

**UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS AGRARIAS**



**GESTIÓN EFICIENTE DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN  
PLANTACIONES FRUTALES DE REGADÍO**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**M. U. EN GESTIÓN DE LA CALIDAD Y TRAZABILIDAD DE  
ALIMENTOS DE ORIGEN VEGETAL**

Emilio Javier Asencio Zapata

Badajoz, junio 2019

**UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS AGRARIAS**



**GESTIÓN EFICIENTE DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN  
PLANTACIONES FRUTALES DE REGADÍO**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**M. U. EN GESTIÓN DE LA CALIDAD Y TRAZABILIDAD DE  
ALIMENTOS DE ORIGEN VEGETAL**

Emilio Javier Asencio Zapata

Badajoz, junio de 2019

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**  
**GESTIÓN EFICIENTE DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN**  
**PLANTACIONES FRUTALES DE REGADÍO**

**M.U. EN GESTIÓN DE LA CALIDAD Y TRAZABILIDAD DE**  
**ALIMENTOS DE ORIGEN VEGETAL**

**AUTOR:** EMILIO JAVIER ASECIO ZAPATA

**TUTOR/ES:** ÁNGEL ALBARÁN LISO / VALME GONZÁLEZ GARCÍA

**Tutor**

**Cotutor**

**Fdo:** Ángel Albarrán Liso

**Fdo:** Valme González García

**Convocatoria:** junio de 2019

## ÍNDICE

1. RESUMEN.....	7
2. INTRODUCCIÓN .....	9
2.1. Agradecimientos.....	20
3. OBJETIVOS.....	22
3.1. Objetivo general .....	22
3.1.1. Objetivos específicos .....	22
4. MATERIAL Y MÉTODOS .....	24
4.1. Parcela experimental y material vegetal .....	24
4.2. Diseño experimental .....	25
4.2.1. Diseño del ensayo .....	25
4.2.2. Tratamiento de fertilización.....	26
4.2.2.1. Análisis de humedad, nitratos y amonios en muestras de suelo.....	27
4.2.2.2. Análisis de nitratos y amonios de muestras de agua de riego .....	29
4.3. Determinaciones de estado nutricional mediante el uso de sensores ópticos.....	29
4.4. Determinación del contenido en Nitrógeno de hojas y flores .....	31
4.5. Determinación de parámetro de desarrollo vegetativo .....	31
4.6. Rendimiento, componentes y parámetros de calidad .....	32
4.5.1. Parámetros de calidad .....	32
4.5.1.1. Calibre .....	33
4.5.1.2. Color.....	34
4.5.1.3. Firmeza.....	35
4.5.1.4. Concentración de sólidos solubles. ....	35
4.5.1.5. Acidez.....	36
4.7. Análisis estadístico .....	37
5. RESULTADOS .....	39
5.1. Climatología, riego y fertilización.....	39
5.1.1. Climatología.....	39
5.1.2. Riego .....	41
5.1.3. Fertilización .....	41
5.2. Evaluación del estado nutricional.....	42
5.3. Influencia sobre el desarrollo vegetativo .....	50

5.4. Producción .....	52
5.5. Parámetros de calidad.....	52
6. DISCUSIÓN.....	55
7. CONCLUSIONES .....	61
8. BIBLIOGRAFÍA.....	63

## **1. RESUMEN**

## 1. RESUMEN

Extremadura es la Comunidad Autónoma líder tanto en producción como superficie de ciruelo japonés, la mayoría concentrada en las Vegas del Guadiana, que está considerada como zona vulnerable a la contaminación por nitratos. Es por ello que se hace necesario evaluar la respuesta de la planta a diferentes pautas de fertilización nitrogenada que permitan, por un lado, optimizarlas y, por otro lado, determinar cómo afectan a la calidad de los frutos. A día de hoy se cuentan con tecnologías no destructivas relacionadas con el diagnóstico nutricional y éstas pueden convertirse, tras su puesta a punto para estas plantas, en un método rápido de evaluación que permita al agricultor poner a disposición de las plantas el nitrógeno en el momento de necesidad.

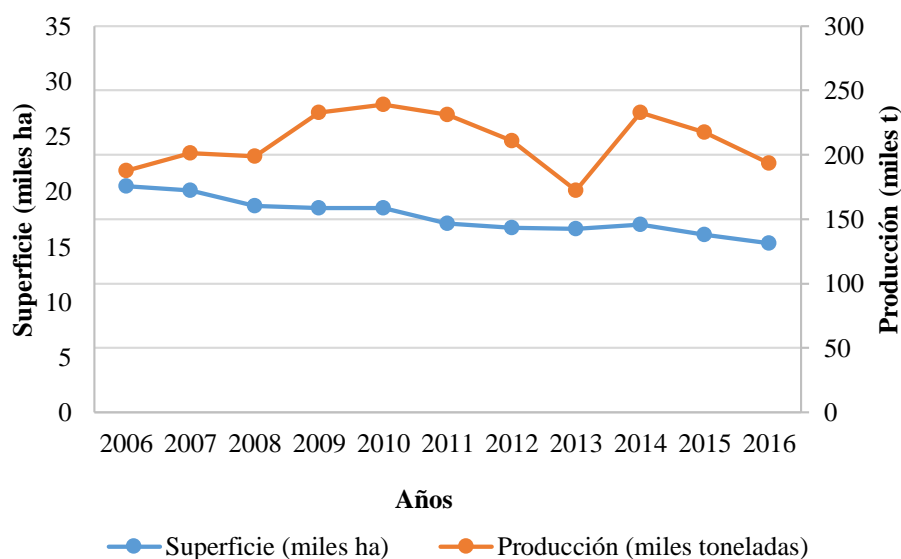
Para alcanzar estos objetivos se estableció durante el año 2018 un ensayo con dos tratamientos (fertilizado y sin fertilizar), además se contó con datos de 2017 usados de manera complementaria para entender la respuesta productiva de las plantas. Se tomaron muestras para determinar diferentes parámetros relacionados con el estado nutricional de las plantas, tanto de manera destructiva a través del análisis foliar, como de manera no destructiva mediante el uso de sensores ópticos (SPAD-502, Dualex 4.0, Crop Circle ACS 470). Se midieron también compuestos nitrogenados tanto a nivel de suelo como de agua de riego, así como parámetros básicos de calidad de los frutos que pueden guardar relación con la fertilización nitrogenada. Estas medidas permitieron establecer el patrón decreciente de evolución de la concentración foliar de nitrógeno al avanzar el ciclo de cultivo. El mayor descenso se produjo tras la recolección de los frutos. Las medidas realizadas con los diferentes sensores ópticos presentaron diferencias significativas especialmente en momentos cercanos a recolección y a finales del ciclo de cultivo, convirtiéndose el sensor SPAD-502 en un indicador incluso más sensible que el análisis foliar, especialmente en fases avanzadas del cultivo y el parámetro de índice de vegetación en el verde siguiendo una tendencia decreciente similar a la que seguía el análisis foliar en fases avanzadas del cultivo. En cuanto a las pautas de fertilización y su relación con la calidad de los frutos, las diferencias ocasionales encontradas parecen más debidas a aspectos relacionados con prácticas culturales que tienen que ver con la carga o la posición de la fruta en el árbol, que con la propia dosis de fertilización nitrogenada.

## **2. INTRODUCCIÓN**



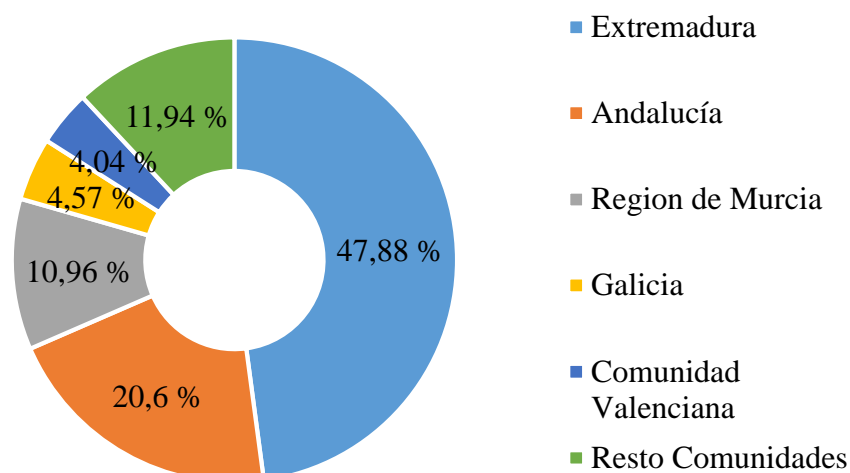
## 2. INTRODUCCIÓN

La superficie de frutales en Extremadura representa un importante porcentaje dentro de los cultivos que forman parte del entorno agrícola extremeño en los últimos años. Dentro de estos cultivos, es el ciruelo uno de los que mejor adaptación presenta a las condiciones agroclimáticas de Extremadura, concretamente el ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl), con menores requerimientos de horas frío (500-800 horas-frío) así como mejor adaptación a zonas áridas y semiáridas (Moñino *et al*, 2014). La evolución de este cultivo en los últimos años tanto a nivel de producción como de superficie se pueden apreciar en la figura 2.1, a destacar el paulatino descenso en la superficie en los últimos años mientras que las producciones han ido aumentando dado que los rendimientos han pasado de apenas 10.000 kg/ha en el año 2006 hasta los aproximadamente 15.000 kg/ha del año 2016.



**Figura 2.1.** Evolución de la superficie y producción de ciruelo (2006-2016) en España (elaboración propia a partir de datos del Anuario de estadística, Ministerio de Agricultura, MAGRAMA, 2017).

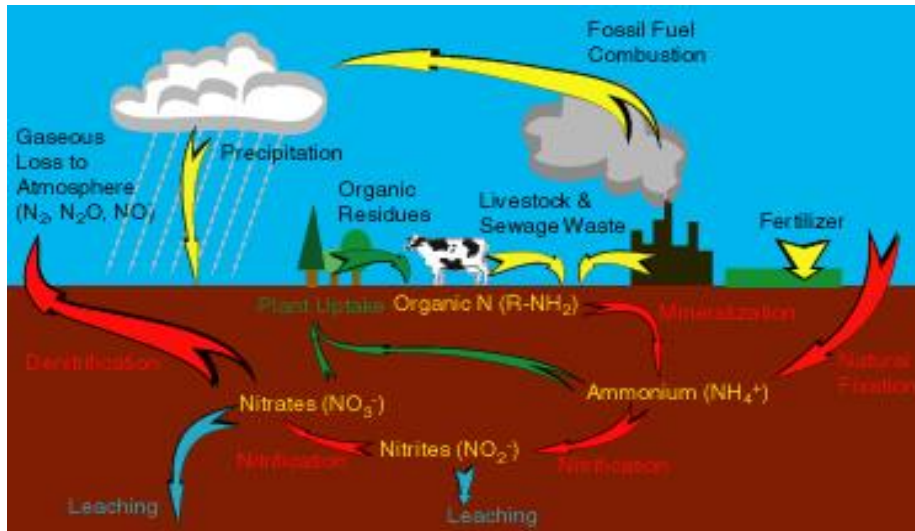
En lo que se refiere a Extremadura, de las 15.278 ha que conforman la superficie española en cuanto a ciruelo, aproximadamente el 43 % están implantadas en Extremadura (6.508 ha) de las cuales el 82 % (5.322 ha) se encuentran en la provincia de Badajoz, y más concretamente aún, en las Vegas Bajas del Guadiana. En cuanto a las producciones, Extremadura es líder nacional con unas cifras de 92.700 toneladas representado el 47,88 % de la producción nacional, seguida por Andalucía, con menos de la mitad respecto de Extremadura, y la Región de Murcia (figura 2.2).



**Figura 2.2.** Producción de ciruelas por Comunidades Autónomas para el año 2016 (elaboración propia a partir de datos del Anuario de Estadística Agraria, MAGRAMA, 2017).

Con estas cifras se entiende la importancia de este cultivo para Extremadura, lo cual implica que muchos y diversos estudios tengan como objetivo esta especie frutal.

En el caso de este estudio en el que el principal parámetro a estudiar está relacionado con la fertilización nitrogenada eficiente de esta especie frutal, se hace necesario entender cómo se comporta el nitrógeno en la naturaleza, es decir que ciclo tiene este elemento tan importante en la nutrición de las plantas. Como se puede observar en la figura 2.3, es un conjunto cerrado de procesos tanto bióticos como abióticos. Estos procesos son cinco: la fijación del nitrógeno, la asimilación de nitrógeno, la mineralización, la nitrificación y la desnitrificación. A nivel biótico son las bacterias los principales microorganismos responsables de las transformaciones del nitrógeno y la velocidad de éstas, estará afectada por factores como la temperatura, la humedad y los recursos disponibles para los microorganismos. A nivel abiótico son los fenómenos de alta energía como puedan ser rayos, los encargados de fijar pequeñas pero significativas cantidades de nitrógeno, a través de procesos químicos que generan óxidos de nitrógeno a partir de nitrógeno atmosférico.



