncaric, 1998, Smolders et al., 2013; Chatzistathis, et al., 2017).

Por supuesto el abonado cambia las condiciones del medio y modifica la disponibilidad de nutrientes. Si combinamos este efecto con la reacción del suelo podemos obtener valores muy diferentes de un mes a otro y, dada la aplicación localizada del abono por fertirriego, también en las muestras cogida en diferentes posiciones del mismo árbol.

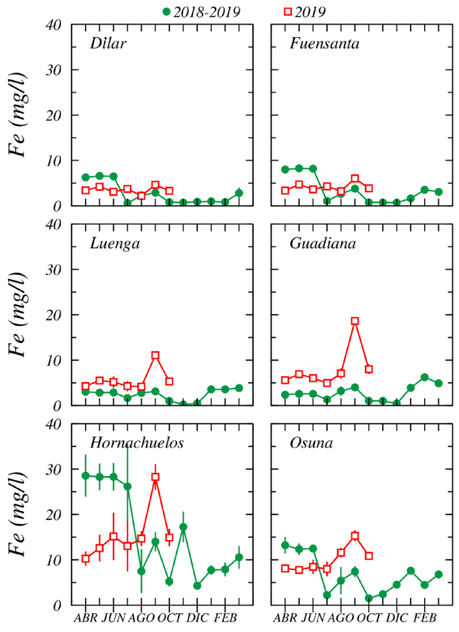
En nuestro estudio las concentraciones de estos elementos, extraídos con DTPA, son muy variables y oscilan entre valores menores de 1ppm hasta mayores de 30 ppm. Insistir que las muestras se recogieron del bulbo húmedo el suelo, en donde se está aplicando fertilizante por fertirrigación desde abril hasta octubre aproximadamente. Estas soluciones nutritivas modifican las condiciones del medio, por ejemplo, el pH, y con ello la biodisponibilidad.

El mes con las concentraciones más bajas en la mayoría de los micronutrientes y explotaciones es noviembre del año 2018. Las concentraciones de Fe fueron bajas también en los meses de septiembre y octubre para la mayoría de las explotaciones excepto para Hornachuelos y Osuna, que presentaron oscilaciones e incrementos respectivamente en estos meses.

Hornachuelos presentó también los valores más altos en micronutrientes, especialmente en Cu y Fe, probablemente debido a que en esta explotación se han observado también los pH más bajos **(figura 3.1)** y tal como han señalado varios autores (Kabata-Pendias, 2000) el pH y la disponibilidad de estos micronutrientes está inversamente relacionada. Otro factor que puede condicionar esta alta disponibilidad es el contenido en materia orgánica tal como han señalado varios autores.

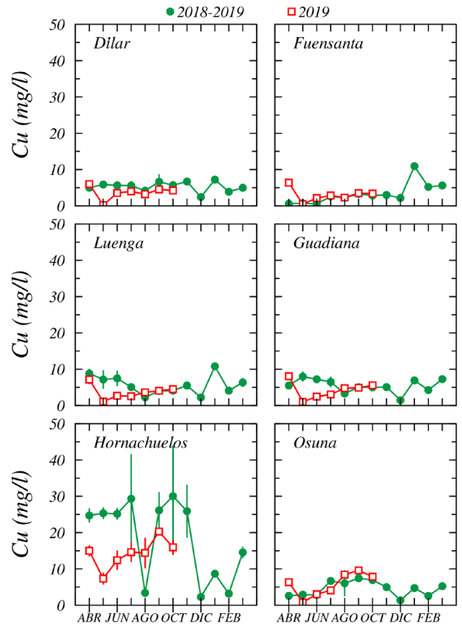
↓

Figura 3.14
Concentración de Fe ± DS (ppm) extraído con DTPA de las muestras analizadas.
Verde, periodo de abril de 2018 a marzo de 2019; rojo periodo de abril de 2019 a noviembre de 2019



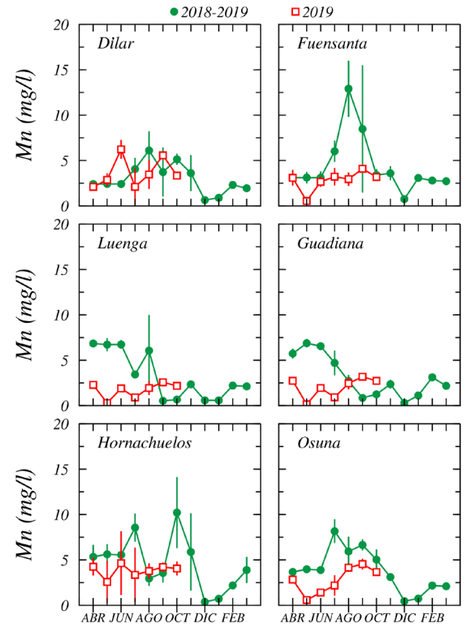
↓

Figura 3.15
Concentración de Cu ± DS (ppm) extraído con DTPA de las muestras analizadas.
Verde, periodo de abril de 2018 a marzo de 2019; rojo periodo de abril de 2019 a noviembre de 2019



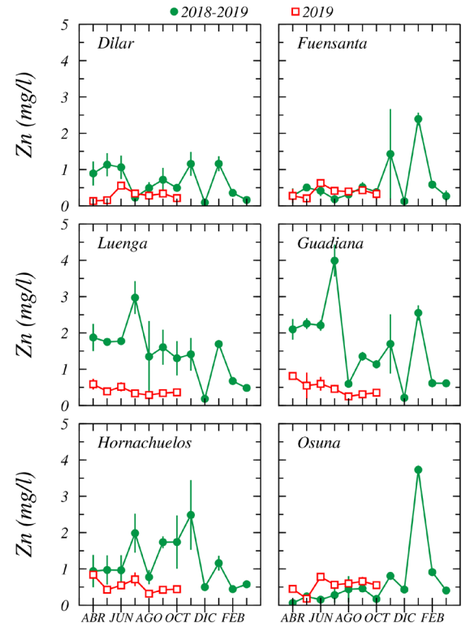
→

Figura 3.16
Concentración de Mn ± DS (ppm) extraído con DTPA de las muestras analizadas.
Verde, periodo de abril de 2018 a marzo de 2019; rojo periodo de abril de 2019 a noviembre de 2019



→

Figura 3.17
Concentración de Zn ± DS (ppm) extraído con DTPA de las muestras analizadas.
Verde, periodo de abril de 2018 a marzo de 2019; rojo periodo de abril de 2019 a noviembre de 2019



Las concentraciones de Zn fueron muy bajas en todas las explotaciones, con valores menores de 5 ppm y en muchas ocasiones menores de 1 ppm. Tal como han señalado otros autores, el zinc es uno de los micronutrientes más deficientes en el suelo, en el que está presente como catión divalente Zn^{2+}. De acuerdo con los valores de referencia, en pocos casos se observan valores bajos y en la mayoría, las concentraciones superan los límites de altos incluso en ocasiones muy altos **(Tablas 3.2 y 3.3)**.

El manganeso es tomado por las plantas como Mn^{2+}, pero en el suelo está en otros muchos estados de oxidación-reducción. Motsara y Roy (2008) señalaron su antagonismo con el fósforo.

A lo largo de los meses estudiados los cambios más pronunciados entre meses se observaron en las concentraciones de Mn y Zn, especialmente en 2018 y en la explotación de Hornachuelos. Probablemente estos cambios se encuentren relacionados con las disponibilidades hídricas.

CORRELACIONES ENTRE EXPLOTACIONES Y ELEMENTOS

Para relacionar los resultados obtenidos solo hemos tenido en cuenta las correlaciones que se establecían entre un número de muestras suficientemente representativo y eran claramente significativas, con $r > 0,7$.

Teniendo en cuenta todos los datos (419), una vez depurados aquellos que resultaban sospechosos de error, las dos fincas que presentan la correlación más alta son Dílar y Fuensanta.

Cuando se analizan las correlaciones entre elementos comparando dos fincas entre sí, observamos que las correlaciones más altas se establecen para el pH, Fe, Cu, Ca y el Mg.

Destacan las correlaciones entre explotaciones tan alejadas como Fuensanta y Hornachuelos en nitratos, cloruros y sulfatos, lo que parece estar relacionado con la homogeneidad en la aportación de fertilizantes.

Las correlaciones las establecemos por pares de explotaciones y mes a mes (con un número mínimo de 16 resultados válidos y un máximo de 28 datos por correlación establecida). En Dílar y Fuensanta se observaron menores correlaciones con el resto de explotaciones en los meses de 2019 que en los meses de 2018. Por ejemplo entre Dílar y Luenga y entre Fuensanta y Osuna, solo se observó una correlación significativamente alta en un mes de 2019: marzo. Por el contrario otras explotaciones presentaron correlaciones entre ellas todos los meses de 2019: Luenga y Guadiana, muy próximas entre sí y con el mismo manejo, y ambas con Osuna.

→

Tabla 3.2

Valores de referencia propuestos por Lindsay y Norvell (1978).

Biodisponibilidad	Microelementos (ppm)			
	Zn	Cu	Fe	Mn
Bajo	<0,5	<0,2	<2,5	<1,0
Moderado	0,5-0,75	0,2-0,3	2,5-4,5	1,0-2,5
Suficiente	0,76-1,0	0,3-0,6	4,6-10	2,6-4,0
Excesivo (posible toxicidad)	>1,0	>1,2	>10	>4,0

→

Tabla 3.3

Valores de referencia de microelementos extraídos con DTPA. (Adaptado de Motsara y Roy (2008)

Biodisponibilidad	Microelementos (ppm)			
	Zn	Cu	Fe	Mn
Muy bajo	0-0,5	0-0,1	0-0,2	0-0,5
Bajo	0,5-1	0,1-0,3	2-4	0,5-1,2
Medio	1-3	0,3-0,8	4-6	1,2-3,5
Alto	3-5	0,8-3	6-10	3,5-6
Muy alto	>5	>3	>10	>6

Entre elementos con los datos de todas las fincas (un mínimo de 18 pares de resultados y un máximo de 108), destacan las correlaciones negativas entre la concentración de Fe y el contenido en carbonato cálcico del suelo y las correlaciones positivas entre el contenido en Fe y Cu, Cu y carbono orgánico, Ca y Mg, cloruros, nitratos y sulfatos entre sí y cloruros y sulfatos con la conductividad eléctrica.

Hay muchos meses dentro de un mismo año y comparando entre los dos años estudiados que están muy correlacionados entre sí en todas las explotaciones estudiadas, por ejemplo mayo con abril, junio y julio, los dos años de estudio y abril, mayo y junio de 2018 con marzo de 2019 entre otros.

Todas las explotaciones se manejan de forma similar y sistemática y el suelo es un medio en el que los cambios se producen lentamente. No obstante los análisis que caractericen el suelo y los que determinen la biodisponibilidad de nutrientes en estados fenológicos determinados son fundamentales para establecer la fertilización más adecuada.

3.2 RESULTADOS DE HOJAS

Los resultados se presentan agrupados en figuras cada una de las cuales representa la evolución de uno de los elementos en las seis explotaciones durante el periodo de estudio. Se representan los valores desde abril del 2018 hasta marzo de 2019 (línea verde) y desde abril de 2019 hasta octubre del mismo año (línea roja).

En uno de los análisis intermedios de resultados se observaron cambios importantes en los meses de septiembre y octubre, por lo que durante estos meses se duplicó el muestreo en la tercera semana de cada uno de los dos meses en 2019.

El punto de cada medida representa el valor medio de las cuatros subparcelas de esa explotación y la barra, la desviación estándar. Algunas muestras presentan unas desviaciones estándar muy grandes que indican una gran dispersión en las cuatro medidas o en otros casos falta de alguna repetición. Sin embargo tanto en hoja como en savia y suelos hemos mantenido el mayor número de medidas posibles. Aunque los resultados en general son robustos y presentan una buena repetitividad y unas grandes correlaciones entre muestras y parcelas, resultan insuficientes si pensamos en un cultivo arbóreo y ubicado en un clima mediterráneo.

NITRÓGENO

Las curvas de evolución de nitrógeno **(Figura 3.18)** son similares, en parte, a las observadas por otros autores. El nitrógeno ha sido un fertilizante profusamente utilizado por lo que los avances en las técnicas de fertilización no le han afectado tanto como a otros elementos.

Únicamente indicar que las diferencias entre máximos y mínimos son menores que en otros estudios y son más altas en las explotaciones de La Loma que en otras localidades como Hornachuelos.

En el caso del nitrógeno se observan dos dinámicas: una responde a un incremento en el contenido de nitrógeno desde abril hasta un máximo en noviembre-diciembre de 2018 y hasta el último muestreo, a finales de octubre, de 2019 como puede observarse en las fincas de Dílar, Fuensanta y Osuna. Y un segundo grupo en el que se observa un descenso del contenido de nitrógeno y que alcanza el mínimo en diferentes momentos pero que en general lo hace entre junio y agosto, para ir luego incrementándose y alcanzar los máximos en los meses de octubre a diciembre. **(Figura 3.18)**.

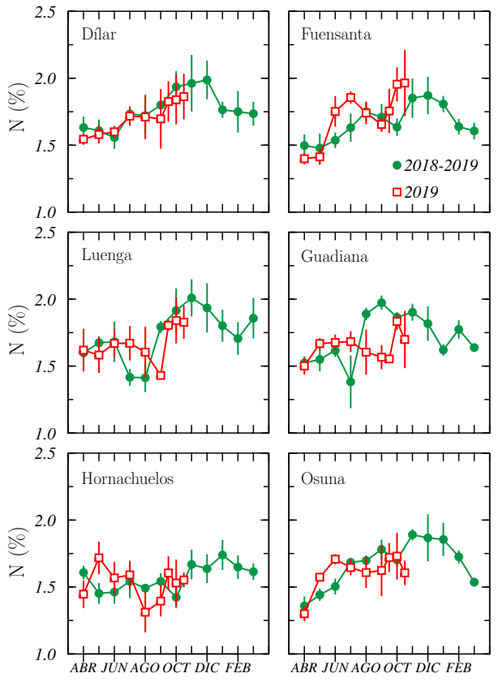
FÓSFORO

Las concentraciones de fósforo **(Figura 3.19)** son muy similares en los dos años, especialmente en las explotaciones de Dílar y Osuna.

En Luenga y Guadiana se observa un incremento en la concentración de fósforo en mayo de 2018 que se desplaza a junio en 2019. Tal como hemos señalado estas dos explotaciones están muy próximas entre sí y se les aplica los mismos tratamientos, por lo que lo que estamos observando es un ligero desplazamiento en la fecha de abonado.