**Figura 2.1.** Representación gráfica del ciclo del nitrógeno. Las flechas amarillas indican las aportaciones de nitrógeno por los humanos, las flechas rojas indican las transformaciones de nitrógeno abióticas y bióticas, las flechas verdes indican la toma y asimilación del nitrógeno por las plantas y las flechas azules indican la lixiviación de las formas solubles del nitrógeno. (Imagen tomada de: <https://www.visionlearning.com/es/library/Ciencias-de-la-Tierra/06/El-Ciclo-del-Nitr%C3%B3geno/98>)

La nitrificación es el proceso por el que el amonio es oxidado, gracias a la acción de microorganismos aerobios, a nitratos que es la forma más fácilmente asimilable por la planta. Este proceso se divide en dos: La nitrificación, donde partiendo de amonio se obtiene  $NO_2^-$  realizado por bacterias del género *Nitrosomonas* entre otras. Y la nitratación, donde partiendo de nitrito se produce  $NO_3^-$ , realizado por bacterias del género *Nitrobacter*.

La desnitrificación consiste en la reducción del nitrato con presencia en el suelo o en el agua, a  $N_2$ , realizado por bacterias heterótrofas. Este proceso es fundamental para que el nitrógeno vuelva a la atmósfera y no termine disuelto íntegramente en los mares debido a la escorrentía o contaminando acuíferos debido a la lixiviación, dado que el nitrógeno en sus formas nítricas y amoniacal, es muy soluble en agua.

La mineralización es el proceso en que el nitrógeno orgánico procedente de diferentes fuentes, como puedan ser excreciones animales y de microorganismos, sus propios cuerpos tras la muerte y restos vegetales, es transformado en amonio gracias a la acción de microorganismos como bacterias y hongos del suelo.

La toma y asimilación de nitrógeno por la planta es un proceso en el que la planta absorbe formas del nitrógeno que son fácilmente asimilables principalmente en forma de nitrato, para transformarlos en aminoácidos y posteriormente en proteínas

La fijación del nitrógeno es un proceso en el que el  $N_2$  se transforma en amonio y depende fundamentalmente de la habilidad de algunos microorganismos tales como bacterias del género *Rhizobium* (bacterias simbióticas que forman nódulos en raíces de ciertas plantas, especialmente leguminosas), bacterias Gram-negativas que viven libremente en el suelo tales como las del género *Azotobacter*, así como Cianobacterias libres o simbióticas. Habría que sumar también la forma abiótica de fijar nitrógeno comentada con anterioridad. Todo ello referido a la forma natural de fijar nitrógeno, pero también se debe considerar la fijación antropogénica, compuesta por la quema de combustibles fósiles, el uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos, los aportes de materia orgánica en forma de heces y orina del ganado, los restos de poda y de cosecha o el cultivo de leguminosas que fijan nitrógeno.

Conocido como se comporta el nitrógeno en la naturaleza a través del estudio de su ciclo, se entiende que se deba hacer una gestión eficiente del mismo en una de esas formas de fijación antropogénica que consiste en el aporte, tanto de fertilizantes sintéticos como orgánicos para mantener unos niveles adecuados de nitrógeno en cada momento del ciclo del cultivo. De ahí que sea necesario establecer un plan de fertilización, y para ello es fundamental conocer las necesidades de los árboles y por otro lado las necesidades de la plantación, con todo ello y los valores correspondientes al suelo y al agua de riego, se puede estar en condiciones de calcular las necesidades totales de fertilizantes, según se publica en la Guía Práctica de la Fertilización Racional de los Cultivos en España (2010).

En cuanto a las necesidades de fertilización de los árboles, éstas son las formadas por las exportaciones netas del cultivo (los frutos), más las exportaciones o extracciones de la madera de poda y las hojas y las cantidades inmovilizadas en los órganos de reserva de los árboles. Para el cálculo de estas extracciones, según queda indicado en la publicación de noviembre de 2017, Balance de Nitrógeno para la Agricultura Española 2015, hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Las producciones totales y rendimientos medios de los cultivos que se obtienen de los Anuarios de Estadística Agroalimentaria que publica el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- El coeficiente de extracción de los cultivos obtenido del Tratado de Fitotecnia General de Pedro Urbano. Para el caso del ciruelo, el coeficiente de extracción medido en kilogramos de nitrógeno para producir una tonelada de cosecha (tabla 2.1):

**Tabla 2.1.** Valores de coeficiente de extracción de nitrógeno en función del rendimiento en el cultivo del ciruelo (tomada de Balance de Nitrógeno en la Agricultura Española 2015, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente)

Cultivo	Extracción N (1/1000)		Rendimiento (t cosecha/ha)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Ciruelo	4,8	5,52	5	10

Hay que indicar que para el cálculo del coeficiente de extracción se necesita interpolar entre el rendimiento del cultivo y teniendo en cuenta que para rendimientos máximos el valor del coeficiente de extracción considerado será mínimo y viceversa, dado que cuanto menos rendimiento, a igualdad de nitrógeno aportado en fertilización, se produce una mayor disponibilidad de nitrógeno y como consecuencia una mayor extracción.

- El porcentaje de nitrógeno extraído por cada parte de la planta (tabla 2.2) y los criterios de extracción (tabla 2.3). En ambos casos valores obtenidos del Tratado de Fitotecnia General de Pedro Urbano.

**Tabla 2.2.** Valores de distribución de N (%) en la planta (tomada de Balance de Nitrógeno en la Agricultura Española 2015, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente)

Cultivo	Frutos (%)	Hojas (%)	Madera (%)	Raíces (%)
Ciruelo	46,70	23,30	23,30	6,70

**Tabla 2.3.** Valores de destino del N contenido en cada parte de la planta (tomada de Balance de Nitrógeno en la Agricultura Española 2015, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente)

Cultivo	Cosecha	Madera		Hojas			Raíces	
	Retirada	Retirada	Quema	Retirada	Quema	Residuos	Retirada	Quema
Ciruelo	100	62	38	0	0	100	50	50

Esta extracción de nitrógeno va a estar íntimamente relacionada con el estado nutricional del cultivo, siendo uno de los factores precosecha que van a influir en la calidad de la producción de los cultivos y que se pueden clasificar en dos grupos (Crisosto y Mitchell, 2007):

- Los extrínsecos que son externos al material vegetal y se pueden resumir en condiciones ambientales (temperatura, humedad, radiación, etc) y prácticas agronómicas (estado nutricional, riego, poda, tratamientos fitosanitarios, etc).
- Los intrínsecos que dependen del propio fruto y que pueden englobar los genéticos (especie, cultivar, climaterio, etc) y el estado de madurez (recolección).

Dado que este ensayo está relacionado con la fertilización eficiente de frutales de regadío, será el estado nutricional el factor a estudiar. Es este un factor importante para la calidad en el momento de la cosecha (Crisosto y Mitchell, 2007). El equilibrio entre uno o más nutrientes afecta al crecimiento y fisiología del fruto, tanto por deficiencias como por excesos. Esto suele ocurrir con nutrientes como el nitrógeno que está implicado en numerosos procesos metabólicos (Romojaro *et al*, 2006)

El nitrógeno es el elemento que mayor efecto tiene en la calidad de frutas y hortalizas (Crisosto y Mitchell, 2007). El contenido del mismo está relacionado directamente con la síntesis de proteínas y carotenoides. Por ello es fundamental hacer una distribución adecuada del nitrógeno para evitar que se produzca un contenido excesivo que lleve a una mayor producción foliar a costa de una menor calidad en los frutos, o por el contrario una deficiencia que produzca frutos de menor tamaño y árboles con menores rendimientos (Crisosto y Mitchell, 2007).

En el contexto actual en que la agricultura se mueve hacia modelos sostenibles y respetuosos con el medioambiente, se hace necesario el uso de herramientas que nos permitan obtener datos para optimizar aquellas prácticas agronómicas que nos garanticen producciones estables y de calidad tales como pueda ser la fertilización. En la actualidad, ésta puede no suponer unos costes muy elevados si se compara con años anteriores, lo que puede llevar a sobrefertilización en los cultivos, que conllevan problemas tanto a nivel agronómico como medioambiental. En el caso de este estudio, este último problema atañe de manera especial, dado que la mayoría de las plantaciones de ciruelo japonés en Extremadura se encuentran radicadas en las Vegas Bajas del Guadiana, declarada zona vulnerable a la contaminación por nitratos (Orden de 7 marzo de 2003) y en el caso concreto del cultivo del ciruelo se limita la aplicación de fertilizantes nitrogenados a un máximo de 200 UF/ha según la Orden de 6 de agosto de 2009 que modifica la Orden de 9 de marzo de 2009 y publicada en el DOE de 20 de agosto de 2009.

Es por ello que se hace necesario contar con herramientas que nos aporten información sobre el estado nutricional del cultivo sin que ello suponga un excesivo gasto económico. Con ello se lograrían adaptar las aplicaciones de nutrientes, que en el caso del nitrógeno están limitadas a ciertas unidades fertilizantes, a los momentos óptimos de necesidad del cultivo evitando sobrefertilizar con lo que se cumpliría la legislación, o bien no se produciría un déficit que implicara un descenso en la producción y/o la calidad.

Numerosos estudios han demostrado la utilidad de ciertas herramientas que nos aportan información práctica y precisa de lo que ocurre en el triángulo suelo-planta-agua y que ayudan a la toma de decisiones en cuanto a la fertilización.

En el caso de Extremadura, y en concreto para el cultivo del ciruelo, la optimización de la fertilización utilizando estas herramientas y correlacionando los datos obtenidos con aquellos otros

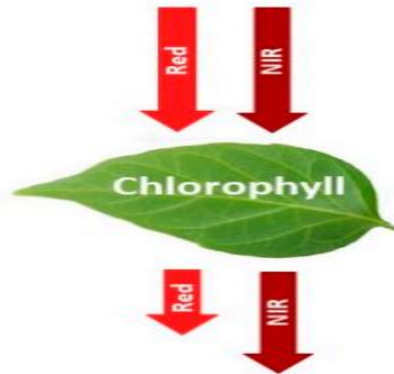
relacionados con la calidad de los frutos, sería interesante dado que se estarían cumpliendo varios objetivos, por un lado, el cumplimiento de la normativa vigente en la Comunidad y por otro lado contribuir a una agricultura más sostenible la cual adapta las prácticas agronómicas a lo que en cada momento demanda la planta, en el caso de este trabajo la fertilización.

Las herramientas a las que se hace referencia, consisten en el uso de métodos rápidos y no destructivos para determinar el estado nutricional de los cultivos de frutales y en este caso para el cultivo del ciruelo. Se trata de sensores ópticos proximales siendo los más estudiados los medidores de clorofila, medidores de reflectancia y medidores de flavonoides basados en la fluorescencia, para monitorizar el estado nutricional en cuanto al nitrógeno en los cultivos, y que han demostrado tener una estrecha relación con el rendimiento (Padilla *et al*, 2018).