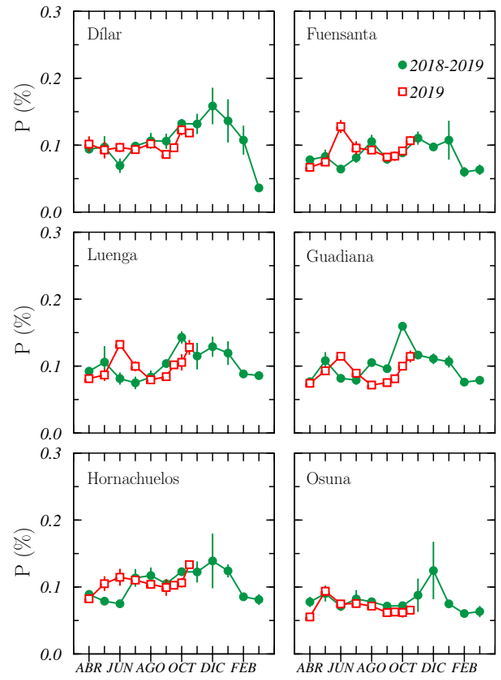
↓

Figura 3.18
Curva de evolución de la concentración de nitrógeno. Media (%)±DS en hojas de olivo durante el periodo de estudio.
Línea verde periodo de abril 2018-marzo 2019.
Línea roja periodo de abril 2019-noviembre 2019



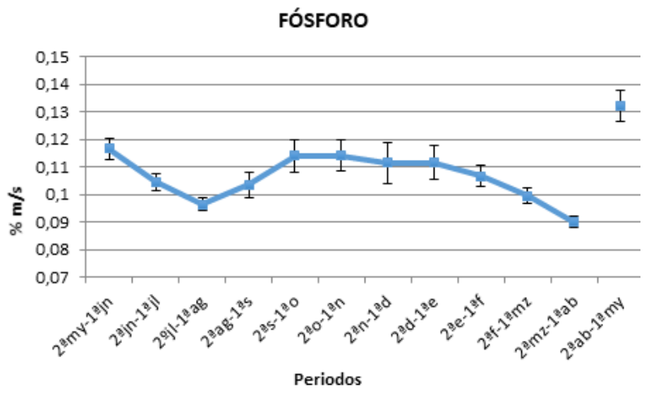
↓

Figura 3.19
Curva de evolución de la concentración de fósforo. Media (%)±DS en hojas de olivo durante el periodo de estudio.
Línea verde periodo de abril 2018-marzo 2019.
Línea roja periodo de abril 2019-noviembre 2019



En la mayoría de las explotaciones hay un incremento significativo en el mes de diciembre. Se podría relacionar con el fin del ciclo de formación del aceite /ciclo del fruto, y tendría respaldo porque la excepción, Fuensanta, retrasó la recolección hasta después del 9 de enero (www.saviaolivar.eu/portfolio/fuensanta). Pero este no parece el motivo ya que tampoco estaban recogidas Dílar, Osuna ni Hornachulos (www.viaolivar.eu/portfolio/hornachuelos-cordoba). Esta última explotación, en diciembre, presentaba un estado de maduración muy retrasado respecto a otras explotaciones como Osuna, la más cercana de las estudiada, (www.saviaolivar.eu/portfolio/osuna).

Como puede observarse en la **Figura 3.20**, la evolución de la concentración de fosforo ha cambiado de forma significativa a la observada en estudios anteriores (Bouat 1976; Fernández Escobar et al. 1999; Fernández Escobar et al. 2004, Nieto et al. 2017), probablemente debido al cambio en el abonado.



←

Figura 3.20
Curva de evolución de la concentración de fósforo. Media (%)±DS en hojas de olivo. Cada punto corresponde a los niveles del elemento comenzando por el periodo de la segunda quincena de mayo-primera de junio. (Nieto et al., 2017)

POTASIO

Al contrario que para la mayoría de los elementos estudiados las concentraciones de potasio **(Figura 3.21)** son en muchos casos mayores en los meses de junio y julio de 2019 que las observadas en 2018, especialmente en las explotaciones de Fuensanta, Luenga y Guadiana. Estos incrementos en las concentraciones de potasio en hoja coinciden con descensos en las concentraciones de calcio, magnesio y manganeso.

Las diferencias entre años son menores en Hornachuelos y Osuna, que no presentan incrementos tan significativos como las explotaciones anteriores.

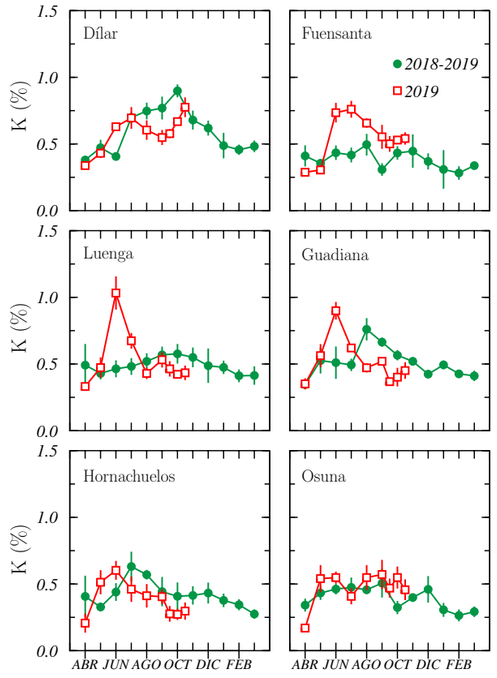
De forma general y en el caso de 2019 lo que se observa es un incremento en el contenido de potasio en hojas en un periodo que va de mayo a julio, registrándose a partir de este mes un descenso continuado, a excepción de Dílar que a partir de septiembre vuelve a incrementarse.

En el caso de 2018 se aprecia un desplazamiento de este pico de máximo contenido hacia los meses de agosto a octubre a excepción de Hornachuelos que sus picos de máximo contenido están separados entre los dos años estudiados tan solo un mes.

En los meses de septiembre, octubre y en ocasiones también noviembre, se observa un descenso en la concentración de potasio generalizada en todas las explotaciones aunque con ligeras diferencias respecto al inicio de la misma.

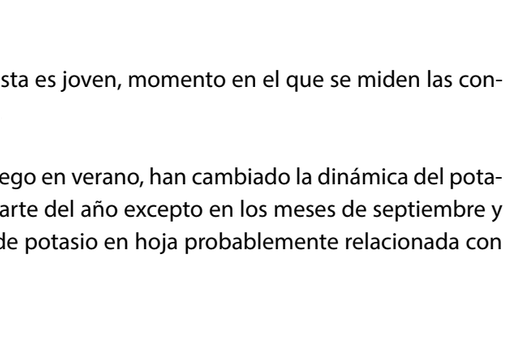
Esta dinámica es muy diferente a la observada por otros autores (Fernández-Escobar et al., 1999; Nieto et al., 2017) que han señalado un descenso paulatino en las concentraciones de potasio en hoja cuando esta es joven, momento en el que se miden las concentraciones más elevadas **(Figura 3.22** y **Figura 3.23)**.

La aplicación de abono foliar en la primavera y el fertirriego en verano, han cambiado la dinámica del potasio y lo mantienen en un valor homogéneo la mayor parte del año excepto en los meses de septiembre y octubre cuando se produce una perdida generalizada de potasio en hoja probablemente relacionada con las necesidades del fruto.



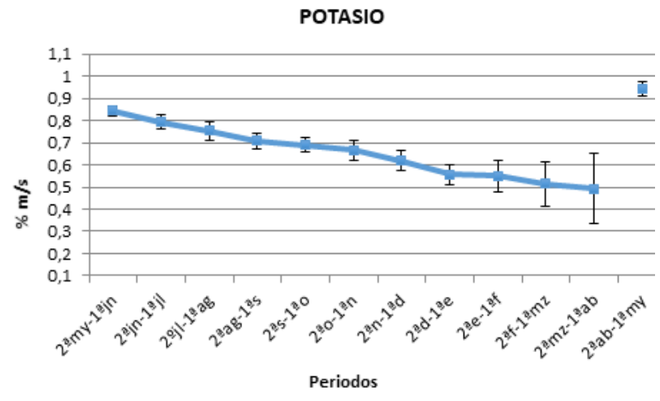
→

Figura 3.22
Curva de evolución de la concentración de potasio en hojas de olivo (Fernández-Escobar et al., 1999)



←

Figura 3.21
Curva de evolución de la concentración de potasio. Media (%)±DS en hojas de olivo durante el periodo de estudio. Línea verde periodo de abril 2018-marzo 2019. Línea roja periodo de abril 2019-noviembre 2019



←

Figura 3.23
Curva de evolución de la concentración de potasio. Media (%)±DS en hojas de olivo. Cada punto corresponde a los niveles del elemento comenzando por el periodo de la segunda quincena de mayo-primera de junio. (Nieto et al., 2017)

CALCIO Y MAGNESIO

Las concentraciones de calcio y magnesio presentaron una alta correlación entre sí (r>0,9) **(Figuras 3.24** y **3.25**). Como otros nutrientes las concentraciones observadas estaban dentro de los rangos considerados adecuados: mayor de 1% para calcio y mayor de 0,1% para magnesio.

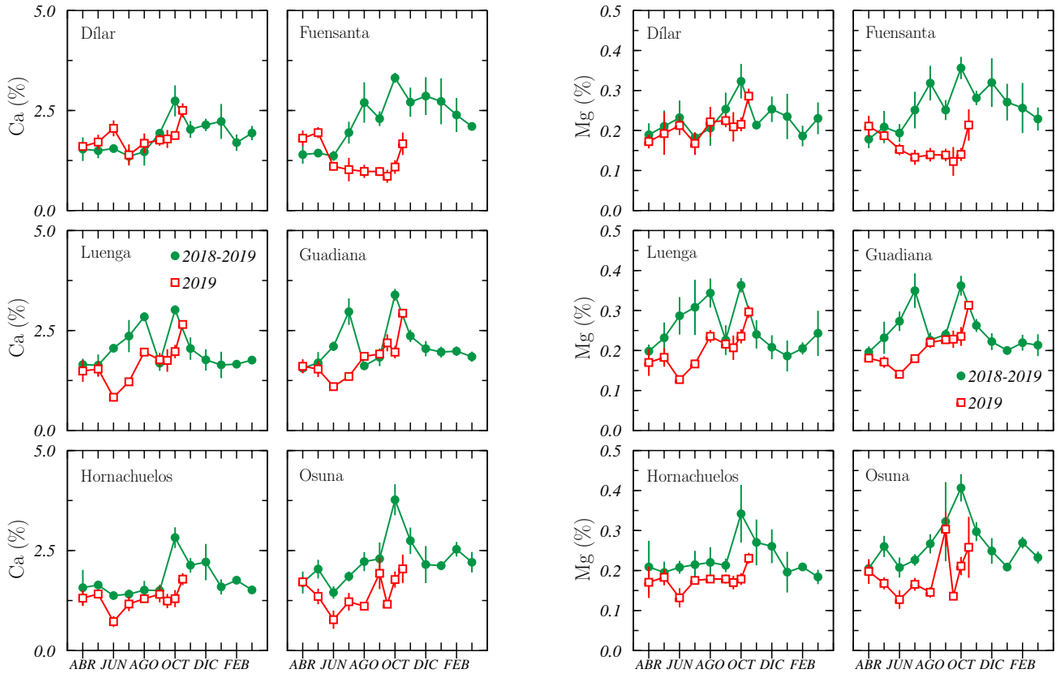
Ambos elementos tienden a incrementar las concentraciones en hoja con la edad de esta, siendo mayor, sin embargo, en 2018, cuestión que se podría justificar a causa de la mayor pluviometría registrada en relación a 2019, lo que pudo incrementar su disponibilidad en la solución del suelo (Jiménez et al., 2007). Constituye una excepción la finca de Dílar, cuyos valores para ambos años se mantienen muy próximos. El valor máximo en todos los casos y para ambos elementos se observa en octubre, experimentando, a continuación, un descenso que se ha podido observar hasta el momento en que la hoja cumple un año de edad.

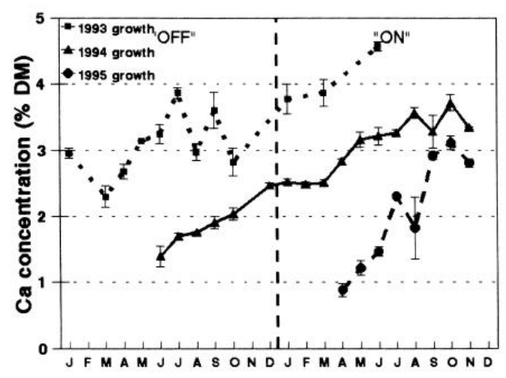
↓

Figura 3.24
Curva de evolución de la concentración de calcio. Media (%)±DS en hojas de olivo durante el periodo de estudio. Línea verde periodo de abril 2018-marzo 2019. Línea roja periodo de abril 2019-noviembre 2019

↓

Figura 3.25
Curva de evolución de la concentración de magnesio. Media (%)±DS en hojas de olivo durante el periodo de estudio. Línea verde periodo de abril 2018-marzo 2019. Línea roja periodo de abril 2019-noviembre 2019

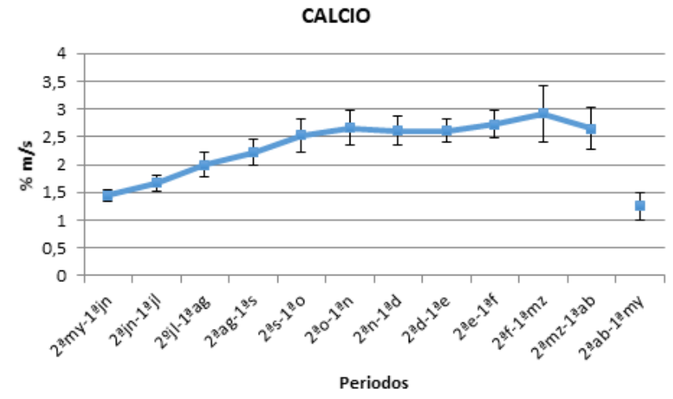




←

Figura 3.26
Curva de evolución de la concentración de calcio en hojas de olivo (Fernández-Escobar et al., 1999)

La dinámica para el magnesio coincide con lo observado por autores como Fernández Escobar (1999) y Nieto et al. (2017). No ocurre así en el caso del calcio que para los autores antes citados este elemento continua acumulándose en hoja **(Figura 3.26** y **Figura 3.27)**.

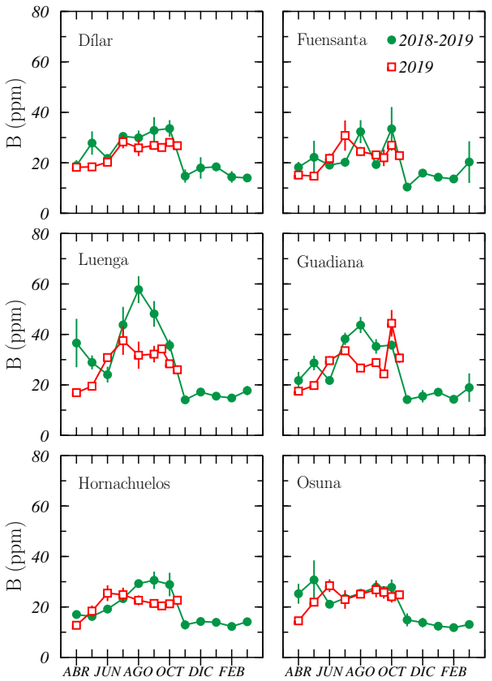


←

Figura 3.27
Curva de evolución de la concentración de calcio. Media (%)±DS en hojas de olivo. Cada punto corresponde a los niveles del elemento comenzando por el periodo de la segunda quincena de mayo-primera de junio. (Nieto et al., 2017)

BORO

El contenido en Boro **(Figura 3.28)** en hoja presenta valores comprendidos entre 10 y 30 ppm en la mayoría de las explotaciones y en los dos años medidos. No obstante se observa un incremento que afecta a todas las explotaciones en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre y durante los cuales se alcanzan valores superiores a 40 ppm y en algunas explotaciones, en Luenga concretamente, cercanas a 60 ppm.

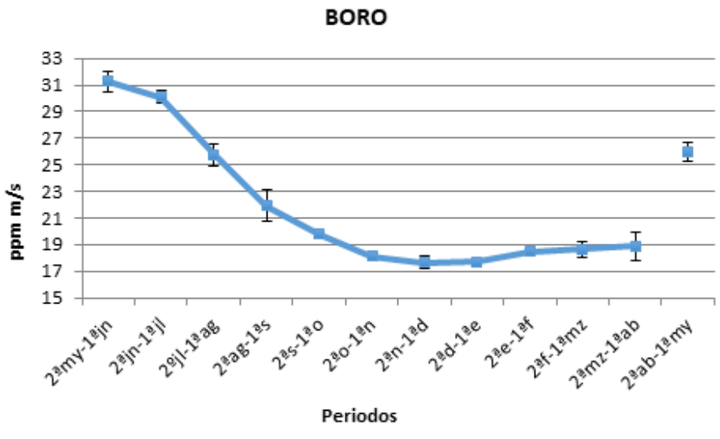


←

Figura 3.28
Curva de evolución de la concentración de boro. Media (%)±DS en hojas de olivo durante el periodo de estudio. Línea verde periodo de abril 2018-marzo 2019. Línea roja periodo de abril 2019-noviembre 2019

La evolución de concentración en boro a lo largo de los dos años es muy diferente por la señalada en otros estudios (Delgado et al., 1994; Nieto et al., 2017), que reflejaban un descenso continuo en la concentración en Boro desde que la hoja es joven hasta que alcanza un año de edad, por su movilidad hacía las flores y el fruto **(Figura 3.29)**.

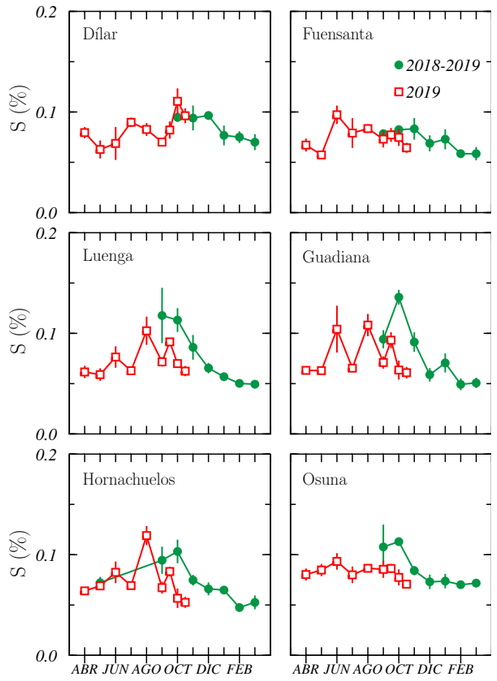
El aporte de complejos de boro, en ocasiones unidos a magnesio y azufre vía foliar, consiguen la estabilidad en la concentración observada en los análisis de hoja.



←

Figura 3.29
Curva de evolución de la concentración de boro en hojas de olivo. Cada punto corresponde a los niveles del elemento comenzando por el periodo de la segunda quincena de mayo-primera de junio. (Nieto et al., 2017)

Se repite en todas las fincas un descenso progresivo de las concentraciones de boro en hoja a partir de octubre, adelantándose a agosto en Luenga y Guadiana y manteniéndose a partir de noviembre de 2018 y hasta marzo de 2019 (con muy ligeras variaciones) en los niveles más bajos de la curva de evolución (valores en torno a 10 ppm) **(Figura 3.28)**.



←

Figura 3.30
Curva de evolución de la concentración de azufre. Media (%)±DS en hojas de olivo durante el periodo de estudio. Línea verde periodo de abril 2018-marzo 2019. Línea roja periodo de abril 2019-noviembre 2019

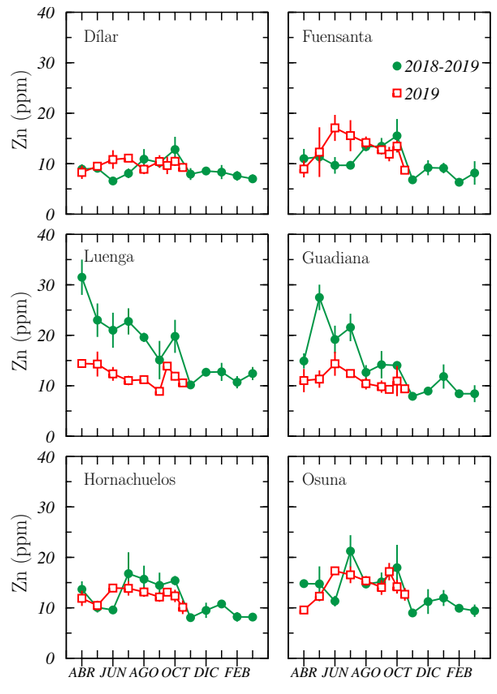
AZUFRE

El S en hoja **(Figura 3.30)** no pudo medirse los primeros meses de ensayo. Las primeras medidas se realizaron en el muestreo de septiembre de 2018. Sí tenemos valores de estos meses durante 2019. La concentración de S, en el periodo comprendido entre junio y septiembre presenta cambios, a veces mensuales, como se puede observar en todas las explotaciones, pero de forma más significativa en Luenga, Guadiana y Hornachuelos. A partir del segundo muestreo de septiembre y en algunas fincas de octubre, los valores parecen estabilizarse como se observaba también en las medidas de 2018.

Desafortunadamente la falta de datos nos impide contractar esta tendencia.

ZINC

La mayor parte de las muestras analizadas mostraron una concentración de Zn comprendida entre 10 y 20 ppm **(Figura 3.31)**. En ningún caso, a excepción de Dílar, se registraron valores inferiores a 10 ppm en el mes de julio, valor considerado como crítico para la deficiencia de Zn.

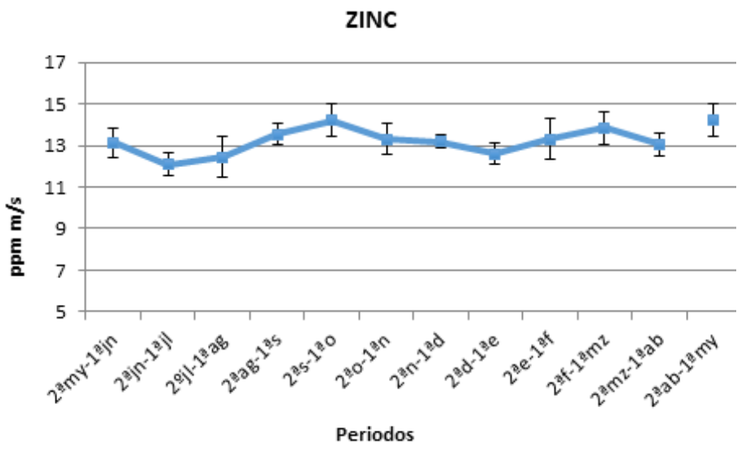


←

Figura 3.31
Curva de evolución de la concentración de zinc. Media (%)±DS en hojas de olivo durante el periodo de estudio. Línea verde periodo de abril 2018-marzo 2019. Línea roja periodo de abril 2019-noviembre 2019

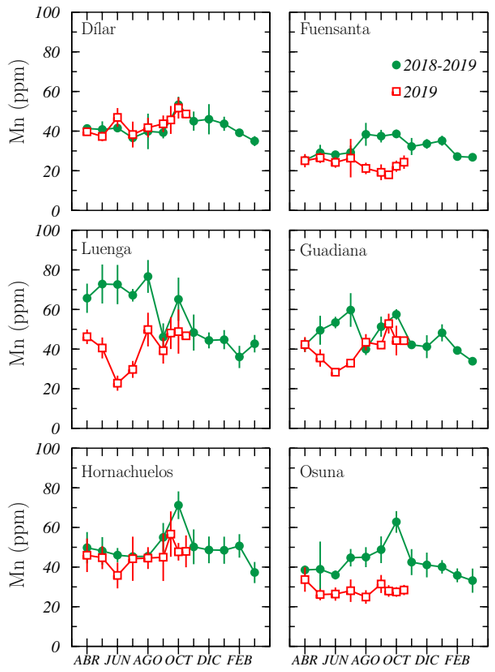
En las explotaciones de la Loma (Luenga y Cortijo Guadiana) se observaron diferencias significativas entre las medidas realizadas en el primer año de muestreo respecto al segundo. En otras explotaciones se observaron incrementos en los meses de junio y julio relacionados con la aportación de zinc vía foliar, como es el caso de Dílar.

Esto coincide con lo observado por otros autores que tampoco encontraron diferencias significativas a lo largo de un año de muestreo (Nieto et al., 2017) **(Figura 3.32)**.



←

Figura 3.32
Curva de evolución de la concentración de zinc en hojas de olivo, Cada punto corresponde a los niveles del elemento comenzando por el periodo de la segunda quincena de mayo-primera de junio. (Nieto et al., 2017)



MANGANESO

La evolución de la concentración de manganeso en hoja **(Figura 3.33)** es muy similar a la presentada por el calcio y magnesio en todas las explotaciones. Las concentraciones de este elemento en hoja están en la mayor parte de los casos por encima de 40 ppm. Solo en Fuensanta y algunos meses de Osuna, especialmente en 2019 se observan valores más bajos pero nunca son inferiores a 20 ppm.

←

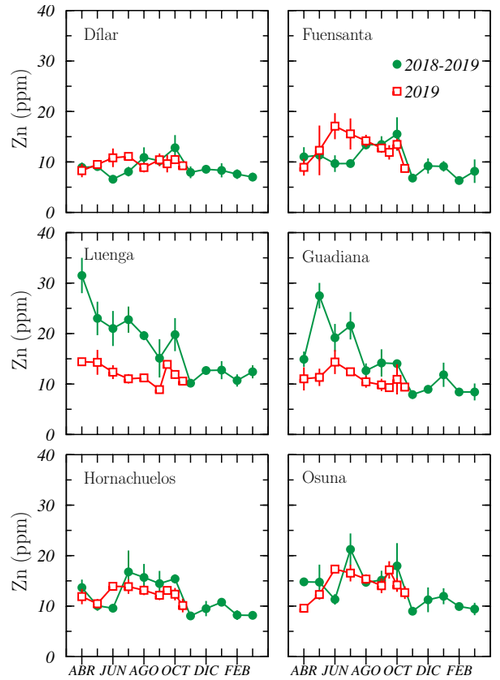
Figura 3.33
Curva de evolución de la concentración de manganeso. Media (%)±DS en hojas de olivo durante el periodo de estudio. Línea verde periodo de abril 2018-marzo 2019. Línea roja periodo de abril 2019-noviembre 2019

Otros autores han señalado que el manganeso se acumula en las hojas viejas con la misma tendencia del calcio y el magnesio y coincidiendo con el descenso de potasio. Tal como ya hemos señalado el manganeso presenta en nuestros datos un descenso a partir de un máximo en el mes de octubre prácticamente en todas las explotaciones estudiadas.

COBRE

El cobre en hoja **(Figura 3.34)** está relacionado con su aplicación como fitosanitario por lo que en la mayor parte de las explotaciones se observan altas concentraciones en los meses de primavera y otoño y valores muy bajos en los meses de verano.

En todos los casos los valores son muy superiores a los 4 ppm que es el valor que se utiliza actualmente como referencia para el mes de julio, superando en ocasiones los 100 ppm.



←

Figura 3.34
Curva de evolución de la concentración de cobre. Media (%)±DS en hojas de olivo durante el periodo de estudio. Línea verde periodo de abril 2018-marzo 2019. Línea roja periodo de abril 2019-noviembre 2019

3.3 RESULTADOS DE SAVIA

Las concentraciones de elementos en savia, al contrario que en hoja, son en general bajas y prácticamente todos los elementos se miden en ppm. Elementos como N, P, Ca, Mg, K, S y Na, que en hoja medimos en porcentaje, se miden en savia en partes por millón. Esto es lógico si tenemos en cuenta que la hoja es un almacén y un distribuidor de los elementos para el árbol.

Las funciones de las hojas han sido señaladas en numerosos estudios en este sentido e incluyen tanto la reserva de nutrientes como el almacén del exceso de elementos en la planta tales como sodio, en algunos medios salinos, calcio en las hojas viejas, o, en otros contextos como suelos contaminados, elementos traza. En los cultivos además se conoce la capacidad de absorción de elementos nutritivos por la hoja y su efecto inmediato en la nutrición sin pasar por un medio, a menudo muy complejo, como el suelo, de ahí que la aplicación de abonado foliar, muy extendido en el cultivo del olivo, permita una dotación inmediata de algunos elementos, además de evitar la posible competencia por los canales de absorción en las raíces con otros elementos antagónicos. Es lo que ocurre, por ejemplo, con el potasio.