Dentro de los medidores de clorofila, este estudio se centra en el medidor de clorofila Minolta SPAD 502 (Solil Plant Analysis Development), dicho sensor evalúa indirectamente y de forma no destructiva el contenido de clorofila en la hoja relacionado con el estado nutricional de la planta (nivel de nitrógeno). Concretamente el fundamento radica en la medida de la diferencia de luz transmitida por la hoja a 650 nm (máximo de absorción de la clorofila), y 940 nm, valor de referencia en el infrarrojo que depende solamente de la estructura de la hoja. El valor SPAD es proporcional a la densidad óptica relativa entre las dos longitudes de onda y se usa para la gestión del nitrógeno dado que influye directamente en la absorción y transmitancia de la luz roja y la región espectral del infrarrojo cercano. La clorofila absorbe luz roja y transmite en el infrarrojo cercano (NIR), cuando ocurre esto último, entra en contacto con la celda del instrumento y se transforma en una señal eléctrica que se cuantifica en valores que van del 0 al 199 según sea el tono verde de la hoja, por tanto, si hay deficiencia de nitrógeno, la hoja transmite relativamente menos rojo y menos NIR. El fundamento de media de este aparato se puede apreciar en la representación gráfica de la figura 2.4

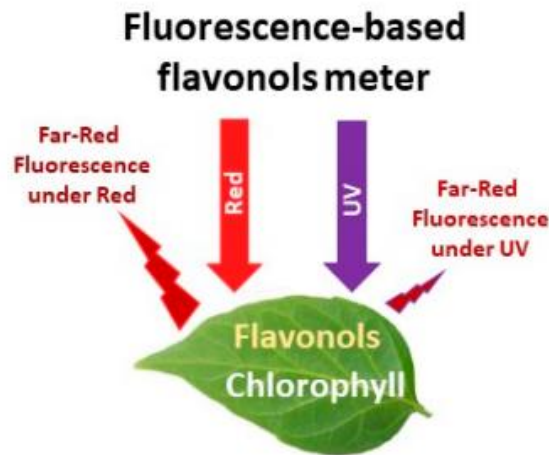


### Transmittance-based chlorophyll meter



**Figura 2.2.** Representación gráfica del fundamento de medida de contenido en clorofila con Minolta SPAD-502 (Padilla *et al*, 2018)

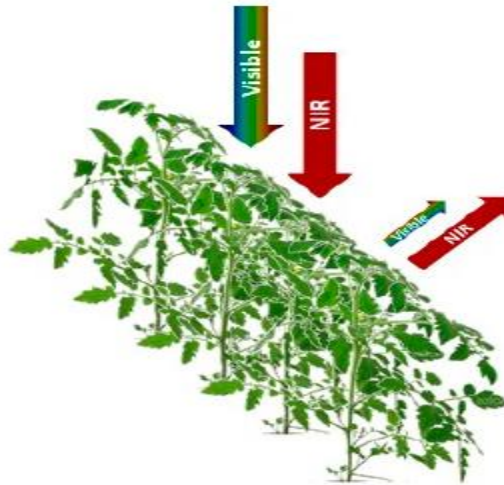
Otra clase de medidor de clorofila que además incorpora el sistema de medición de flavonoides basados en la fluorescencia sería el Dualex Scientific (Force-A). Este aparato además de la concentración de clorofila mide otros compuestos indicativos del estado nutricional nitrogenado de la planta tales como los antocianos, los flavonoides y la relación entre clorofila y flavonoides conocido como índice NBI (Nitrogen Balance Index) o balance de nitrógeno el cual mejora la percepción de una hipotética deficiencia nutricional (Thompson *et al*, 2018). Los flavonoides son metabolitos secundarios polifénólicos que las plantas generan en mayor o menor cuantía en función del estrés a que estén sometidas, su contenido relativo es inversamente proporcional al de clorofila (Cartelat *et al*, 2005) de ahí que el propio valor de concentración de flavonoides junto con el índice NBI, constituyan un indicador de estrés por deficiencia nutricional. El fundamento de medida de este equipo (se puede apreciar en la figura 2.5) está basado en la emisión de fluorescencia en el rojo al rojo lejano del espectro de luz que emite la clorofila presente en el mesófilo de la hoja cuando esta es excitada con radiación roja o ultravioleta (Buschmann *et al*, 2007), (Maxwell and Johnson, 2000). Los flavonoides que se acumulan en la epidermis de la hoja absorben apreciables cantidades de radiación ultravioleta y reducen la emisión de fluorescencia en el rojo lejano de la clorofila bajo excitación por radiación ultravioleta, pero sin embargo no afecta a la emisión cuando la excitación es por la radiación en el rojo. Comparando ambos tipos de emisiones de fluorescencia bajo el rojo y bajo el ultravioleta se estima el contenido en flavonoides de la epidermis de la hoja, dado que está estrechamente ligado al contenido real de flavonoides (Cerovic *et al*, 2012).



**Figura 2.3.** Representación gráfica del fundamento de medida de flavonoides con Dualex Scientific (Force-A) (Padilla *et al*, 2018)

En cuanto los medidores de reflectancia, hay numerosos estudios que desde hace años han utilizado este tipo de sensor como asistente en la gestión de la fertilización nitrogenada de los cultivos (Padilla *et al*, 2018). El fundamento de este sensor radica en la medida específica de longitudes de onda de radiación absorbida y reflejada por el follaje de los cultivos. Los tejidos vegetales absorben aproximadamente el 90% de la radiación visible (390 a 750nm) y reflejan el 50% de la radiación infrarroja (750 a 1300 nm) (Knipling *et al*, 1970). Así, el grado de absorbancia o reflectancia en el visible y en el infrarrojo varía con el estado nutricional del cultivo, si hay una deficiencia de nitrógeno los cultivos generalmente reflejan más luz visible y menos infrarrojo que los cultivos que tienen un adecuado estado nutricional en cuanto a nitrógeno (Schepers *et al*, 1996). Tras obtener los valores a diferentes longitudes de onda se calcula el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) como el cociente de la diferencia entre el valor obtenido para el infrarrojo menos el obtenido para el rojo entre la suma de lo anterior, (Seller, 1985) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada para el Verde (NDVIG) como el cociente entre la diferencia del valor obtenido para el infrarrojo menos el obtenido para el verde entre la suma de lo anterior (Ma *et al*, 1996). La representación gráfica del fundamento de esta medida se puede apreciar en la figura 2.6.

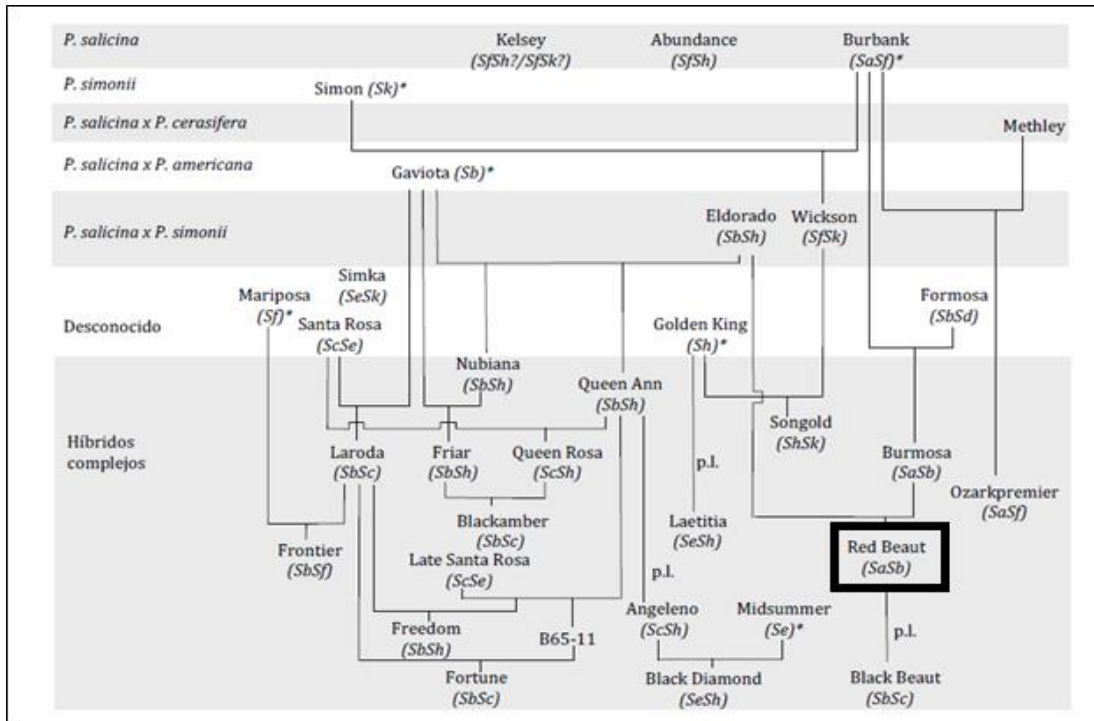
## Canopy reflectance sensor



**Figura 2.4.** Representación gráfica del fundamento de medida del sensor proximal de reflectancia Crop Circle ACS-470 (Padilla *et al*, 2018)

Conocida la estrecha relación existente entre las medidas realizadas con este tipo de sensores y las diferentes medidas del estado nutricional en cuanto a nitrógeno de los cultivos, se plantea en este ensayo utilizar este tipo de sensores para monitorizar el estado nutricional en cuanto al nitrógeno del cultivo del ciruelo y concretamente el cultivar Red Beaut. Como ya es conocido, el ciruelo japonés en realidad no se trata de una sola especie sino de un híbrido de distintas especies de ciruelos diploides con las que se fue hibridando la especie original para adaptar el cultivo a las nuevas zonas. Todo ello ha llevado a que los cultivares comerciales de ciruelo japonés en la actualidad tengan en su genealogía hasta 20 especies distintas de ciruelo diploide, lo que implica que los cultivares puedan tener comportamientos diferentes (Guerra, M.E., 2011). Se puede observar en la figura 2.7, donde se representa la genealogía de algunos de los principales cultivares de ciruelo japonés y se puede observar la cantidad de cruces interespecíficos que existen.

Constituiría un estudio novedoso dado que el uso de este tipo de sensores ha sido especialmente estudiado en cultivos hortícolas no así en cultivos leñosos.



**Figura 2.5.** Genealogía de algunos de los principales cultivares de ciruelo japonés. En esta figura se aprecia la cantidad de cruces interespecíficos que existen en esta especie (Guerra M.E., 2011).

## 2.1. Agradecimientos

Este trabajo se desarrolló dentro del proyecto INNOACE, en concreto, PROYECTO 0049\_INNOACE\_4\_E “Innovación abierta e inteligente en la EUROACE T2.1.6. “Gestión eficiente de la fertilización en plantaciones frutales de regadío”. Cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del Programa Interreg V-A España-Portugal (POCTEP) 2014-2020. Y dentro del proyecto CCESAGROS, cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

### **3. OBJETIVOS**

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo general**

Con el desarrollo de este estudio se pretende optimizar las prácticas de fertilización nitrogenada del cultivo del ciruelo japonés en las Vegas del Guadiana, en concreto el cultivar Red Beaut y para ello se estudiará el efecto de esas prácticas de fertilización, tanto en la producción como en los parámetros de calidad de la fruta.

Para conseguir este objetivo general se plantean tres objetivos específicos:

##### **3.1.1. Objetivos específicos**

- Evaluar la respuesta de la planta a las distintas pautas de fertilización nitrogenada
- Determinar el impacto de las prácticas agronómicas de fertilización nitrogenada ensayadas sobre los parámetros básicos de la calidad de la fruta (grados Brix, pH, acidez y color fundamentalmente).
- Puesta a punto de métodos rápidos para evaluar el estado nutricional nitrogenado del árbol

## **4. MATERIAL Y MÉTODOS**

## 4. MATERIAL Y MÉTODOS

### 4.1. Parcela experimental y material vegetal

El estudio se desarrolló en una parcela experimental de una superficie de 1 ha en la “Finca La Orden” (Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura, Guadajira, Badajoz) durante el año 2018, además se contó con datos tomados en 2017 y que fueron usados de manera complementaria para entender la respuesta productiva de las plantas. La parcela se sitúa en la zona regable de las Vegas Bajas del Guadiana ( $38^{\circ} 51' N$ ,  $6^{\circ} 40' W$ , elevación 184 m), (figura 4.1).

Se trata de una plantación de ciruelo japonés de maduración temprana (*Prunus salicina* Lindl.) cultivar Red Beaut sobre patrón Mariana 2624, con polinizadores rodeándolo del cultivar Ambra y Black Diamond, en número suficiente para asegurar la correcta polinización de los mismos apoyada a su vez por abejas distribuidas en 8 colmenas/ha. Los árboles están formados en sistema de vaso abierto con cuatro brazos principales. La plantación se realizó en la primavera de 2005 con un marco de plantación de 6 x 4 m, con orientación Este-Oeste ( $5^{\circ}$  hacia el Norte) en las filas.



**Figura 4.1.** Vista de la parcela experimental de ciruelo japonés cv. Red Beaut en “Finca La Orden” (elaboración propia a partir de imagen de Visor SigPac, disponible <http://sigpac.juntaex.es/VisorHTML5/>)



Durante todo el ensayo, el cultivo estuvo protegido contra plagas y enfermedades, tras los diferentes tratamientos indicados en cada caso por los técnicos responsables tras las recomendaciones propuestas por el Servicio de Sanidad Vegetal de la Junta de Extremadura mediante su boletín de avisos fitosanitarios. El control de adventicias se consiguió mediante el desbroce mecánico y herbicidas químicos.

Otras prácticas agronómicas tales como poda en verde, poda de invierno, retirada de brotes o aclareo, fueron las técnicamente recomendables con criterios comerciales.

El riego fue localizado por goteo con una línea lateral por fila de árboles, con goteros situados a 1m de distancia en la línea con un caudal de 4 L/h. El volumen de agua de riego fue calculado para completar las necesidades hídricas del cultivo en función de las pérdidas por evapotranspiración ( $ET_c$ ). El valor de  $ET_c$  fue calculado multiplicando el valor de evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) por el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) calculado según la fórmula de Penman y Monteith, modificada (Allen *et al.*, 1998).

## **4.2. Diseño experimental**

### **4.2.1. Diseño del ensayo**

El diseño del experimento consistió en bloques al azar con dos tratamientos: fertilizado (F) y sin fertilizar (SF) distribuidos en cuatro bloques (repeticiones). Cada parcela elemental estaba formada por 4 filas contiguas de 4 árboles cada una, los 2 centrales de la segunda y tercera fila fueron los árboles de medida para la toma de datos y recolección, los 8 restantes para las muestras de la medida de calidad y los 4 restantes eran los polinizadores. Cada 4 filas había una quinta adyacente reservada como línea de árboles guarda, como se puede apreciar en la figura 4.2.