Además, al valorar el contenido de nutrientes en hoja hay que tener en cuenta que una contribución importante la realizan los propios tejidos que constituyen la hoja y por tanto se tratan, realmente, de elementos estructurales.

Las medidas en savia representan la concentración puntual de los elementos que se están movilizando en el árbol: bien porque están siendo tomados del medio o bien porque están siendo trasladados hacia órganos de almacenaje o hacia órganos que los requieren en un momento dado.

Obviamente, las concentraciones de elementos son menores en la savia, pero tal como puede observarse en las figuras de este capítulo, sufren cambios apreciables que intentaremos interpretar relacionándolos con el resto de elementos en savia, el clima, el estado fenológico y con el resto de datos de hoja, suelo y fertilización recogidos en este trabajo.

Es necesario insistir, una vez más, en que al ser todas las explotaciones de producción integrada y estar supervisadas por técnicos agrícolas, están en las condiciones óptimas en fertilidad y riego. Además, todas ellas presentan muchas similitudes ya que los protocolos están tan estandarizados y se llevan a cabo con tanta rigurosidad, que las diferencias asociadas a distintas pluviometrías o distintos estados fenológicos, en ocasiones tienen una incidencia temporal mucho más corta que la que hemos podido desarrollar en este proyecto con los medios y el personal del que hemos dispuesto. De hecho, teniendo en cuenta todos los datos analizados (de 265 a 304 datos según la pareja comparada) y estableciendo correlaciones bivariadas entre las diferentes explotaciones, todas ellas están correlacionadas entre sí con valores de $r > 0,9$. Este resultado tan robusto valida el método y los resultados obtenidos.

A continuación comentamos los datos más relevantes de la dinámica de parámetros físico-químicos y nutrientes analizados en savia.

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (CE)

La evolución de la conductividad eléctrica puede observarse en la **Figura 3.35**.

Las medidas repetidas en 2018 y 2019 son generalmente más altas en 2019, año en el que la precipitación fue sensiblemente menor en la mayoría de las localidades excepto en Luenga y Guadiana. En estas dos localidades no se registraron diferencias en la precipitación entre los dos años y tampoco se observa diferencia en la medida de la conductividad eléctrica.

Existen tres meses en los que hay incrementos muy significativos y que no coinciden en todas las fincas ni en los dos años de estudio:

- En Dílar, Fuensanta, Luenga, Hornachuelos y Osuna se observa un incremento en los valores de CD (Conductividad Eléctrica) en el mes de mayo (menor en Osuna) en 2019 que, en el caso de Dílar y Osuna coincide con el mismo incremento en 2018 y que en el resto de explotaciones se detectó en junio en 2018. En Guadiana, se observó este aumento para 2019 en el mes de abril.

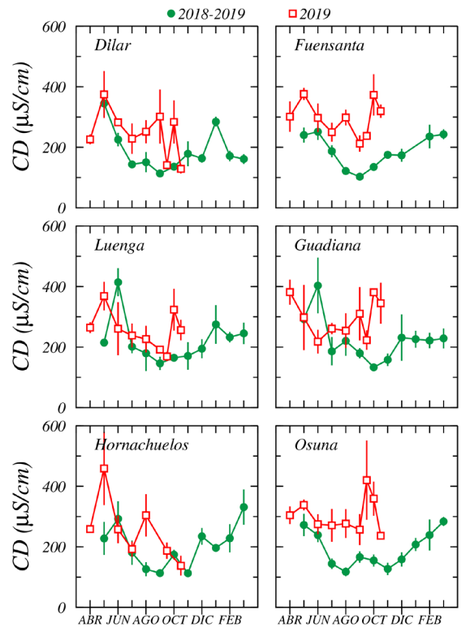
- El segundo mes con incrementos en la CD (Conductividad Eléctrica), esta vez generalizados en todas las explotaciones y los dos años, es septiembre (en algunas ocasiones prolongado a octubre o adelantado a agosto en el caso de Hornachuelos).

- Por último, hay un incremento en la CD (Conductividad Eléctrica) en el mes de diciembre, también muy generalizado.

Estos incrementos están relacionados, como veremos más adelante con incrementos en la concentración de nutrientes en la savia, frecuentemente relacionados con el abonado o con una redistribución de los mismos en el árbol. De hecho, la mayor parte de las explotaciones aplica abono foliar en abril/mayo, en julio/agosto y en septiembre/octubre, coincidiendo aproximadamente con los picos de la conductividad eléctrica en savia **(Figura 2.2)**.

pH

El pH de la savia es neutro (de ligeramente básico a ligeramente ácido).



↑

Figura 3.35
Valores medios ± DS de conductividad eléctrica (µS m^{-1}) en las diferentes explotaciones durante el periodo de estudio. La línea verde representa los valores desde abril de 2018 a marzo de 2019 y la línea roja representa los valores obtenidos desde abril de 2019 a noviembre de 2019 (octubre y noviembre de 2019 tienen dos fechas de recogida)

Aunque hay cierta variación entre fincas y entre meses, las diferencias significativas son escasas.

Cabe señalar el descenso observado en septiembre de 2019 (probablemente relacionado con la aplicación de abono) en todas las explotaciones excepto en Hornachuelos (en esta última explotación tuvimos problemas para obtener savia en septiembre ya que un fallo en el sistema de riego dejo la explotación sometida a un fuerte estrés hídrico que impidió obtenerla). La disminución del pH coincide en muchas ocasiones con el incremento de la conductividad eléctrica y con el aporte foliar de nitrato potásico que, dependiendo de la temperatura, tiene un pH soluble alrededor de 6,2.

Esto es indicativo de la sensibilidad del análisis de savia y su relación inmediata a los cambios externos o a los fertilizantes aplicados.

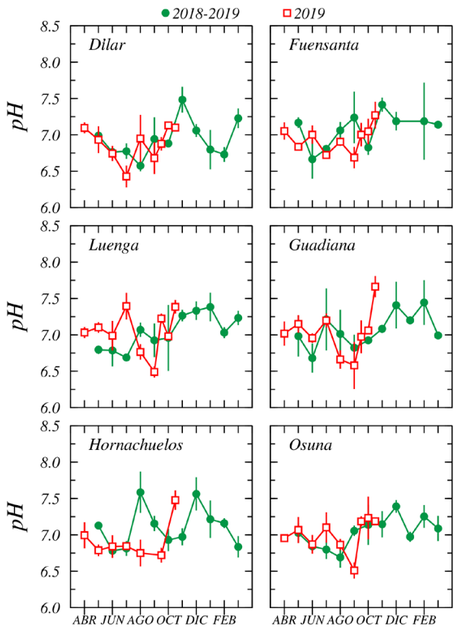
El pH ha sido relacionado con el equilibrio anionico/cationico en la planta (Sofo et al., 2019), pero también con los cambios en la concentración aniónica relacionada con la deficiencia de Fe (Abadia et al. 2002).

NITRATOS

Desafortunadamente, no hemos obtenido secuencias tan largas de la concentración de nitratos como de otros elementos.

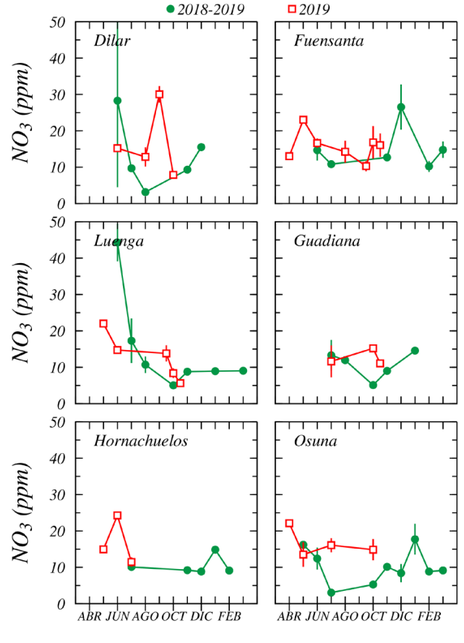
↓

Figura 3.36
Valores medios ± DS de pH en las diferentes explotaciones durante el periodo de estudio. La línea verde representa los valores desde abril de 2018 a marzo de 2019 y la línea roja representa los valores obtenidos desde abril de 2019 a noviembre de 2019 (octubre y noviembre de 2019 tienen dos fechas de recogida)



↓

Figura 3.37
valores medios ± DS de la concentración de nitratos (NO^{3-}) en las diferentes explotaciones durante el periodo de estudio. La línea verde representa los valores desde abril de 2018 a marzo de 2019 y la línea roja representa los valores obtenidos desde abril de 2019 a noviembre de 2019 (octubre y noviembre de 2019 tienen dos fechas de recogida)



Sí podemos observar que, en la mayoría de las medidas, la concentración de nitrato en savia se sitúa entre 10 y 30 ppm.

Los valores más altos se observan en los meses de abril/mayo, julio, y diciembre/enero. De nuevo coinciden con la aplicación de abonado foliar, esencialmente urea.

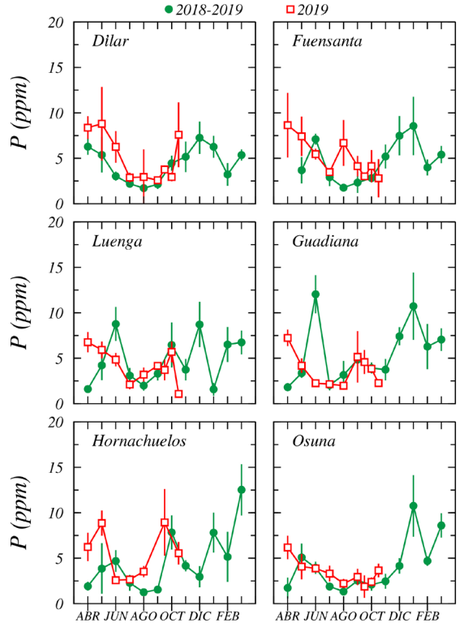
La relación entre la concentración en savia y el abonado foliar es más evidente cuando se analiza caso a caso. Por ejemplo, en la explotación de Osuna, en enero de 2019 (muestras recogidas el 14 de enero) se observa un incremento claro en la concentración de nitrato. En esta explotación, el 7/12/2018 se aplicó TRAMAAMINO 10-5-42 foliar, que no fue detectado en las muestras de diciembre (recogidas el 10 de diciembre, antes del abonado), pero que sí se detectaron en el muestreo de enero.

FÓSFORO

Para valorar el contenido de fósforo en savia hemos utilizado dos métodos, por una parte lo hemos analizado en forma de ión fosfato mediante cromatografía aniónica y por otra se ha analizado como P elemental mediante ICP óptico. La dinámica es muy similar por ambas formas de medida, así como en la concentración, teniendo en cuenta que por lado se mide en forma de PO_4^{3-} y por otra como P elemental, de ahí que en el primer caso los valores sean más altos.

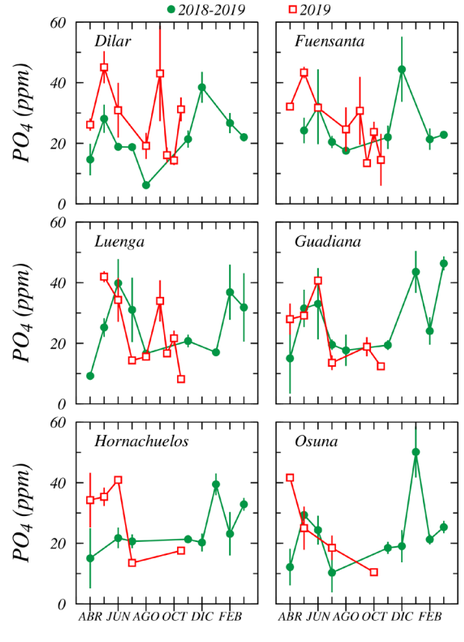
↓

Figura 3.38
Valores medios ± DS de la concentración de fósforo (ppm) en las diferentes explotaciones durante el periodo de estudio. La línea verde representa los valores desde abril de 2018 a marzo de 2019 y la línea roja representa los valores obtenidos desde abril de 2019 a noviembre de 2019 (octubre y noviembre de 2019 tienen dos fechas de recogida)



↓

Figura 3.39
Valores medios ± DS de la concentración de fosfato (ppm) en las diferentes explotaciones durante el periodo de estudio. La línea verde representa los valores desde abril de 2018 a marzo de 2019 y la línea roja representa los valores obtenidos desde abril de 2019 a noviembre de 2019 (octubre y noviembre de 2019 tienen dos fechas de recogida)



La dinámica general de fósforo presenta concentraciones altas en los meses de abril o mayo, según la explotación y el año, un incremento algo menos pronunciado en septiembre, y otro incremento en el mes de diciembre/enero que en la mayoría de las explotaciones disminuye a partir de este momento para volver a aumentar en marzo. En la aplicación foliar de primavera se utiliza fosfato monopotásico que se refleja en el incremento en savia tanto de fósforo como de potasio, como veremos más adelante. Por otra parte, en diciembre, como ya hemos señalado, se aplica abono de recuperación tras la cosecha que queda reflejado en el incremento en savia.

Los meses de verano (junio, julio, agosto y septiembre) son los que presentan los valores más bajos en los dos años, a pesar de la fertirrigación con ácido fosfórico durante todo el verano. Probablemente, esta aportación continua se va distribuyendo lentamente desde las raíces, manteniendo niveles de concentración constantes de 2-3 ppm aproximadamente en todas las fincas, y concentrándose en los órganos de almacenamiento desde donde se distribuirá en septiembre para atender las demandas del fruto y que se ve reflejado en el incremento en savia en septiembre y los meses siguientes.

POTASIO

La dinámica del potasio es muy parecida a la del fósforo y está condicionada por el abonado foliar en los meses de mayo, julio, octubre y diciembre/enero **(Figura 3.40)**.

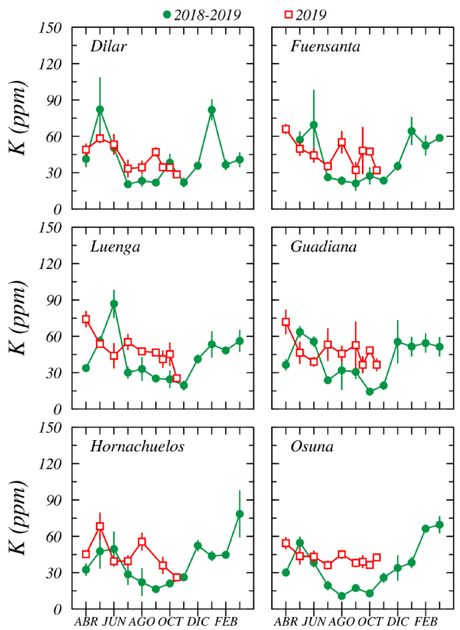
Hay una correlación negativa entre el contenido en potasio en hoja y la concentración en savia en algunos meses, especialmente los cercanos al desarrollo del fruto.

Las concentraciones de potasio más bajas se observan en los meses de agosto en 2018 y junio/julio en 2019. Estas concentraciones están en tormo a las 20-30 ppm y las más altas, relacionadas con el abonado de primavera, están en torno a los 80-90 ppm.

Los valores mínimos se han obtenido en 2018 para todas las explotaciones. También los valores máximos se observaron en 2018 en muchas explotaciones, sobre todo en la primavera de este año. Probablemente, las buenas condiciones meteorológicas de este año propiciaron una gran cosecha que requirió una gran movilización de potasio en savia. Para confirmar esta hipótesis se necesita un estudio más dilatado en el tiempo.

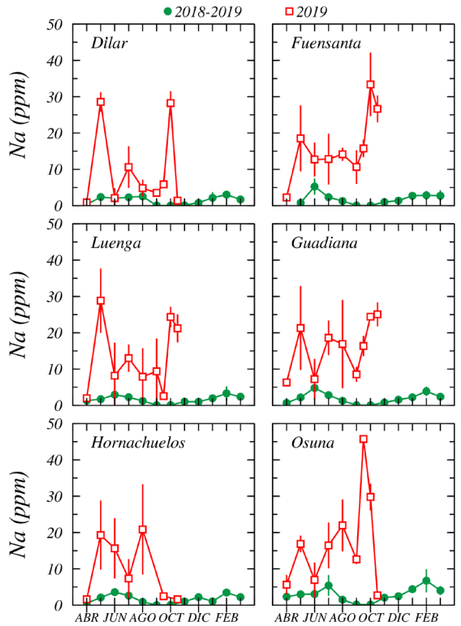
↓

Figura 3.40
Valores medios ± DS de la concentración de potasio (ppm) en las diferentes explotaciones durante el periodo de estudio. La línea verde representa los valores desde abril de 2018 a marzo de 2019 y la línea roja representa los valores obtenidos desde abril de 2019 a noviembre de 2019 (octubre y noviembre de 2019 tienen dos fechas de recogida).



SODIO

Lo más llamativo de las curvas de evolución **(Figura 3.41)** de sodio es el fuerte incremento observado en las medidas de 2019 respecto a las de 2018 a partir del mes de mayo. No solo presentan valores mucho más altos, en algunos casos de más de 30 ppm, cuando en el 2018 apenas se registraron concentraciones de 5 ppm, sino que además, entre medidas, hay fuertes oscilaciones.



←

Figura 3.41
Valores medios ± DS de la concentración de sodio (ppm) en las diferentes explotaciones durante el periodo de estudio. La línea verde representa los valores desde abril de 2018 a marzo de 2019 y la línea roja representa los valores obtenidos desde abril de 2019 a noviembre de 2019 (octubre y noviembre de 2019 tienen dos fechas de recogida)

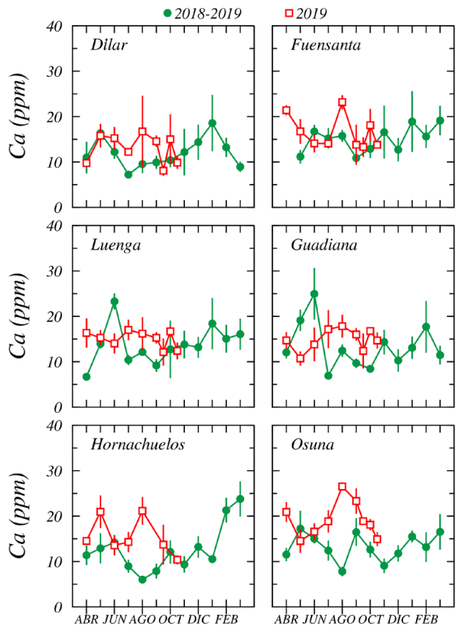
Los fuertes incrementos se reflejan también en la conductividad eléctrica; por ejemplo, en el incremento en mayo en todas las explotaciones, o en septiembre/octubre en Fuensanta, Luenga, Guadiana y Osuna. Si observamos las correlaciones bivariadas entre los elementos estudiados en las diferentes explotaciones se establece una correlación alta (r>0,7) y significativa entre la conductividad eléctrica y la concentración de Na en Fuensanta, Hornachuelos y Osuna.

CALCIO Y MAGNESIO

Las dinámicas de calcio y magnesio en savia, como ya vimos también en hoja son muy similares entre sí, aunque las concentraciones si son diferentes: entre 10 y 20 ppm para calcio (excepcionalmente se supera este valor) y entre 2 y 5 ppm para magnesio **(Figuras 3.42** y **3.43)**.

En todas las explotaciones se observan valores más altos en los meses de mayo/junio y en diciembre/enero, lo que en la mayoría de las explotaciones se alarga a febrero. Los meses de verano suelen presentar las concentraciones más bajas, aunque pueden aparecer valores más altos como sucede en Hornachuelos, Dílar, Fuensanta y Osuna en agosto de 2018.

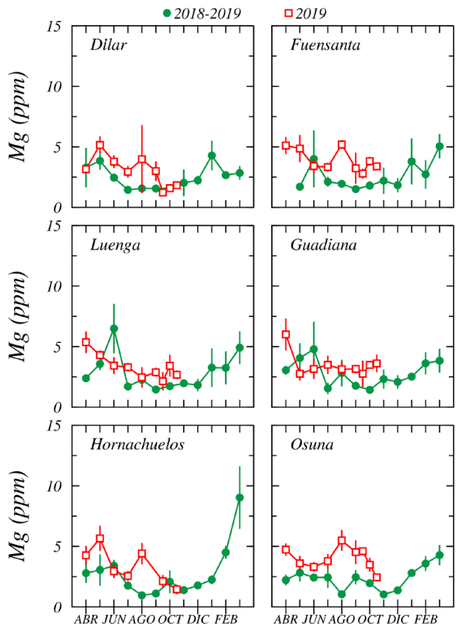
Calcio y magnesio presentaron correlaciones bivariadas altas y estadísticamente significativas (r>0,7) en todas las explotaciones estudiadas. Esto indica que el movimiento de los dos elementos está muy relacionado.



↑

Figura 3.42

Valores medios ± DS de la concentración de calcio (ppm) en las diferentes explotaciones durante el periodo de estudio. La línea verde representa los valores desde abril de 2018 a marzo de 2019 y la línea roja representa los valores obtenidos desde abril de 2019 a noviembre de 2019 (octubre y noviembre de 2019 tienen dos fechas de recogida)



↑

Figura 3.43

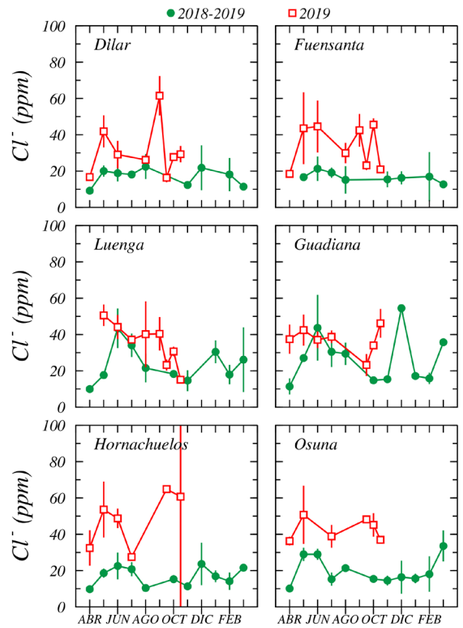
Valores medios ± DS de la concentración de magnesio (ppm) en las diferentes explotaciones durante el periodo de estudio. La línea verde representa los valores desde abril de 2018 a marzo de 2019 y la línea roja representa los valores obtenidos desde abril de 2019 a noviembre de 2019 (octubre y noviembre de 2019 tienen dos fechas de recogida)

Por otra parte, aunque ya de forma no tan generalizada, se observaron correlaciones bivariadas entre calcio y magnesio con el zinc en la explotación de Dílar, y entre el calcio y el manganeso en Guadiana y entre magnesio y manganeso en las explotaciones de Dílar, Fuensanta y Guadiana.

CLORUROS Y SULFATOS

Estos elementos presentan dinámicas muy similares entre sí **(Figuras 3.44** y **3.45)**, de hecho, cuando establecemos correlaciones bivariadas con todos los datos analizados de todas las explotaciones (mínimo 79 datos y máximo 98 datos) se observan correlaciones estadísticamente significativas (r>0,7) entre todos ellos.

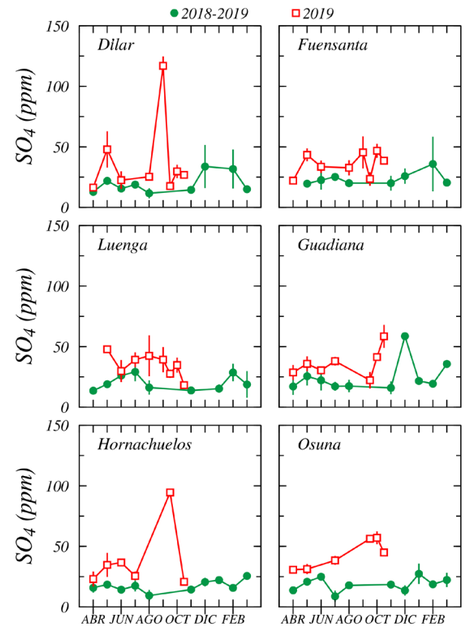
Aunque las dinámicas son similares, las concentraciones son diferentes y oscilan de 10 a 40 ppm (en ocasiones y en algunas explotaciones como Hornachuelos y Dílar mayores de 60 ppm) para cloruros y de 20



↑

Figura 3.44

Valores medios ± DS de la concentración de cloruros (ppm) en las diferentes explotaciones durante el periodo de estudio. La línea verde representa los valores desde abril de 2018 a marzo de 2019 y la línea roja representa los valores obtenidos desde abril de 2019 a noviembre de 2019 (octubre y noviembre de 2019 tienen dos fechas de recogida)



↑

Figura 3.45

Valores medios ± DS de la concentración de sulfatos (ppm) en las diferentes explotaciones durante el periodo de estudio. La línea verde representa los valores desde abril de 2018 a marzo de 2019 y la línea roja representa los valores obtenidos desde abril de 2019 a noviembre de 2019 (octubre y noviembre de 2019 tienen dos fechas de recogida).

a 50 ppm (también Hornachuelos y Dílar pueden presentar concentraciones cercanas a 100 ppm) para sulfatos.

En la mayoría de las explotaciones se observan incrementos en los meses de mayo/junio y noviembre/diciembre. Aunque las secuencias obtenidas tienen huecos derivados de la escasez de muestra, especialmente en 2018, aparece, también de forma bastante generalizada, un incremento en agosto de 2019.

Los dos aniones están correlacionados con la conductividad eléctrica de la savia en al menos alguna de las explotaciones.

Sulfatos y cloruros se aplican como abono foliar en primavera y verano, y también, por fertirriego. La detección en savia durante el periodo de fertirrigación de los cloruros varía durante los meses estudiados dependiendo de la coincidencia de fechas de recogida de muestras y de aplicación de fertirriego.

AZUFRE

La dinámica del S es similar a la mostrada por sulfatos y cloruros. También presentan valores más altos en los meses de mayo/ junio y de nuevo en octubre **(Figura 3.46)**

Como ocurría con P y PO_4^{3-} los valores de S (con máximos de 15 ppm y concentraciones la mayoría de os meses de alrededor de 5 ppm), son menores que las observadas cuando medimos SO_4^{2-}.

El azufre se está aplicando por fertirriego durante todo el verano acompañando al potasio, como sulfato potásico. Las lluvias registradas en la primavera y en el otoño favorecen la absorción de estos elementos.

BORO

La evolución en las concentraciones de boro puede observarse en la **figura 3.47**. Destaca el incremento que se produce en mayo de 2018 en todas las explotaciones excepto en Fuensanta, que el incremento se observa en junio. En Luenga y Guadiana los valores altos se mantienen durante los meses de primavera y principios de verano, mientras que en el resto de explotaciones desciende hasta un pequeño incremento en noviembre/diciembre de 2018 que también se repite en noviembre de 2019.

La dinámica de las explotaciones de Fuensanta y Hornachuelos no es tan similar a la del resto de explotaciones. De hecho las correlaciones bivariadas altas para este elemento se establecen entre las explotaciones de Luenga y Guadiana, Dílar y Osuna y Dílar y Luenga.

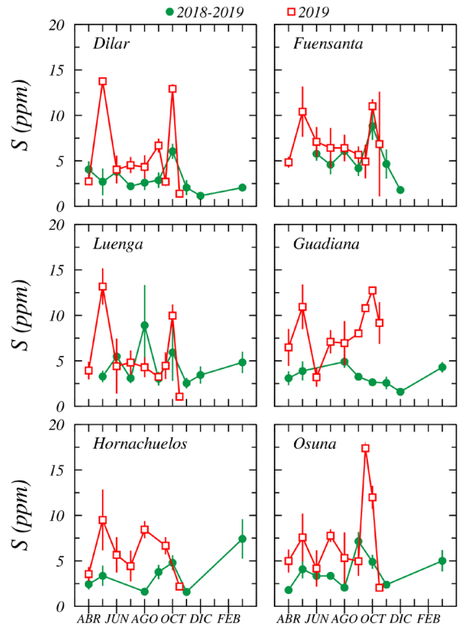
HIERRO

Las concentraciones de Fe en savia son muy bajas, entre 0,05 y 0,1 ppm. Es conocida la escasa solubilidad de este elemento y su relación con diversas características el suelo como el pH o el contenido en carbonato cálcico.