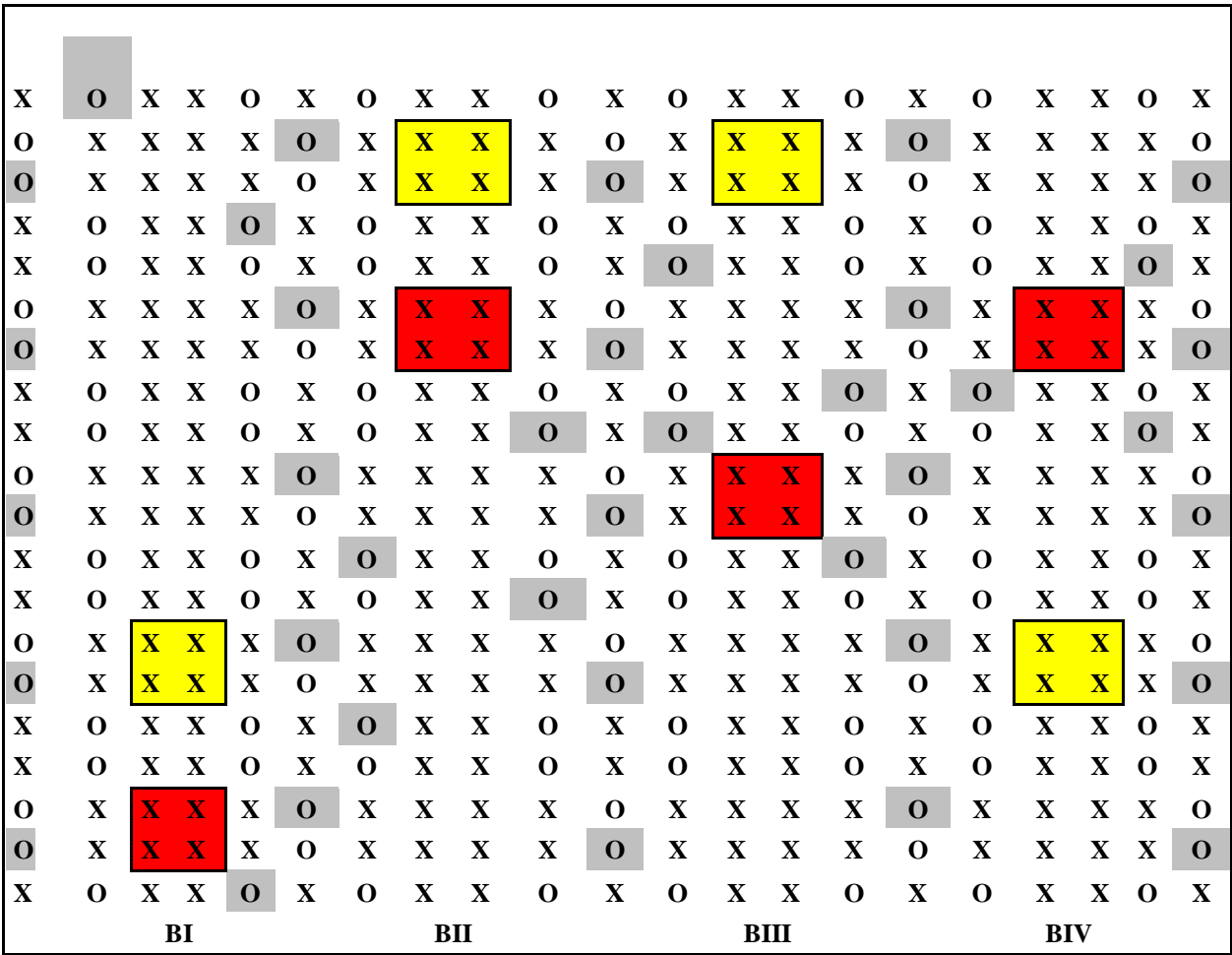


Figura 4.2. Diseño del experimento para el del cultivar Red Beaut (elaboración propia)

4.2.2. Tratamiento de fertilización

Para determinar las dosis de fertilizante nitrogenado a utilizar se planteó un balance sencillo de nutrientes, considerando como salidas las extracciones de los árboles compuestas tanto por las necesidades de mantenimiento como las propias de producción, que para el caso de este ensayo fueron calculadas teniendo en cuenta datos de producción de campañas anteriores y en concreto para una producción estimada de 25.000 kg/ha. Como entradas fueron consideradas además del fertilizante, las aportaciones del agua de riego, cuya determinación se desarrolla en el punto 4.2.2.2,

así como el contenido inicial del suelo cuya determinación se desarrolla más ampliamente en el punto 4.2.2.1.

La fertilización se llevó a cabo mediante fertirrigación en el tratamiento abonado.

Además, para la fertilización nitrogenada se tuvieron en cuenta los valores aportados tanto por el agua de riego como por el suelo, tras análisis del mismo antes de la floración de los árboles.

Los fertilizantes utilizados para el ensayo fueron compuestos líquidos de:

- Nitrato amónico, solución nitrogenada N20 (20 %Nitrógeno total distribuido como 10 % de nitrógeno nítrico y 10 % de nitrógeno amoniacal).
- Cloruro potásico, solución potásica 15 % de K<sub>2</sub>O soluble en agua.
- Fertilizante fosfórico libre de cloro 20 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> soluble en agua.

La distribución porcentual del abonado en función de la fase de cultivo, fue la que aparece en la tabla 4.1:

**Tabla 4.1.** Unidades fertilizantes nitrogenadas totales y su distribución a lo largo de las diferentes fases del cultivo.

<b>Fase</b>	<b>N</b>
<b>Brotación - Cuajado</b>	50 %
<b>Cuajado - Recolección</b>	35 %
<b>Recolección – Caída de hoja</b>	15 %

#### **4.2.2.1. Análisis de humedad, nitratos y amonios en muestras de suelo**

Los análisis de nitratos y amonios se llevan a cabo tras el muestreo de suelo realizado en la parcela donde se implanta el cultivo de ciruelo. Las muestras se tomaron a tres profundidades diferentes, la primera de ella de 0 a 30 cm, la segunda de 30 a 60 cm y la última de 60 a 90 cm entre dos de los árboles que componían cada tratamiento Para ello, se utilizó una barrena tipo

Eijkelkamp y la tierra se almacenó en bolsas debidamente identificadas con un peso de entre 800 y 1000 g de suelo.

La determinación de humedad se llevó a cabo por diferencia de pesada entre una muestra fresca de aproximadamente 10 gramos de suelo y la misma tras una pesada constante después de mantenerse en estufa a 105° C durante un mínimo de 48 horas.

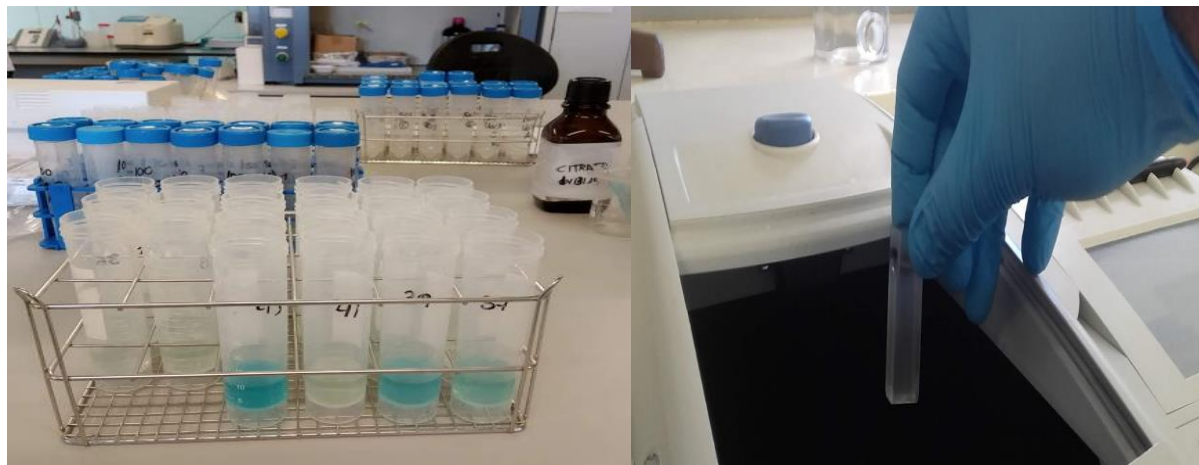
La determinación de nitratos se realizó según el método propuesto por Sempere *et al*, (1993). Se pesan 10 gramos de suelo y se mezclan durante 20 minutos con 30 mL de una solución saturada de sulfato cálcico. Seguidamente se centrifugan las muestras durante 10 minutos a 3000 rpm, estando listo el sobrenadante para su medida en el espectrofotómetro mediante un barrido automático entre 280 y 190 nm, produciéndose el máximo de absorbancia para el nitrato en 227 nm. Para poder extrapolar los resultados fue necesario preparar previamente una curva patrón de nitrato. Para ello, a partir de una solución stock de 1000 ppm de nitrato preparada con nitrato potásico desecado, se separaron alícuotas con una concentración final de 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 40 ppm de nitrato. Estas alícuotas se midieron según el procedimiento propuesto por Sempere *et al*, (1993), para finalmente obtener una recta de regresión que permitiera extrapolar los resultados obtenidos de las muestras.

La determinación de amonios está basada en la propuesta por Rhine *et al*, (1998). Se pesaron 5 gramos de suelo que se homogenizaron durante 1 hora con 50 mL de una solución 1 M de cloruro potásico, tras lo cual se centrifugaron durante 5 minutos a 3000 rpm. Seguidamente se tomaron 1 mL de extracto que fue mezclado con los siguientes reactivos por orden de aparición:

- 1 mL de solución de citrato, agitando y dejando reposar durante 1 minuto.
- 1 mL de PPS
- 5 mL de agua desionizada
- 0,6 mL de solución de hipoclorito + 1,4 mL de agua desionizada

La mezcla se dejó reposar durante 45 minutos a temperatura ambiente, transcurrido este tiempo, las muestras se midieron en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 660 nm utilizando como blanco o cero de absorbancia, agua desionizada (figura 4.3 a y b). Al igual que para la determinación de nitratos, se hizo necesario contar con una curva de calibrado que

permitiera extrapolar los resultados obtenidos de las muestras problema. Para ello a partir de una solución de 100 ppm de  $N-NH_4$  preparada con sulfato amónico desecado, se prepararon alícuotas de 0, 0,25, 0,5, 0,75, 1, y 2 ppm de amonios disueltos en cloruro potásico 1 M.



**Figura 4.3.** a) Extractos de muestras de suelo para determinación de amonios b) Muestra en cubeta para su medida en espectrofotómetro (elaboración propia)

#### 4.2.2.2. Análisis de nitratos y amonios de muestras de agua de riego

El agua de riego fue analizada al inicio del ensayo y para determinar tanto la concentración de nitratos como la de amonios se procedió igual que para el caso de las muestras de suelo con la diferencia que para la elaboración de las curva patrón de ambas determinaciones se utilizó agua desionizada en lugar de los reactivos usados para la extracción.

El cálculo del nitrógeno aportado por el agua de riego fue realizado a partir de los valores obtenidos tras los análisis de nitratos y amonios de la misma en tres fechas y considerando el volumen aportado a esta esa fecha, mediante su control a través de contadores de riego.s

### 4.3. Determinaciones de estado nutricional mediante el uso de sensores ópticos

Las medidas con SPAD y Dualex fueron realizadas una detrás de otra en la misma posición y sobre el haz de hojas sanas y plenamente desarrolladas del tercio medio de ramos del año, situadas a la altura de los ojos y evitando el nervio central. Se tomaron 30 lecturas de cada tratamiento repartidas entre los cuatro árboles con una distribución aleatoria entre los mismos. En la figura 4.4 se puede observar cómo se operaba tanto con SPAD (a) como con Dualex (b)



**Figura 4.4.** a) Detalle de medida con SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development, Minolta Camera Co., Ltd., Japan). b) Detalle de medida con Dualox 4.0 (Force-A, Orsay, France) en hoja de ciruelo cv. Red Beaut (elaboración propia)

Las medidas de reflectancia se realizaron haciendo pasar el aparato por el lateral de las copas de cada uno de los cuatro árboles que componían cada tratamiento a una corta distancia y a una altura suficiente y representativa de toda la masa arbórea (figura 4.5 a y b).