El análisis foliar tradicionalmente no se ha considerado como fiable para el diagnóstico de la disponibilidad de Fe en la planta, probablemente, y observando las bajas concentraciones que se movilizan en savia, porque no se almacena, interviene de forma inmediata en las funciones metabólicas y estructurales pero al contrario de otros elementos como el potasio, no se redistribuye de unos órganos a otros.

Las medidas de 2018 son escasas hasta que conseguimos ajustar el método y las de 2019 sí presentan una mayor continuidad en los diferentes meses **(Figura 3.48)**.

La dinámica es similar en todas las explotaciones y presenta máximos en los meses de abril/mayo y en octubre/noviembre. Los valores más altos se registraron en Hornachuelos, la explotación con el pH más bajo, y los más bajos en Luenga y Guadiana, las explotaciones con el mayor contenido de carbonato cálcico.



↑

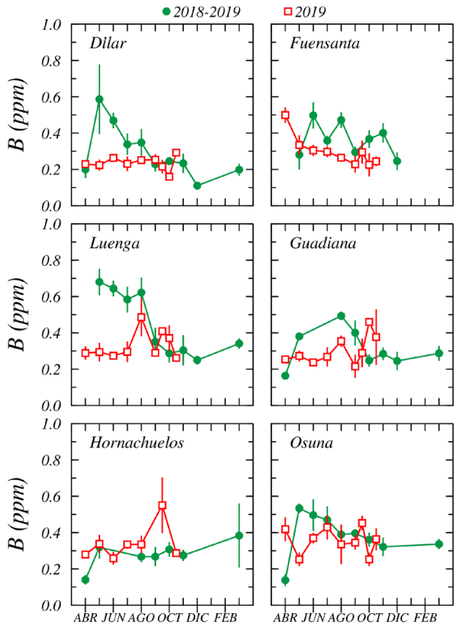
Figura 3.46
Valores medios ± DS de la concentración de azufre (ppm) en las diferentes explotaciones durante el periodo de estudio. La línea verde representa los valores desde abril de 2018 a marzo de 2019 y la línea roja representa los valores obtenidos desde abril de 2019 a noviembre de 2019 (octubre y noviembre de 2019 tienen dos fechas de recogida)

Se han observado correlaciones negativas entre la concentración de Fe en savia y el pH también en savia los meses de agosto, septiembre y octubre de 2019. También se observaron correlaciones negativas entre el Fe y el Ca en savia los meses de octubre de los dos años estudiados y noviembre de 2018. Fueron, sin embargo, positivas las correlaciones con el boro durante los meses de abril, mayo, septiembre y octubre, y negativas con el fósforo en el mismo periodo. En estas correlaciones, realizadas entre los datos de los dos elementos cada mes, el número de muestras es solo de seis, las que se recogían cada mes.

Las incertidumbres sobre este elemento son todavía muchas, y son necesarios más ensayos para incrementar la validez de los resultados obtenidos.

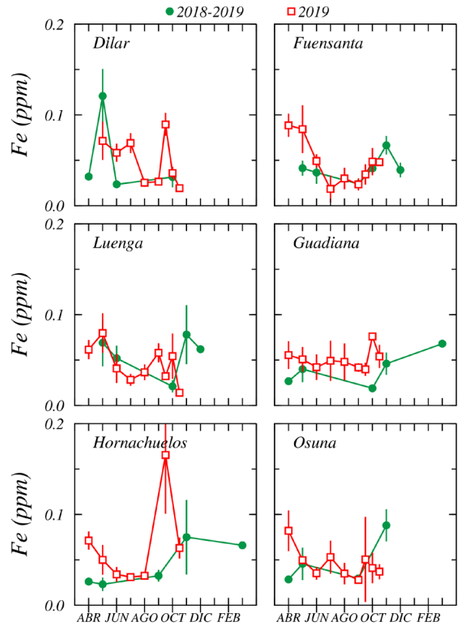
↓

Figura 3.47
Valores medios ± DS de la concentración de boro (ppm) en las diferentes explotaciones durante el periodo de estudio. La línea verde representa los valores desde abril de 2018 a marzo de 2019 y la línea roja representa los valores obtenidos desde abril de 2019 a noviembre de 2019 (octubre y noviembre de 2019 tienen dos fechas de recogida)



↓

Figura 3.48
Valores medios ± DS de la concentración de hierro (ppm) en las diferentes explotaciones durante el periodo de estudio. La línea verde representa los valores desde abril de 2018 a marzo de 2019 y la línea roja representa los valores obtenidos desde abril de 2019 a noviembre de 2019 (octubre y noviembre de 2019 tienen dos fechas de recogida)



MANGANESO, COBRE Y ZINC

Las dinámicas de estos tres elementos pueden observarse en las **figuras 3.49**, **3.50** y **3.51**. Casi en todos los casos se observa un incremento en la concentración en los meses de abril/mayo, así como en octubre.

Las concentraciones más altas se observaron para el cobre, alrededor de 0,2 ppm con máximos de 0,6 ppm. El zinc presentó durante la mayoría de los meses estudiados concentraciones de 0,1 ppm, por último el manganeso registró la mayor parte de los meses concentraciones inferiores a 0,05 ppm.

Los tres micronutrientes se correlacionaron entre sí en la mayoría de las explotaciones, excepto en Hornachuelos, donde no se observaron correlaciones entre ellos. Dílar y Fuensanta presentaron correlaciones significativas y positivas para las concentraciones de manganeso y zinc. Fuensanta y Luenga se correlacionaron en las concentraciones y dinámica del cobre y, por último, Luenga y Guadiana se correlacionaron con zinc y cobre.

Aunque los valores máximos se observan también en Hornachuelos en los mismos periodos que en el resto de las explotaciones, la dinámica con valores altos en verano diferencia esta explotación de las demás.

↓

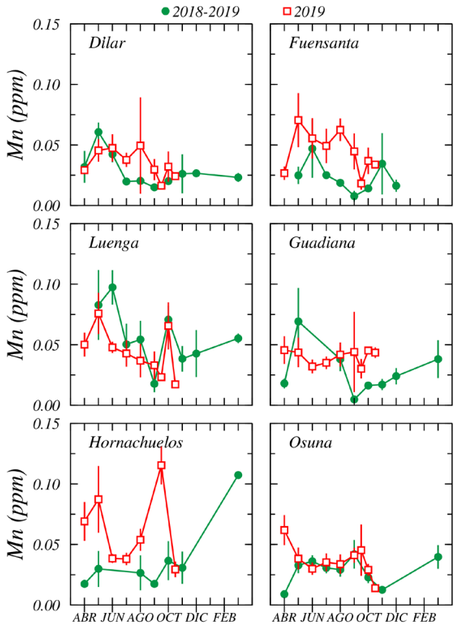
Figura 3.49
Valores medios ± DS de la concentración de manganeso (ppm) en las diferentes explotaciones durante el periodo de estudio. La línea verde representa los valores desde abril de 2018 a marzo de 2019 y la línea roja representa los valores obtenidos desde abril de 2019 a noviembre de 2019 (octubre y noviembre de 2019 tienen dos fechas de recogida)

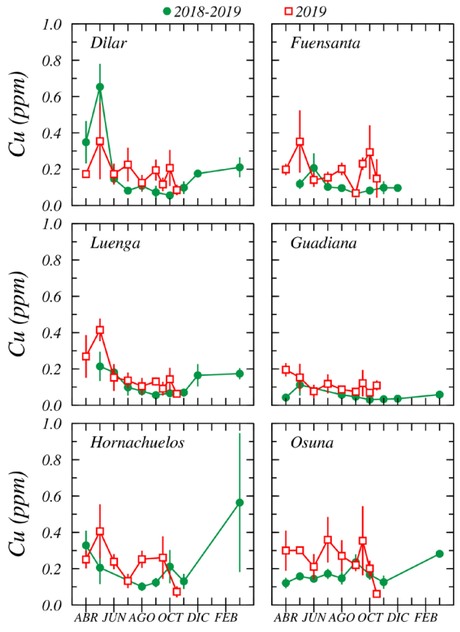
↓

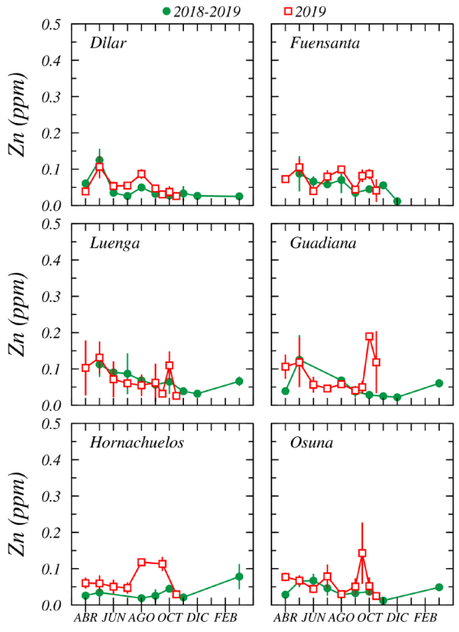
Figura 3.50
Valores medios ± DS de la concentración de cobre (ppm) en las diferentes explotaciones durante el periodo de estudio. La línea verde representa los valores desde abril de 2018 a marzo de 2019 y la línea roja representa los valores obtenidos desde abril de 2019 a noviembre de 2019 (octubre y noviembre de 2019 tienen dos fechas de recogida)

↓

Figura 3.51
Valores medios ± DS de la concentración de zinc (ppm) en las diferentes explotaciones durante el periodo de estudio. La línea verde representa los valores desde abril de 2018 a marzo de 2019 y la línea roja representa los valores obtenidos desde abril de 2019 a noviembre de 2019 (octubre y noviembre de 2019 tienen dos fechas de recogida)







4. — DISCUSIÓN SUELO-HOJA-SAVIA

A pesar de las grandes diferencias entre los tres medios estudiados hemos encontrado numerosas correlaciones entre pares de muestras para las variables estudiadas. Sin embargo, las que presentamos a modo de conclusiones las hemos elegido entre aquellas que presentaron un valor de r ≥ 0,7 teniendo en cuenta la incertidumbre y en las que el número de muestras (n) ≥ 15.

El número de correlaciones que hemos encontrado es mayor que el que finalmente señalamos en estas conclusiones ya que en ellos se consideran correlaciones con r ≥ 0,5 teniendo en cuenta la incertidumbre y en las que el número de muestras (n) ≥ 6.

Una de la hipótesis que queríamos testar era la influencia de la variedad de olivo (hojiblanca y picual) en las variables estudiadas en hoja y savia teniendo en cuenta contrastes edáficos y climáticos. Para esto realizamos correlaciones bivariadas entre pares de fincas, mes a mes, teniendo en cuenta todas las variables estudiadas. Con las restricciones de significación y el número de muestras, no encontramos resultados para las variables medidas en hoja, de ahí que los resultados se presentan solo en dos figuras:

Figura.4.1: correlaciones mes a mes entre pares de explotaciones, considerando todos los datos de suelos estudiados, durante el periodo de estudio. Verde meses de 2018-2019, rojo meses de 2019. r ≥ 0,7, n ≥ 17.

Figura..4.2: correlaciones mes a mes entre pares de explotaciones, considerando todos los datos de savia estudiados, durante el periodo de estudio. Verde meses de 2018-2019, rojo meses de 2019. r ≥ 0,9, n ≥ 17.

La limitación de estas premisas ha excluido muchas correlaciones para un mes determinado o para una finca-mes concretos, pero desde el planteamiento de este proyecto el objetivo era obtener, presentar y difundir resultados robustos que fuesen compatibles y aplicables al mayor número de situaciones posibles.

La siguiente cuestión que nos planteamos era como se correlacionaban las variables en un mismo medio (por ejemplo pH y concentración de Na en hoja) y entre medios diferentes, por ejemplo concentración de Na en suelo y savia.

Para encontrar respuestas, además de los anexos y figuras anteriores estudiamos las correlaciones bivariadas entre variables de los tres medios dentro de cada explotación. Los resultados obtenidos para r ≥ 0,7, n ≥ 15, se presentan en tres figuras:

Figura 4.3: correlaciones bivariadas (r > 0,7, n ≥15) entre las variables analizadas en suelo y las obtenidas en el análisis foliar.

Figura 4.4: correlaciones bivariadas (r > 0,7, n ≥15) entre las variables analizadas en suelo y las obtenidas en savia.

Figura 4.5: correlaciones bivariadas (r > 0,7, n ≥15) entre las variables analizadas en savia y las obtenidas en el análisis foliar.

Es importante recordar que en el diseño experimental incluimos varias premisas que tenían que cumplir todas las explotaciones para conseguir en la medida de lo posible una normalización de los resultados y que eran las siguientes:

- Estar manejadas de acuerdo a las directrices de Producción integrada
- Tener fertirriego
- Olivos jóvenes en periodo de máxima producción
- No presentar ningún tipo de enfermedad o deficiencia

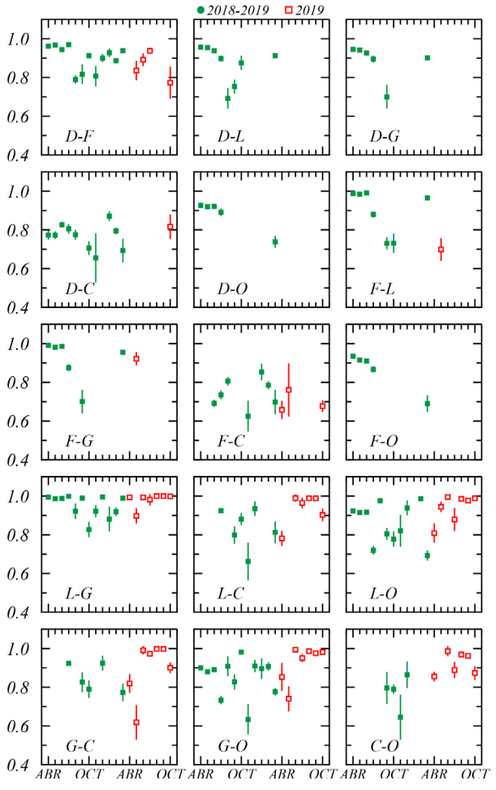
Se incluyeron dos variedades, picual, la más extendida en Andalucía y hojiblanca.

Las dos explotaciones de hojiblanca estaban situadas en Granada (Fuensanta) y la otra en Sevilla (Osuna). Presentaron pocas características comunes respecto al suelo, de hecho solo encontramos correlaciones bivariadas significativas entre las dos explotaciones para el pH, carbono orgánico, hierro y zinc en suelos y solo durante los meses de abril, mayo, junio, julio de 2018 y marzo de 2019 (**Figura 4.1**).