**Figura 4.5.** a) Detalle de medida con Crop circle ACS-470 (Holland Scientific, Inc., Lincoln, NE) en hoja de ciruelo cv. Red Beaut. b) Detalle del propio aparato (elaboración propia)

Las distintas determinaciones de estado nutricional se realizaron con los siguientes sensores:

- Dualex 4.0 (Force-A, Orsay, France) determinación de contenido en clorofila, compuestos polifenólicos (flavonoides), antocianos e índice NBI (relación entre contenido en clorofila y compuestos polifenólicos).
- SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development, Minolta Camera Co., Ltd., Japan) determinación del valor Spad relacionado con el contenido clorofílico del cultivo.
- Sensor de reflectancia Crop circle ACS-470 (Holland Scientific, Inc., Lincoln, NE) medidas de reflectancia de la cubierta vegetal en diferentes longitudes de onda (550 nm verde, 670 nm rojo y 760 nm cercano al infrarrojo NIR) seleccionadas para determinar el NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada) así como el NDVIG (Índice de vegetación de diferencia normalizada en el verde)

#### **4.4. Determinación del contenido en Nitrógeno de hojas y flores**

Se realizó según el método oficial recomendado para los análisis foliares mediante el método de Kjeldahl. La toma de muestras se realizó tras las medidas con los distintos sensores de estado nutricional. Se tomaba una muestra representativa compuesta por 100 hojas repartidas entre los cuatro árboles que componían cada tratamiento, siguiendo el mismo criterio de medida con los sensores, es decir, hojas sanas y plenamente desarrolladas del tercio medio de ramos del año, situadas a la altura de los ojos. En el caso de las flores, se tomaba una muestra representativa de 400 flores repartidas entre los cuatro árboles con el objetivo de contar con suficiente cantidad para las determinaciones posteriores. Las muestras eran desecadas en estufa a 105 °C durante 72 horas, tras lo cual eran molidas y tamizadas.

#### **4.5. Determinación de parámetro de desarrollo vegetativo**

El parámetro medido indicador de desarrollo vegetativo fue la sección de tronco. Dicho parámetro fue calculado mediante la medida del perímetro de tronco de los diferentes árboles que componían cada tratamiento con la ayuda de una cinta métrica. La operación se realizó tres veces a lo largo del ciclo de cultivo, siendo la primera al inicio, la segunda tras la recolección, y una final

al final del ciclo. Consistía en hacer pasar la cinta métrica alrededor del tronco en una zona señalada, como se puede apreciar en la figura 4.6:



**Figura 4.6.** Medida de perímetro de tronco (elaboración propia)

#### **4.6. Rendimiento, componentes y parámetros de calidad**

La recolección se realizó en dos pases los días 7 y 11 de junio de 2018 recogiendo los frutos de cada árbol central.

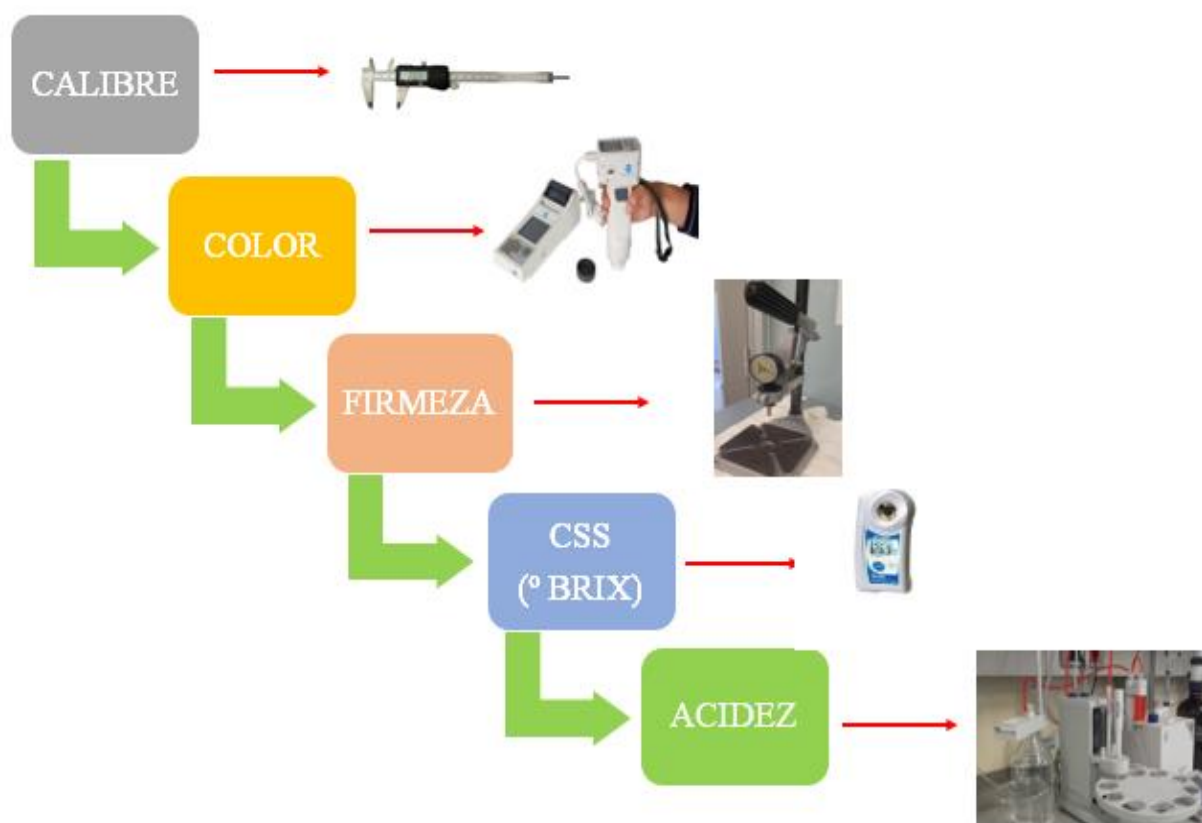
Los frutos se recolectaron de manera manual depositándolos en primera estancia en cubos y posteriormente en cajas las cuales eran pesadas in situ con balanza KERN Modelo KFB-TM (Kern & Sohn, GmbH, Germany) para determinar el peso total de frutos por árbol. Para obtener el peso medio de los frutos por árbol y el número medio de frutos por árbol, se pesaron 100 frutos. Una vez obtenidos estos valores era fácil calcular el valor medio de kg/ha del tratamiento en cuestión, simplemente multiplicando el citado valor por el número de árboles por hectárea que en este caso era de 4.7.

##### **4.5.1. Parámetros de calidad**

Los parámetros de calidad determinados, se realizaron sobre 10 frutos por árbol y cuatro árboles (control) de cada tratamiento y repetición. Cada uno de los 10 frutos se identificaba de forma individual.



Los parámetros de calidad determinados fueron los siguientes, según la secuencia en que se iban ejecutando (figura 4.7):



**Figura 4.7.** Secuencia ordenada de parámetros de calidad determinados durante el ensayo (elaboración propia)

#### 4.5.1.1. Calibre

Se midió el diámetro ecuatorial de cada uno de los frutos con un calibrador automático digital (Silver-Line 150x0,1 mm). El calibre se apoyaba en los lados opuestos del fruto dejando la sutura en medio y de cara al operador (figura 4.8):



**Figura 4.8.** Calibrado manual del fruto con calibrador automático digital (Silver-Line 150x0,1 mm) (elaboración propia)

#### 4.5.1.2. Color

Se midió el color de la piel con un colorímetro espectrofotómetro (Konica Minolta, modelo CM-600d). Las lecturas se efectuaron en las dos zonas opuestas del ecuador del fruto con dos pulsos de luz por zona. Los valores obtenidos se expresan en este caso como el ángulo de matiz ( $H^\circ$ ), luminosidad ( $L^*$ ) y Chroma ( $C^*$ ), este último obtenido de los parámetros  $a^*$ , (posición entre el verde, valor negativo de  $a^*$  y el rojo, valor positivo de  $a^*$ ) y el parámetro  $b^*$  (posición entre azul, valor negativo de  $b^*$  y el amarillo, valor positivo de  $b^*$ ), todo regulado según la Comisión Internacional del Color (CIE).

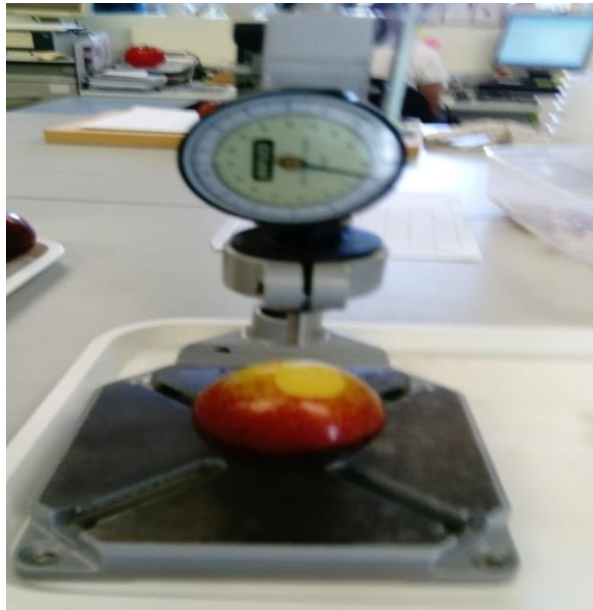
Hay que indicar que antes de realizar la medida del color se limpió el fruto para eliminarle la película de pruina y no interferir así en la medida. En la figura 4.9 se aprecia cómo se operaba para obtener la medida de color.



**Figura 4.9.** Detalle de operación de medida de color con colorímetro espectrofotómetro (Konica Minolta, modelo CM-600d). (Elaboración propia)

#### 4.5.1.3. Firmeza.

La medida de firmeza se llevó a cabo con la ayuda del penetrómetro BERTUZZI, Fruit Pressure Teste (modelo FT 327) en dos zonas opuestas del fruto a las que previamente se había eliminado la piel. De este modo se obtenían dos valores de firmeza por fruto, expresados en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ . La forma de operar se puede ver en la figura 4.10.



**Figura 4.10.** Detalle de operación con penetrómetro BERTUZZI, Fruit Pressure Teste (modelo FT 327) (elaboración propia)

#### 4.5.1.4. Concentración de sólidos solubles.

El contenido de sólidos solubles fue determinado mediante el uso de un refractómetro de mano ATAGO modelo Pocket PAL-1. Se operaba extrayendo el zumo de la pulpa de cada una de las zonas opuestas de la fruta separadas por la sutura, obteniendo dos valores por fruto medidos en  $^{\circ}$  Brix. Se puede apreciar la forma de operar en la figura 4.11.



**Figura 4.11.** Detalle de operación de determinación de contenido de sólidos solubles mediante refractómetro ATAGO modelo Pocket PAL-1 (elaboración propia)

#### 4.5.1.5. Acidez.

La acidez se midió sobre un triturado realizado con la ayuda de una batidora de brazo marca Taurus 600 W de potencia, tomando los 10 frutos correspondientes a las medidas de calidad previamente descritas. Tras esta operación, la pasta se filtró y se pesaron 3 gramos del filtrado que se diluyó a 50 mililitros con agua destilada para análisis por medio del titrador marca CRISON Titromatic 1S-1B. Las muestras fueron tituladas con NaOH 0,1 N hasta un pH de 8,1, obteniendo valores de g/L de ácido málico, mayoritario en esta fruta. El aparato para la medida de la acidez se puede observar en detalle en la figura 4.12.



**Figura 4.12.** Detalle del titrador marca CRISON Titromatic 1S-1B (elaboración propia)

#### **4.7. Análisis estadístico**

El análisis estadístico se llevó a cabo con el software estadístico IBM SPSS Statistics v. 20 (SPSS Inc. headquarters, Chicago, Illinois). Los datos se analizaron utilizando el método de análisis de la varianza (ANOVA) de un factor. En este caso el factor fue el tratamiento de fertilización. Las medias se compararon de acuerdo al test de rangos múltiples de Duncan a nivel de significación  $p < 0.05$ .