Teniendo en cuenta las características edáficas las explotaciones con mayores similitudes era las más próximas entre sí: Dílar con Fuensanta y Luenga con Guadiana.

Guadiana y Luenga se correlacionaron con Osuna **(Figura 4.1)**.

Sin embargo, Fuensanta y Osuna sí presentaron correlaciones altas teniendo en cuenta todos los análisis de hoja realizados (r>0,8; n=232) y de savia (r>0,9; n=286)**.** En hoja los elementos correlacionados (r>0,8; n=21) en las dos explotaciones fueron N, Ca, Mg, Mn y Zn**.** En savia se observaron correlaciones la mayor parte de los meses (r>0,8; n=15), y los parámetros con mayor correlación entre las dos explotaciones fueron la conductividad eléctrica, y las concentraciones de potasio y magnesio**.**

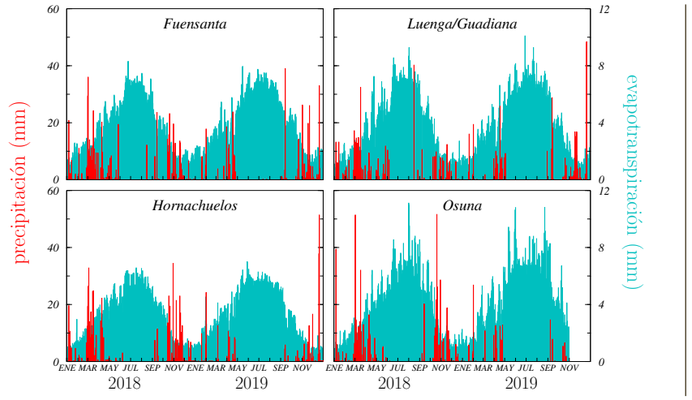


←

Figura 4.1
Correlaciones mes a mes entre pares de explotaciones, considerando todos los datos de suelos estudiados, durante el periodo de estudio. Verde meses de 2018-2019, rojo meses de 2019. r ≥ 0,7, n ≥ 17. D: Dílar, F: Fuensanta, L: Luenga, G: Guadiana, C: Hornachuelos, O: Osuna

Además de las diferencias edáficas ya señaladas entre ambas explotaciones hay que tener en cuenta las diferencias climáticas, mayores en 2019 que en 2018 **(Figura 4.6)**. Así, la precipitaciones en Fuensanta fueron mayores en 2019 (más de 90 mm de diferencia) y la ETo menor (209 mm menos en Fuensanta que en Osuna).

Teniendo en cuenta todas las variables analizadas en hoja (n ≥ 230) todas las explotaciones están correlacionadas entre sí. Fuensanta y Osuna presentan una de las correlaciones con r más altas, pero no mayor que la que presentan Osuna con Luenga o con Guadiana. De nuevo el manejo, las características edáficas y el clima, parecen homogeneizar los posibles cambios asociados a otros factores como la variedad de olivo. Sin embargo el análisis puntual del contenido en nutrientes en hoja presenta características diferenciales que no nos han permitido observar correlaciones (con los términos restrictivos que hemos establecido respecto al nivel de significación) "finca1 vs. Finca2" mes a mes como hemos hecho en suelos **(Figura 4.1)** y como veremos a continuación en savia **(Figura 4.2)**. Esto limita la posibilidad de normalizar los resultados de hoja para todas las explotaciones y explica las controversias que este análisis ha generado en otros trabajos.



←

Figura 4.6
Precipitaciones y ETo de las explotaciones de Fuensanta, Luenga, Guadiana, Hornachuelos y Osuna, según los datos de las estaciones agroclimáticas de la Junta de Andalucía más cercanas

Entre las correlaciones entre elementos que se observan en todas las explotaciones (r ≥ 0,7, n≥15) señalar el calcio con el magnesio y con el manganeso, ya observado en trabajos anteriores y el Zn con el B (menos en Guadiana y Luenga). Además, frecuentemente aparecen correlación entre pares de elementos en más de una explotación como N con P, K y S, y K con Zn, B y S, estas ligadas a la fertilización y muy diferentes a las observadas en otros estudios.

Las correlaciones estadísticamente significativas observadas en savia son muy numerosas si tenemos en cuenta todas las variables estudiadas, entre elementos y entre explotaciones.

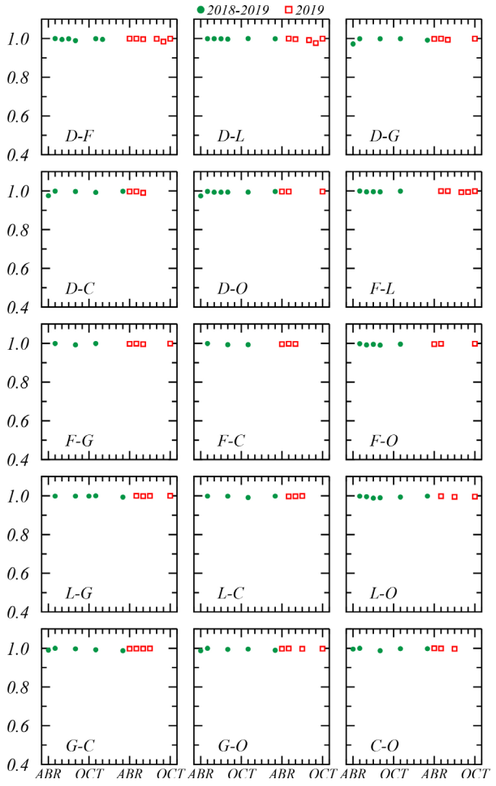
Las variables climáticas pueden ser también la causa de que el mayor número de variables de savia correlacionadas entre pares de fincas se observen entre aquellas que están más cercanas: Dílar y Fuensanta, con nueve variables correlacionadas, y Luenga con Guadiana, con el mismo número de variables correlacionadas.

El mismo resultado se obtiene cuando observamos las correlaciones entre pares de explotaciones mes a mes **(Figura 4.2)**. De nuevo la proximidad entre explotaciones genera un mayor número de meses correlacionados entre pares de explotaciones. Así, Dílar y Fuensanta están correlacionadas en 12 de los meses estudiados y 9 meses en el caso de Luenga y Guadiana (r>0,8; n ≥17).

La mayoría de los meses las correlaciones son muy cercanas a 1, y presentan un valor de r algo más bajo en los meses de agosto, octubre y noviembre de 2018, y enero y abril de 2019. También están muy correlacionadas Luenga y Guadiana con Osuna, también durante todo el periodo de estudio (9 meses) y Dílar con Osuna, 10 meses **(Figura 4.2)**.

Las correlaciones entre pares de explotaciones mes a mes **(Figura 4.2)** son más frecuentes y con r más altos, los meses de primavera: abril, mayo y junio tanto en 2018 como en 2019. También de forma generalizada entre todos los pares de fincas se observa una alta correlación en el mes de noviembre, incluso entre las explotaciones con menos meses correlacionados como Hornachuelos con Fuensanta, Luenga o Guadiana.

Fuensanta con Dílar y Luenga con Guadiana, están correlacionadas en nueve de las 17 variables estudiadas. La explotación con menor número de elementos correlacionados con otras explotaciones es Hornacuelos



←

Figura 4.2
Correlaciones mes a mes entre pares de explotaciones, considerando todos los datos de savia estudiados, durante el periodo de estudio. Verde meses de 2018-2019, rojo meses de 2019. r ≥ 0,9, n ≥ 17. D: Dílar, F: Fuensanta, L: Luenga, G: Guadiana, C: Hornachuelos, O: Osuna

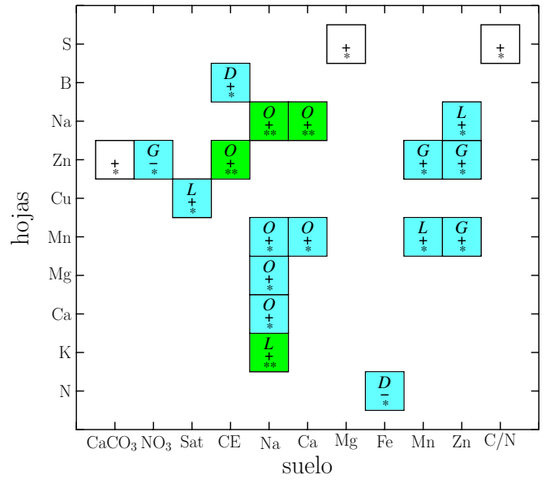
(C), seguida por Osuna (O). Las variables que se correlacionan entre explotaciones con más frecuencia son conductividad eléctrica (CD), pH, K, Na, Mg, Cloruros ($C1^-$) y sulfatos (SO_4^{2-}).

Por tanto podríamos concluir que los meses en las que los análisis de savia podrían ser extrapolados a un mayor número de explotaciones serían abril, mayo, junio y octubre. Los tres medios estudiados (suelo-hoja-savia) son muy complejos considerados de forma individual, por lo que cuando los relacionamos entre sí la interpretación resulta igualmente compleja. En las **figuras 4.7, 4.8 Y 4.9** se presentan las correlaciones significativas (r > 0,7, n ≥15) entre suelo/hoja, suelo/savia y hoja/savia.

Como puede observarse algunos elementos medidos en suelo y hoja se correlacionaron en Osuna, en Luenga y Guadiana **(Figura 4.3)**. En ocasiones las correlaciones fueron entre el mismo elemento en hoja y suelo, como el Na en Osuna o el Mn en Luenga. Casi todas son positivas, aunque destacan dos correlaciones

negativas: Fe con N en Dílar y Zn con $NO_3^=$ en Guadiana. Pero las correlaciones son escasas y en ocasiones difíciles de interpretar.

Hay que considerar que en la hoja se dan varios procesos relacionados con la concentración de nutrientes, uno relacionado con el abonado foliar y el otro relacionado con el almacenamiento de nutrientes. Algunos elementos son estructurales de la propia hoja, otros se almacenan para ser movilizados cuando el fruto o la floración los necesiten, por ejemplo el potasio, y otros para retirarlos y evitar concentraciones demasiado



←

Figura 4.3
Correlaciones bivariadas (r > 0,7, n ≥15) entre las variables analizadas en suelo y las obtenidas en el análisis foliar. Blanco: todos los datos; azul: "elemento 1 vs. elemento 2" - "finca a finca" r > 0,7, n ≥19; verde "elemento 1 vs. elemento 2" - "finca a finca" r > 0,8, n ≥19. D: Dílar, F: Fuensanta, L: Luenga, G: Guadiana, C: Hornachuelos, O: Osuna

altas en savia como el calcio y el magnesio. Todos estos factores pueden condicionar las pocas correlaciones observadas entre el suelo y la hoja.

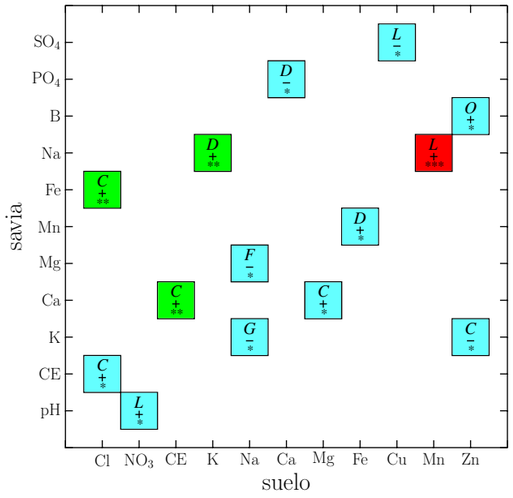
Las correlaciones entre las variables estudiadas en savia y suelo son más frecuentes en Hornachuelos **(Figura 4.4)**. Cabe destacar las correlaciones positivas entre la concentración de cloruro en suelo con la conductividad eléctrica y la concentración de Fe en savia. Por otra parte el calcio en savia esta correlacionada de forma positiva con la conductividad eléctrica y la concentración de magnesio en suelo.

El sodio en suelo se relaciona de forma negativa con el magnesio en savia (Fuensanta) y con el potasio (Guadiana).

La correlación negativa en Dílar entre fosfato en savia y calcio en suelos parece indicar que cuando aumenta la concentración de calcio en la solución del suelo disminuye la absorción de fosfato y su presencia en savia.

Algunos autores (Dambrine et al., 1995) han señalado que en savia la mayor parte del nitrógeno está en forma de nitratos. En nuestro estudio la concentración de nitratos en suelo se correlaciona positivamente con el pH de la savia con alta significación en Luenga.

Diversos autores (Stark et al., 1989; Glavac et al., 1989; Dambrine et al., 1995) han señalado que el efecto de la disponibilidad de nutrientes en suelo solo se detecta en savia después de un periodo de tiempo relativamente largo, sin embargo, en nuestro estudio analizamos los nutrientes en el bulbo húmedo donde la mayor parte del tiempo se está aplicando soluciones nutritivas, de ahí el número de correlaciones observadas.



←

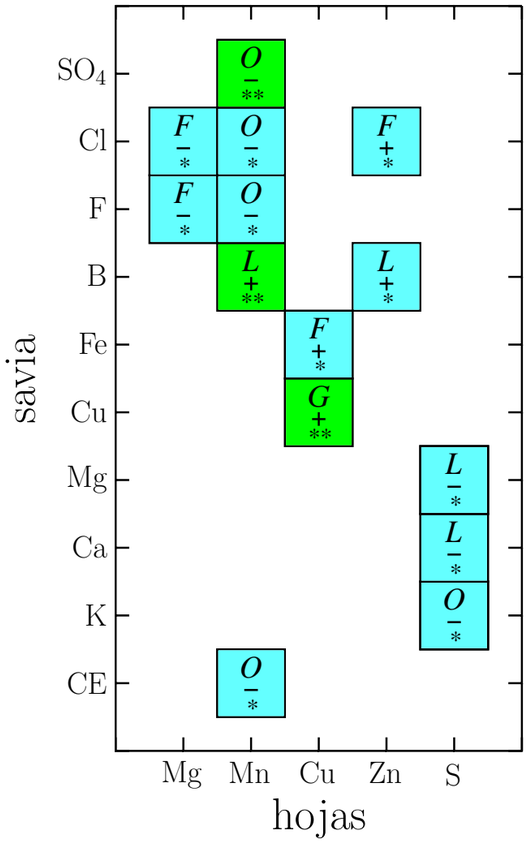
Figura 4.4

Correlaciones bivariadas (r > 0,7, n ≥15) entre las variables analizadas en suelo y las obtenidas en savia. Azul: "elemento 1 vs. elemento 2" - "finca a finca" r > 0,7, n ≥19; verde "elemento 1 vs. elemento 2" - "finca a finca" r > 0,8, n ≥19. Dílar, F: Fuensanta, L: Luenga, G: Guadiana, C: Hornachuelos, O: Osuna

Entre las concentraciones de algunos elementos en savia y hoja hay varias correlaciones negativas. Las concentraciones de cloruros y sulfatos en savia están correlacionadas negativamente con la concentración de Mn en hoja en Osuna **(Figura 4.5)**. El S en hoja se correlacionó negativamente con el K en savia en Osuna y con el calcio y el magnesio en savia en Luenga. Estas correlaciones pueden estar condicionadas por el carácter acidifícate del azufre frente a la basicidad del potasio, calcio y magnesio.