## **5. RESULTADOS**

## 5. RESULTADOS

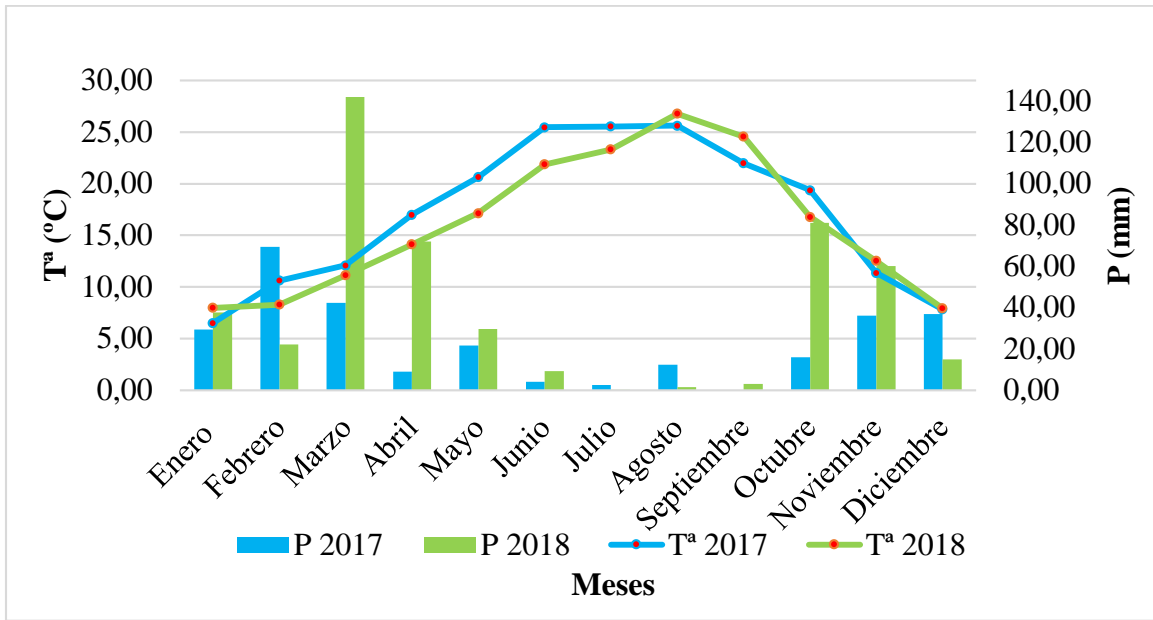
### 5.1. Climatología, riego y fertilización

#### 5.1.1. Climatología

La precipitación anual difirió mucho entre los dos años de estudio (280,17 y 458,61 mm respectivamente) (Tabla 5.1), con una diferencia cercana a la mitad de la precipitación media anual de la zona, por lo que el año 2017 se puede considerar un año seco al contrario que el año 2018, donde la pluviometría alcanzó unos valores ligeramente superiores a los valores medios. Destacar que en ambos años los meses de julio, agosto y septiembre la precipitación fue muy escasa y que los períodos de mayor precipitación coinciden con la primavera y el otoño, más en el caso del año 2018, en el caso de la temperatura los valores más altos están desplazados hacia los meses de julio, agosto y septiembre (figura 5.1).

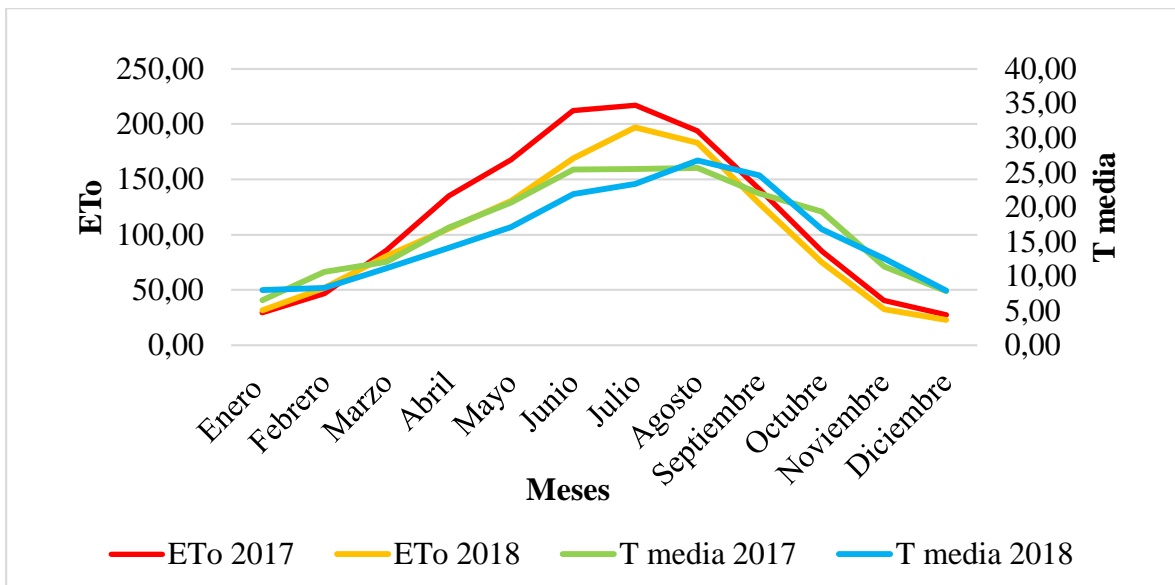
**Tabla 5.1.** Valores de temperatura media (°C), precipitación (mm) y evapotranspiración (mm) durante los dos años de ensayo (2017 y 2018) (elaboración propia a partir de datos obtenidos de red de asesoramiento al regante de Extremadura, REDAREX)

Mes	2017			2018		
	T <sup>a</sup> media (°C)	P (mm)	ET <sub>0</sub> (mm)	T <sup>a</sup> media (°C)	P (mm)	ET <sub>0</sub> (mm)
<b>Enero</b>	6,53	29,46	29,46	7,98	37,64	31,45
<b>Febrero</b>	10,61	69,32	46,82	8,30	22,17	51,68
<b>Marzo</b>	12,09	42,38	85,98	11,14	141,98	80,65
<b>Abril</b>	17,01	8,91	134,97	14,13	71,89	105,36
<b>Mayo</b>	20,63	21,58	167,85	17,14	29,69	130,67
<b>Junio</b>	25,46	4,16	212,45	21,88	9,31	169,03
<b>Julio</b>	25,54	2,57	217,09	23,33	0,20	196,94
<b>Agosto</b>	25,63	12,48	194,14	26,77	1,58	183,21
<b>Septiembre</b>	21,98	0,00	140,81	24,57	2,97	128,20
<b>Octubre</b>	19,36	16,04	84,86	16,78	80,98	75,09
<b>Noviembre</b>	11,36	36,23	40,77	12,52	60,2	32,84
<b>Diciembre</b>	7,83	37,04	27,57	7,94	15,09	22,90
<b>TOTAL</b>		<b>280,17</b>	<b>1382,77</b>		<b>458,61</b>	<b>1185,15</b>



**Figura 5.1.** Diagrama ombrotérmico donde se representa los valores de temperatura media (°C) y precipitación (mm) para los dos años de ensayo (2017 y 2108) (elaboración propia a partir de datos obtenidos de red de asesoramiento al regante de Extremadura, REDAREX)

Los valores de evapotranspiración de referencia anual no difirieron excesivamente entre ambos años, siendo algo inferiores los correspondientes al año 2018 en el que todos los meses excepto el mes de enero fueron inferiores a los de 2017 (figura 5.2). En ambos casos el mes de julio fue el que mayor valor de evapotranspiración alcanzó.



**Figura 5.2.** Evolución de  $ET_0$  y  $T^a$  media para los dos años de estudio (elaboración propia a partir de datos obtenidos de red de asesoramiento al regante de Extremadura, REDAREX)



### 5.1.2. Riego

El período de riego abarcó desde principios de abril hasta mediados de octubre, con unos aportes que suponían el 100 % de la  $ET_c$  hasta el momento de recolección a partir del cual se aplicó un riego deficitario que suponía un 40 % de la  $ET_c$  en los dos tratamientos. Los volúmenes aplicados para ambos tratamientos aparecen en la tabla 5.2:

**Tabla 5.2.** Períodos de riego y volúmenes de agua aplicados

Año	P anual (mm)	$ET_0$ anual (mm)	Periodo riego (Día/Mes)	Tratamiento	Total Aplicado ( $m^3/ha$ )
2018	458,1	1185,12	03/04 a 17/10	Sin fertilizar	3041
				Fertilizado	3291

### 5.1.3. Fertilización

La fertilización fue calculada a partir de un balance sencillo de nutrientes, como se indicó en el punto 4.2.2. Los valores iniciales y finales de nitrógeno en suelo y en el agua de riego fueron los expresados en la tabla 5.3.

**Tabla 5.3.** Valores en kg/ha de nitrógeno en forma de nitratos y amonios al inicio (15/05/2018) y al final del cultivo (05/11/2018) tras análisis de suelo según se indicaba en epígrafe 4.2.2.1

15/05/2018				
Profundidad	Sin fertilizar		Fertilizado	
	kg N- $NO_3/ha$	kg N- $NH_4/ha$	kg N- $NO_3/ha$	kg N- $NH_4/ha$
0-30 cm	2,77	25,85	2,58	50,31
30-60 cm	2,31	5,14	117,35	8,75
60-90 cm	2,42	5,10	2,37	5,01
<b>TOTAL (kg N/ha)</b>	<b>43,59</b>		<b>186,37</b>	
05/11/2018				
Profundidad	Sin fertilizar		Fertilizado	
	kg N- $NO_3/ha$	kg N- $NH_4/ha$	kg N- $NO_3/ha$	kg N- $NH_4/ha$
0-30 cm	14,60	1,37	2,44	1,38
30-60 cm	0,00	3,40	2,28	1,83
60-90 cm	0,00	5,52	2,18	7,01
<b>TOTAL (kg N/ha)</b>	<b>24,89</b>		<b>17,12</b>	

En el caso del agua de riego se hicieron tres análisis a lo largo del ciclo de cultivo para determinar la concentración de nitrógeno que se iba a aportar en los diferentes riegos (teóricamente ambos tratamientos deberían de recibir el mismo riego, pero tras las medidas de los contadores instalados en cada tratamiento, resultó que el fertilizado recibió una cantidad levemente superior (tabla 5.4) lo que hizo incrementar la cantidad de nitrógeno aportada).

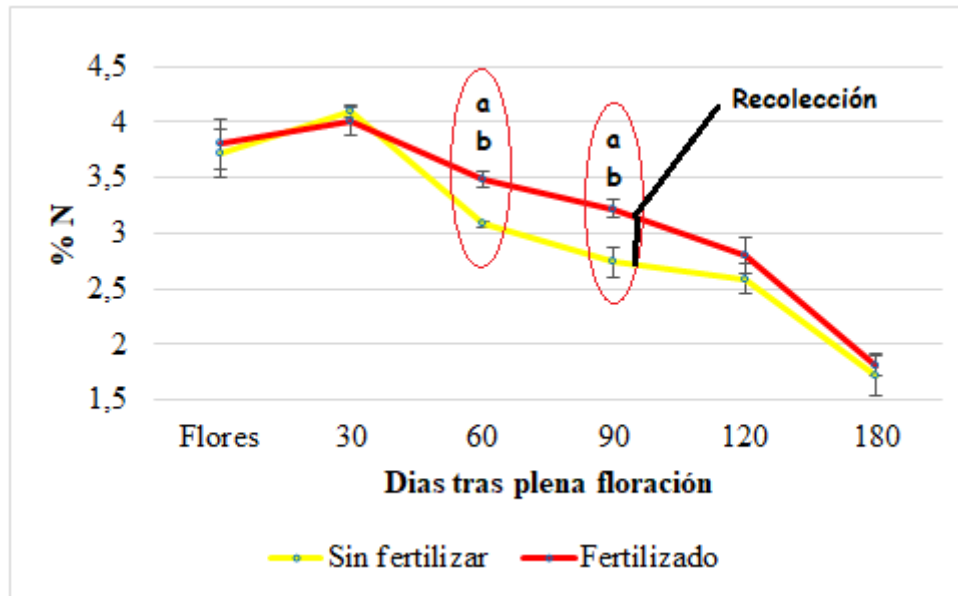
Los valores de cada análisis y el total se presentan en la tabla 5.4:

**Tabla 5.4.** Valores en kg/ha de nitrógeno aportados por el agua de riego, tras análisis en tres momentos diferentes a lo largo del ciclo de cultivo

Fecha	Sin fertilizar		Fertilizado	
	kg N-NO <sub>3</sub> /ha	kg N-NH <sub>4</sub> /ha	kg N-NO <sub>3</sub> /ha	kg N-NH <sub>4</sub> /ha
<b>14/05/2018</b>	0,53	0,00	1,06	0,00
<b>21/06/2018</b>	7,35	0,00	7,92	0,00
<b>02/08/2018</b>	15,62	2,65	16,40	2,79
<b>TOTAL (kg N/ha)</b>	<b>26,15</b>		<b>28,16</b>	

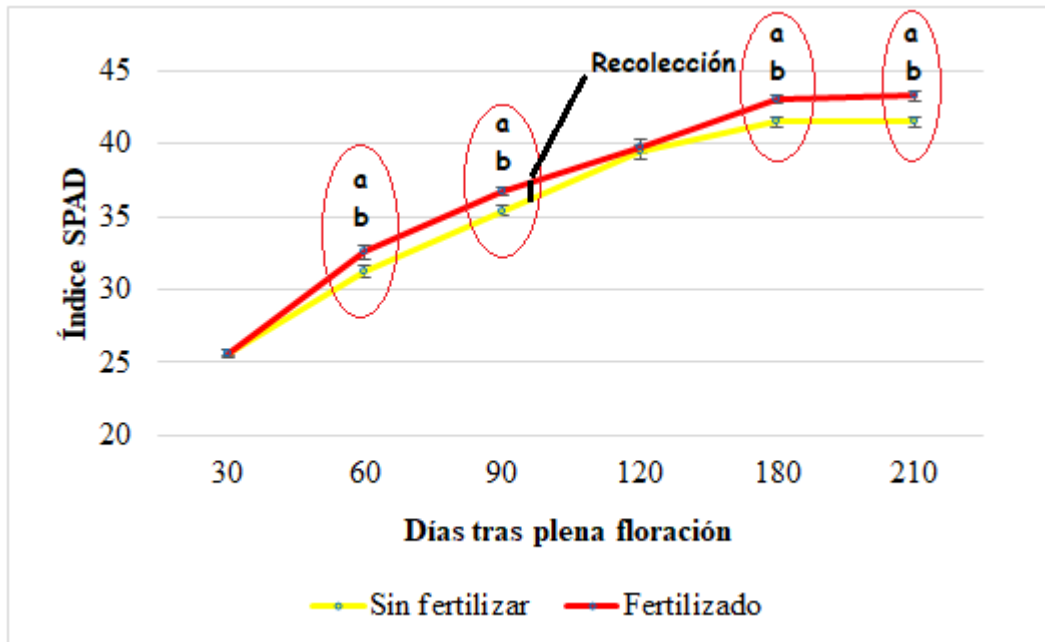
## 5.2. Evaluación del estado nutricional

Los valores de concentración de nitrógeno foliar van disminuyendo a lo largo del tiempo, como puede observarse en la figura 5.3. Inicialmente los valores de concentración de nitrógeno, en el caso de flores y de hojas tras 30 días desde floración son parecidos entre el tratamiento sin fertilizar (SF) y el fertilizado (F). A partir de ese momento comienza el descenso en la concentración de nitrógeno foliar, donde los valores del tratamiento SF permanece por debajo del F hasta el final de ciclo. Destacar que las diferencias entre tratamientos son significativas en los días 60 y 90 tras plena floración (dafb), valores un mes previo a recolección (60 dafb) y cercanos a la misma (90 dafb). Tras la recolección los valores se recuperan unas décimas en el caso del tratamiento sin fertilizar (SF) mientras que en el fertilizado (F) disminuye lentamente hasta igualarse con los valores del tratamiento sin fertilizar en torno al día 180 dafb.



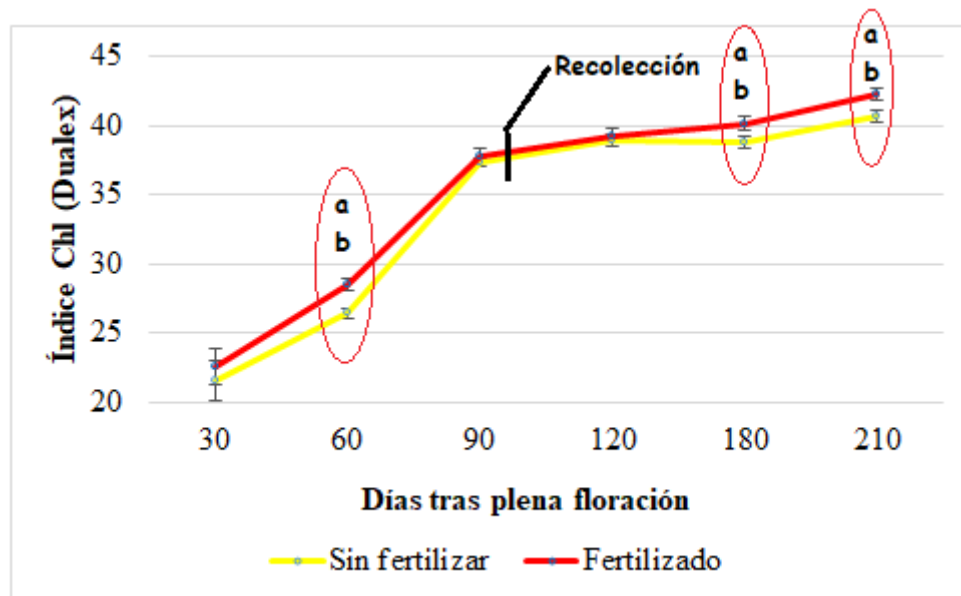
**Figura 5.3.** Concentración de nitrógeno en flores y hojas (%) tras análisis foliar por el método de Kjeldahl a lo largo del ciclo de cultivo, medido a partir de plena floración. Cada punto es la media aritmética de las medidas de cada bloque y repetición. Las barras indican el error estándar de las medias. Las letras diferentes de arriba hacia abajo indican diferencias significativas a un nivel de significación del 5% entre el tratamiento fertilizado y sin fertilizar

En cuanto a los valores de índice SPAD (figura 5.4), se observó una tendencia creciente en ambos tratamientos, estando siempre por encima el tratamiento F. Vuelve haber diferencias significativas entre ambos tratamientos a los 60 y 90 dafb al igual que ocurría con los valores de concentración de nitrógeno, y además al final del ciclo de cultivo (180 y 210 dafb) también se producen estas diferencias, acabando en unos valores algo superiores el tratamiento F respecto de SF, la tendencia creciente de este parámetro se estabiliza en estos períodos, indicativo de final de ciclo.



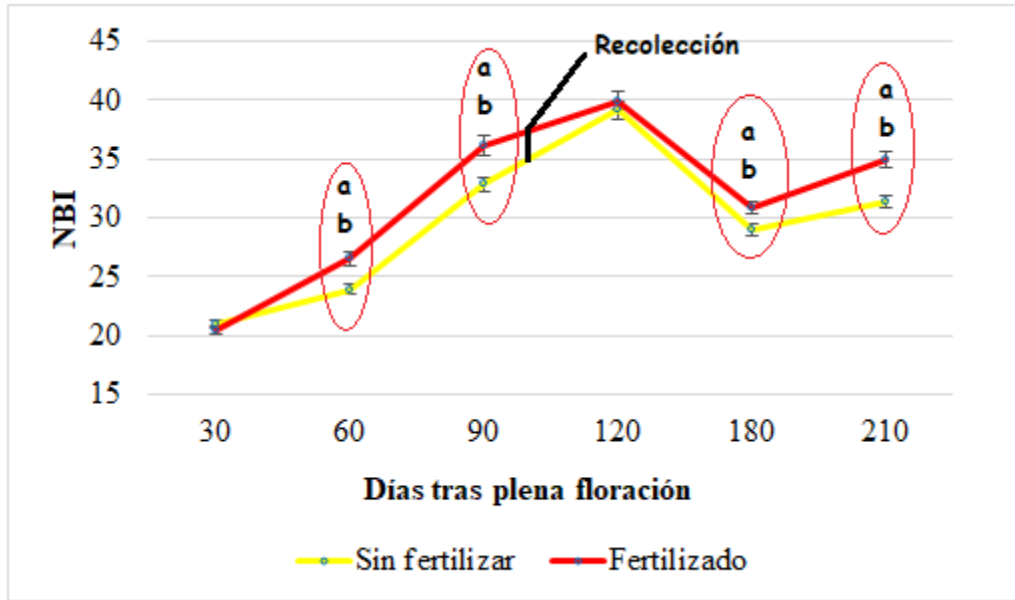
**Figura 5.4.** Valores de índice SPAD medidos con SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development, Minolta Camera Co., Ltd., Japan) a lo largo del ciclo de cultivo medido a partir de floración. Cada punto es la media aritmética de las medidas de cada bloque y repetición. Las barras indican el error estándar de las medias. Las letras diferentes de arriba hacia abajo indican diferencias significativas a un nivel de significación del 5% entre el tratamiento fertilizado y el tratamiento sin fertilizar

Los valores de concentración de clorofila obtenidos tras su medida con Dualex 4.0 siguen la misma tónica que para el caso de los valores SPAD, tendencia creciente a lo largo del ciclo de cultivo de manera más acusada hasta el día 90 tras plena floración, en torno a recolección y posteriormente sigue la tendencia creciente pero sostenida, donde en todo momento los valores correspondientes al tratamiento SF se mantiene por debajo del F. Sólo existen diferencias significativas a un nivel del 5% en el día 90 y los días 180 y 210 coincidiendo con el final del ciclo de cultivo, esta tendencia se puede observar en la figura 5.5.



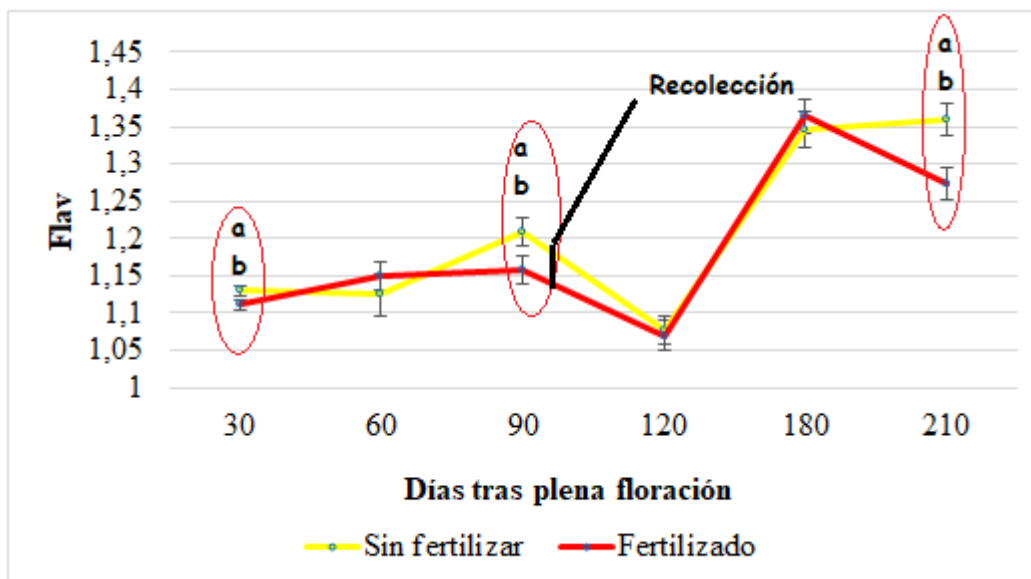
**Figura 5.5.** Valores de índice de clorofila medida con DUALEX 4.0 (Force-A, Orsay, France) a lo largo del ciclo de cultivo medido a partir de floración. Cada punto es la media aritmética de las mediadas realizadas en cada bloque y repetición. Las barras indican el error estándar de las medias. Las letras diferentes de arriba hacia abajo indican diferencias significativas a un nivel de significación del 5% entre el tratamiento fertilizado y el tratamiento sin fertilizar

A continuación, se analiza el índice conocido como balance de nitrógeno obtenido de la relación entre la concentración de clorofila y de flavonoides y según los datos tomados durante la campaña 2018 y al igual que ocurría con los parámetros anteriores, este índice sigue una tendencia creciente hasta el día 120 tras el cual se produce un descenso hasta el día 180 volviendo a aumentar levemente al final del ciclo. Se producen diferencias significativas, a un nivel de significación del 5%, entre ambos tratamientos en los días 60 y 90 y posteriormente hacia final del ciclo coincidiendo con los días 180 y 210, al igual que ocurría con los valores SPAD. Durante toda la evolución de este índice (figura 5.6) el tratamiento SF estuvo por debajo de F.



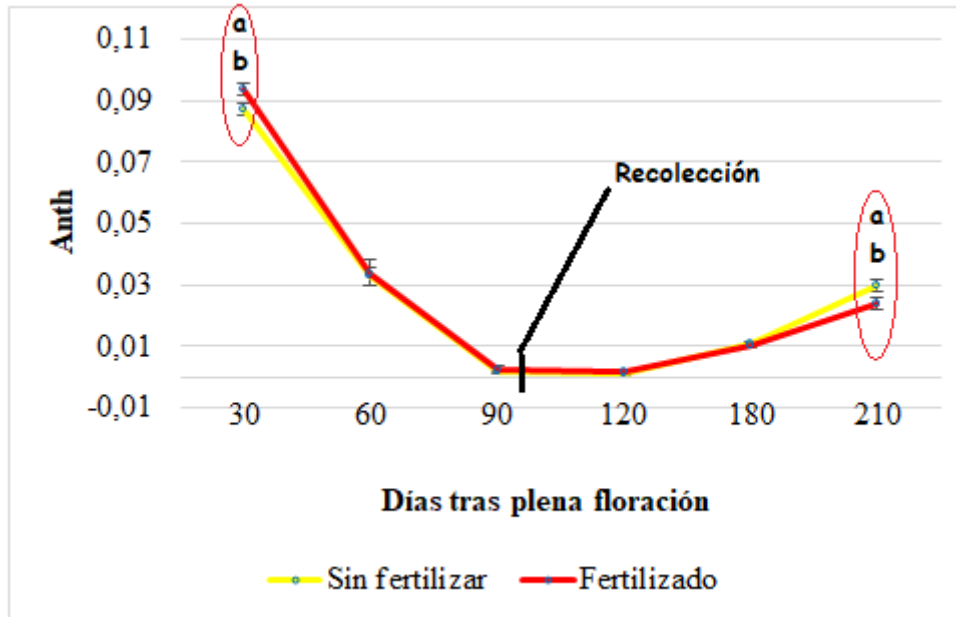
**Figura 5.6.** Evolución estacional del índice NBI medido con DUALEX 4.0 (Force-A, Orsay, France) a lo largo del ciclo de cultivo medido a partir de floración. Cada punto es la media aritmética de las mediadas realizadas en cada bloque y repetición. Las barras indican el error estándar de las medias. Las letras diferentes de arriba hacia abajo indican diferencias significativas a un nivel de significación del 5% entre el tratamiento fertilizado y el tratamiento sin fertilizar

En cuanto a los valores de concentración de flavonoides, estos no siguen una dinámica definida durante la evolución del cultivo como en los casos anteriores, hasta el día 90 tras plena floración se produce un aumento gradual, momento a partir del cual y coincidiendo con la recolección se produce un leve descenso en ambos tratamientos hasta el día 120. Vuelve a producirse un aumento hasta el día 180 y posteriormente un descenso algo más marcado en el caso de F. Durante toda la evolución se alternan ambos tratamientos en los que los valores de concentración de flavonoides del tratamiento F superan a los del tratamiento SF y viceversa. Se producen diferencias significativas en los días 30, 90 y 210 tras plena floración, pudiéndose apreciar en la figura 5.7.