También son de destacar las correlaciones positivas entre el Cu en hoja y el Cu y el Fe en la savia de Guadiana y Fuensanta respectivamente.

Las correlaciones observadas entre savia y hoja son menos frecuentes y hemos robustas que entre savia y suelo a pesar de la diferencia entre los dos medios. Tal como hemos señalado la hoja tiene muchos de los elementos estudiados incluidos en sus estructuras y actúa como sumidero y/o almacén de muchos de ellos. En la savia estamos midiendo los elementos que están circulando en un momento determinado, en el que se hace la medida, y está relacionado con la disponibilidad del elemento analizado (por ejemplo el aporte por abono foliar o fertirriego o el movimiento de nutrientes en suelo ligado a las precipitaciones) y con las necesidades relacionadas con estados fenológicos, por ejemplo el desarrollo del fruto.



←

Figura 4.5

Correlaciones bivariadas (r > 0,7, n ≥15) entre los datos analizados del análisis de hoja y los del análisis de savia. Azul: "elemento 1 vs. elemento 2" - "finca a finca" r > 0,7, n ≥19; verde "elemento 1 vs. elemento 2" - "finca a finca" r > 0,8, n ≥19. Dílar, F: Fuensanta, L: Luenga, G: Guadiana, C: Hornachuelos, O: Osuna

5. — CONCLUSIONES

En la memoria del proyecto se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- **3.1** Diseño de la experiencia de campo. Diseño de un protocolo de toma de muestras de savia, hojas y suelo en campo.
- **3.2** Seguimiento y control de la fertilización y riego de las parcelas. Análisis del agua de riego.
- **3.3** Análisis de la dinámica de nutrientes en savia y hojas.
- **3.3** Caracterización edáfica y análisis mensuales de la disponibilidad de nutrientes en el medio edáfico.
- **3.4** Difusión y transferencia de resultados utilizando los recursos de los participantes en el proyecto, en las jornadas de campo con agricultores y técnicos, con la asistencia a Congresos Nacionales e Internacionales, con la publicación de los resultados en revistas del sector y en la página web diseñada especialmente para este proyecto.

Las conclusiones de este informe las planteamos como respuesta a estos objetivos:

1. La elección de las explotaciones del proyecto, el diseño de la experiencia en campo, el protocolo de toma de muestras de savia, hoja y suelo, ha ayudado a obtener resultados robustos que nos han permitido establecer e interpretar los resultados obtenidos en suelo, hoja y savia. En este sentido señalar la importancia del muestreo sistemático en la misma fecha y hora aproximada a lo largo del periodo de estudio, lo que ha eliminado ruido en los resultados especialmente en el análisis de savia. También la importancia de realizar análisis de disponibilidad de nutrientes en suelos, en muestras recogidas en el bulbo en donde se están aplicando directamente con el fertirriego, pero también los que nos caracterizan las propiedades del suelo como la capacidad de intercambio catiónico, el contenido en carbonato cálcico o materia orgánica.

2. Se ha optimizado el método para la extracción, conservación y análisis de la savia, incluyendo el análisis de elementos no previsto inicialmente como el azufre y los aniones: nitratos, sulfatos, fosfatos, cloruros.

3. Es destacable la sensibilidad de la savia frente a factores de manejo agronómico (riego, abonado), así como climatológicos (pluviometría, calor, heladas), todo lo cual tiene una gran implicación en la búsqueda de aquellos momentos que pudieran ser más idóneos para fijar el diagnostico a través de este material.

4. El manejo integrado implica una fertilización equilibrada basada en el análisis foliar. Las concentraciones de nutrientes a través de este tipo de análisis han estado siempre en niveles adecuados, por lo que los datos obtenidos en savia, aunque deben ser testados en mayor número de explotaciones, se corresponden a condiciones adecuadas de cultivo.

5. Los resultados obtenidos en relación con la dinámica de nutrientes en hojas presentan diferencias, para algunos elementos, entre ellos el potasio, a la establecida por trabajos ya existentes y que se justifican por los cambios de manejo (fertirriego) experimentados en el campo. La dinámica de elementos que no se aplican de forma generalizada, como el manganeso o el magnesio, mantienen una evolución similar a la ya descrita por otros autores. La dinámica de las concentraciones en hoja propuestas en este proyecto actualiza los resultados con las actuales técnicas de manejo en producción integrada.

6. La dinámica de las variables estudiadas en savia es muy similar en todas las explotaciones, por lo que los resultados pueden ser considerados válidos para una amplia variabilidad de situaciones, incluyendo diferentes estados fenológicos y variedad. Destaca en la dinámica de savia los valores encontrados, de varios nutrientes, en los meses de primavera y otoño, en todas las explotaciones, por lo que deben ser considerados como periodos críticos en próximos trabajos.

7. La caracterización de los suelos ha sido fundamental en la interpretación de los resultados. Por otra parte el seguimiento mensual de los elementos disponibles ha permitido establecer correlaciones con las concentraciones en savia especialmente.

5. — BIBLIOGRAFÍA

Abadía J, López-Millán AF, Rombolà A, Abadía A., 2002. Organic acids and Fe deficiency: A review. Plant Soil 241: 75 –86

Amarante do, L.; Lima, J.D.; Sodek, L.2006. Growth and stress conditions cause similar changes in xylem amino acids for different legume species

Bacelar, E.A.; Santos, D. L.; Moutinho-Pereira, J. M.; Goncalves, B. C.; Ferreira, H.F.; Correia, C.M., 2006. Immediate responses and adaptative strategies of three olive cultivarsunder contrasting water availability regimes: Changes on structureand chemical composition of foliage and oxidative damage. Plant Science 170: 596-605.

Beutel, J., Uriu, K., Lilleland O. (1983). Leaf analysis for California deciduous fruit. Reisenauer H.M. (Ed). Soil and Plant Tissue Testing in California. University of California. 15-17.

Brouwer, C.; Goffeau, A.; Heibloem, M., 1985. Irrigation Water Management: Training Manual No. 1 - Introduction to Irrigation. FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.

Cabañero, F.J.; Carvajal, M., 2007. Different cation stresses affect specifically osmotic root hydraulic conductance, involving aquaporins, ATPase and xylem loading of ions in Capsicum annuum, L. plants. Journal of Plant Physiology 164:1300-10

Cadahía, C. (2008). La savia como índice de fertilización. Cultivos agroenergéticos, horticolas, frutales, y ornamentales. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

Carella, P., Wilson, D.C., Kempthorne, C.J., Cameron, R.K., 2016. Vascular sap proteomics: providing insight into long-distance signaling during stress. Front. Plant Sci. 7, 1–8.

Chapman, H.D. (Ed.), 1966. Diagnostic Criteria for Plants and Soils. University of California, Berkeley, CA.

Chatzistathis, T.; Papaioannou, A.; Gasparatos, D.; Molassiotis, A., 2017 From which soil metal fractions Fe, Mn, Zn and Cu are taken up by Olive trees (*Olea europaea L.*, cv.' Chondrolia Chalkidikis') inorganic groves? Journal of Environmental Management 203: 489-499.

Dambrine, E., Martin, F., Carisey, N., Granier, A., H, J., Bishop, K., 1995. Xylem sap composition: a tool for investigating mineral uptake and cycling in adult spruce. Plant Soil 169–169, 233–241.

Fernández-Escobar, R., Moreno, R., García-Creus, M. 1999. Seasonal changes of mineral nutrient in the olive leaves during the alternate-bearing cycle. Sci. Hort. 82:25-45.

Fernández-Escobar, R., Sÿnchez-Zamora, M.A., Uceda, M., and Beltran, G. (2002). The effect of nitrogen overfertilization on olive tree growth and oil quality. Acta Hortic. *586*, 429–431

Fernández-Escobar, R., 2008. Fertilización. In: Barranco, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L. (Eds.), El Cultivo del Olivo. Mundi-Prensa, Madrid, pp. 299–336.

Flint, R., 2015. Interpreting Soil Tests: Unlock the Secrets of Your Soil. Circular 676.
Cooperative Extension Service College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences. New Mexico State University.

Gasparatos, D.; Roussos, P.A.; Christofilopoulou, E.; Haidouti, C., 2011. Comparative effects of organic and conventional apple orchard management on soil chemical Properties and plant mineral content under Mediterranean climate conditions. J. Soil Sci. Plant Nutr. 11: 105-117.

Glavac V, Koenies H and Ebben U., 1990. Seasonal variations in mineral concentrations in the trunk xylem sap of beech in a 42- year old beech forest stand. New Phytol. 116, 47-54.

Graniti, A., 1993. Olive scab: review. EPPO Bulletin, Vol. 23, (n.d. 1993), pp. 774-777, ISSN 0250-8052.

Guérin, V., Huche´-Thélier, L., Charpentier, S., 2007. Mobilisation of nutrients and transport via the xylem sap in a shrub (Ligustrum ovalifolium) during spring growth: N and C compounds and interactions. Journal of Plant Physiology 164: 562—573.

Larbi, A.; Gargouri, K.; Ayadi, M.; Msallem, M. 2011. Effect of foliar boron application on growth, reproduction, and oil quality of olive trees conducted under a high density planting system. Journal of Plant Nutrition 34:2083-2094.

Larbi, A.; Morales, F.; Abadía, A.; Abadía, J. 2010. Changes in iron and organic acid concentrations in xylem sap and apoplastic fluid of iron-deficient Beta vulgaris plants in response to iron resupply. Journal of Plant Physiology 167 (2010) 255–260.

Lindsay, W.L. and Norvell. W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42, 421–428.

Mills, H,A. and Jones Jr, J.B., 1996. Plant Analysis Handbook II. MicroMacro Publishing Inc., Athens, GA.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2004. Métodos Oficiales de Análisis, Tomo III Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.

Motsara, M.R. and Roy, R.N., 2008. Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis. FAO Fertilizaer and Plant Nutrition Bulletin Nº 19. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Rome.

Nazif, W.; Marzouk, E.R.; Perveen, S.; Crout, N.M.J.; Young, S.D., 2015. Zinc solubility and fractionation in cultivated calcareous soils irrigated with waste water. Sci. Total Environ. 518-519: 310- 319.

Nieto, J., García-Fuentes, A., García L.M., Fernández-Ondoño,E. (2017). Estudio de la dinámica nutricional en hojas de olivo: periodos de estabilidad analítica. Spanish Journal of Soil Science. 7:40-58.

Parra, M.A., Fernández-Escobar, R., Navarro, C., Arquero, O., 2003. Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas. Mundi-Prensa, Madrid.

Porta, J.; López-Acevedo, M.; Poch, R.M., 2013. EDAFOLOGÍA. Uso y protección de suelos. Mundi-Prensa. 608 p.

Shaw, R. J.; Hughes, K. K.; Thorburn, P. J. and Dowling, A. J., 1987. Principles of landscape, soil and water salinity - processes and management options. Part A. In 'Landscape, soil and water salinity'. Proceedings of the Brisbane regional salinity workshop, Brisbane, May 1987. Queensland Department of Primary Industries Conference and Workshop Series QC87003. SHAW, R. J.,

Rodrigues, M. A.; Ferreira, I.Q.; Claro, A.M.; Arrobas, M., 2012. Fertilizer recommendations for olive based upon nutrients removed in crop and pruning. Scientia Horticulturae 142: 205-2011.

Rousseaux, M. C., Figuerola, P. I., Correa-Tedesco, G., and Searles, P. S., 2009. Seasonal variations in sap flow and soil evaporation in an olive (*Olea europaea* L.) grove under two irrigation regimes in an arid region of Argentina. *Agric. Water Manage.* 96, 1037–1044.

Smolders, E.; Versieren, L.; Shuofei, D.; Mattielli, N.; Weiss, D.; Petrov, I.; Degryse, F., 2013. Isotopic fractionation of Zn into matoplants suggest the role of root Exudates on Zn uptake. Plant Soil 370: 605-613.

Sofo, A, Fausto, C., Mininni, A.N., Dichio, B., Lucini, L., 2019. Soil management type differentially modulates the metabolomic profile of olive xylem sap . Plant Physiology and Biochemistry 139:707–714.

Stark N, Essig D and Baker S., 1989. Nutrients concentrations in *Pinus ponderosa and Pseudotsuga menziesii* xylem sap from acid and alkaline soils. Soil Sci. 148,124-131.

Vitanovic, E., 2012. Use of Cu Fungicides in Vineyards and Olive Groves. 10.5772/26953.

Vukadinovic, V. & Loncaric, Z., 1998. Ishrana bilja. Faculty of Agriculture, ISBN953-6331- 04-7, Osijek, Croatia.

SaviaOlivar
GRUPO OPERATIVO AEI-AGRI

Los resultados presentados son fruto de los trabajos realizados dentro del proyecto
"Sistema de Análisis Vascular Integrado en Olivicultura"
(GOP31-JA-16-0010)
que ha sido posible gracias a la subvención recibida de la
Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía y FEADER.

Este proyecto se incluye dentro del programa de Funcionamiento de los Grupos Operativos de la Asociación Europea de Innovación en materia de productividad y sostenibilidad agrícola, en el marco del Programa de Desarrollo Rural de Andalucía 2014-2020.

SaviaOlivar

GRUPO OPERATIVO AEI-AGRI

www.saviaolivar.eu

Miembros del Grupo Operativo AEI-AGRI

fundación CAJA RURAL JAÉN

UNIVERSIDAD DE GRANADA

CORTIJO DE LA LOMA

Cortijo Guadiana, S.L.

ATPOlivar asociación técnica de producción integrada de olivar