**Figura 5.7.** Concentración de flavonoides medidos con DUALEX 4.0 (Force-A, Orsay, France) a lo largo del ciclo de cultivo medido a partir de floración. Cada punto es la media aritmética de las mediciones realizadas en cada bloque y repetición. Las barras indican el error estándar de las medias. Las letras diferentes de arriba hacia abajo indican diferencias significativas a un nivel de significación del 5% entre el tratamiento fertilizado y el tratamiento sin fertilizar

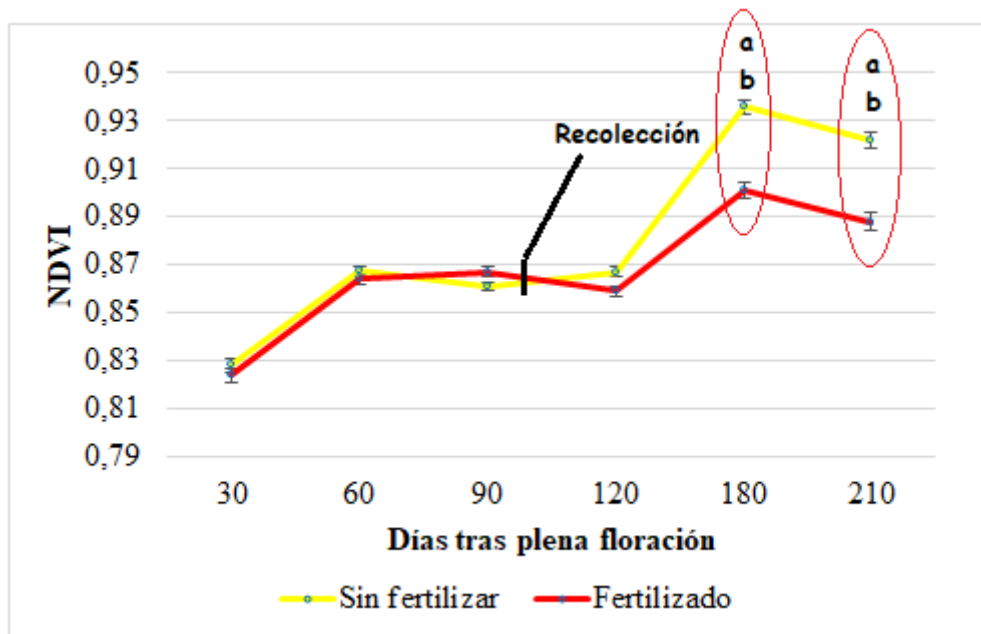
La evolución de los valores de concentración de antocianos (figura 5.8) medidos con Dualex 4.0 siguen una tendencia decreciente acusada hasta el día 120 tras plena floración, momento tras el cual crecen moderadamente hasta la última medida realizada hacia el día 210 tras plena floración. Durante toda la evolución los valores de ambos tratamientos fueron muy parecidos, únicamente existiendo diferencias significativas en los días 30 y 210 tras plena floración y resultando en un caso los valores del tratamiento SF por debajo de los de F y en el otro caso al contrario respectivamente.



**Figura 5.8.** Concentración de antocianos medidos DUALEX 4.0 (Force-A, Orsay, France) a lo largo del ciclo de cultivo medido a partir de floración. Cada punto es la media aritmética de las mediadas realizadas en cada bloque y repetición. Las barras indican el error estándar de las medias. Las letras diferentes de arriba hacia abajo indican diferencias significativas a un nivel de significación del 5% entre el tratamiento fertilizado y el tratamiento sin fertilizar

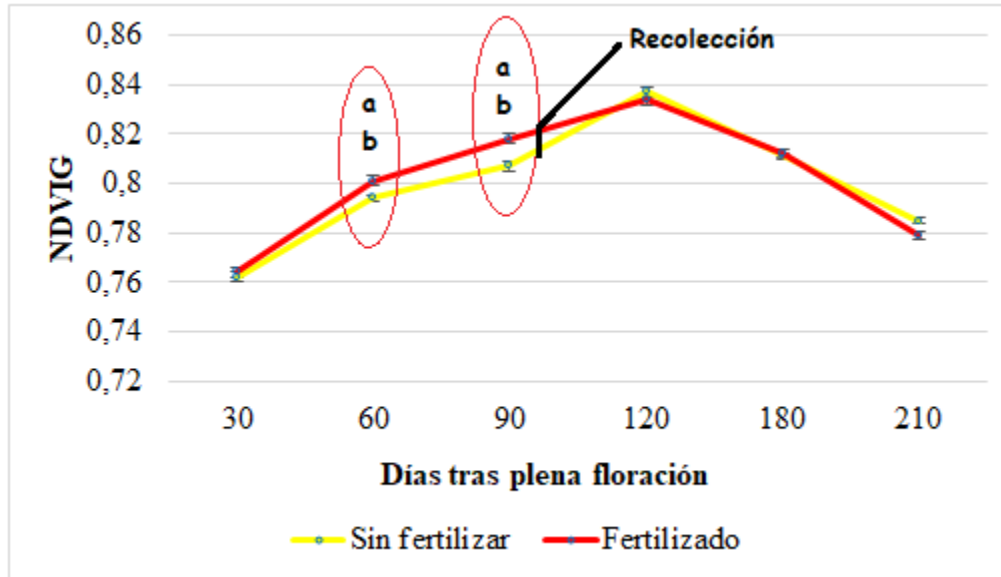
Analizando la evolución de los valores de reflectancia obtenidos tras medidas realizadas con Crop Circle ACS-470 para determinar el índice de vegetación normalizado (NDVI) se observó en un primer período (día 30 a 60 dafb) una evolución creciente tras la cual se produce una estabilización en los valores de reflectancia que incluso en el caso del tratamiento F decrecen levemente hasta el día 120 tras plena floración. Tras ello, se produjo de nuevo un período (día 120 a día 180 tras plena floración) creciente en la evolución de los valores de reflectancia en el que los valores del tratamiento SF estuvieron por encima del tratamiento F y tras el cual de nuevo se produjo un descenso de los valores continuando la tónica apuntada anteriormente. Las diferencias significativas entre ambos tratamientos se produjeron en las dos últimas medidas coincidiendo con los días 180 y 210 tras plena floración. Se puede apreciar la evolución de estos valores en la figura 5.9.





**Figura 5.9.** Valores de índice de vegetación medidos con Crop Circle ACS-470 (Holland Scientific, Inc., Lincoln, NE). Cada punto es la media aritmética de las medias realizadas en cada bloque y repetición. Las barras indican el error estándar de las medias. Las letras diferentes de arriba hacia abajo indican diferencias significativas a un nivel de significación del 5% entre el tratamiento fertilizado y el tratamiento sin fertilizar

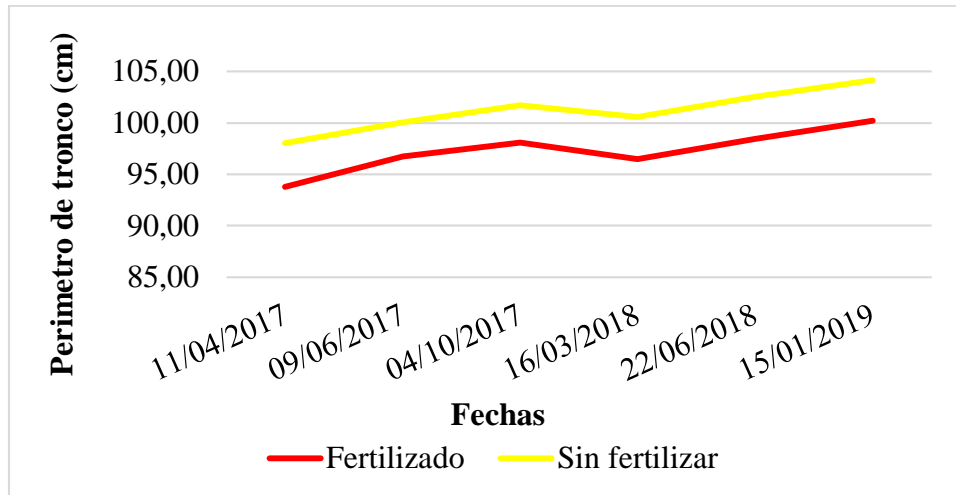
En cuanto a la evolución del último parámetro determinado relacionado con el diagnóstico nutricional, el índice de vegetación normalizado en el verde, (figura 5.10) los valores siguieron una tendencia creciente hasta el día 120 tras plena floración, donde los pertenecientes al tratamiento F superaron a los SF. A partir de ese período, los valores decrecen hasta el final de ciclo de cultivo. Se produjeron dos períodos donde las diferencias entre ambos tratamientos fueron significativas a un nivel de significación del 5%, en el día 60 y el día 90 tras plena floración.



**Figura 5.10.** Valores de índice de vegetación en el verde medidos con Crop Circle ACS-470 (Holland Scientific, Inc., Lincoln, NE). Cada punto es la media aritmética de las medidas realizadas en cada bloque y repetición. Las barras indican el error estándar de las medias. Las letras diferentes de arriba hacia abajo indican diferencias significativas a un nivel de significación del 5% entre el tratamiento fertilizado y el tratamiento sin fertilizar

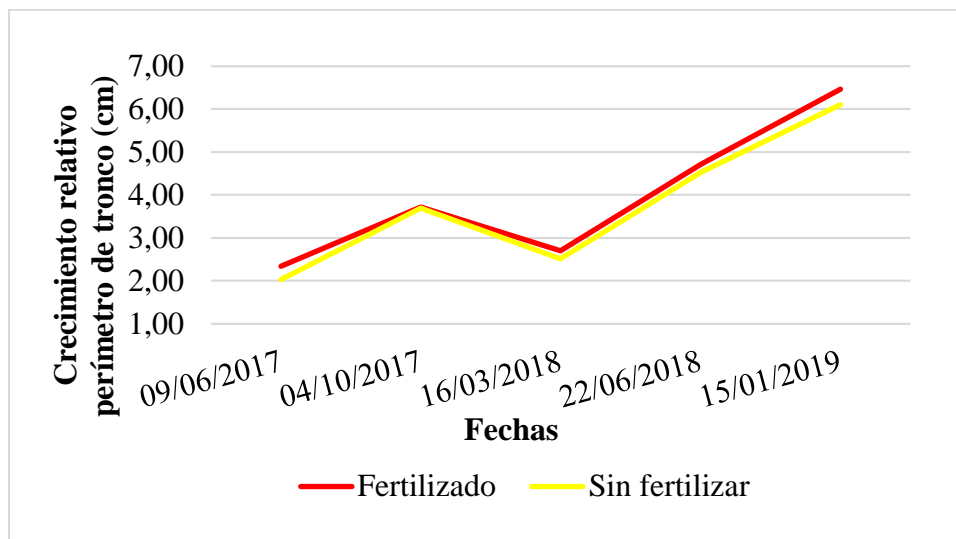
### 5.3. Influencia sobre el desarrollo vegetativo

El desarrollo vegetativo en este ensayo fue determinado mediante la medida del perímetro de tronco de los diferentes árboles que componían cada tratamiento. Como se puede apreciar en la figura 5.11, en ambos tratamientos la evolución es creciente y en paralelo, estando el tratamiento SF por encima del F durante las dos campañas en las que se tomaron datos de perímetro de tronco.



**Figura 5.11.** Evolución de las medidas de perímetro de tronco en cm durante los años 2017 y 2018 en el tratamiento fertilizado y sin fertilizar. Cada punto referido a la fecha de medición es la media aritmética de los valores de perímetro de tronco de cada árbol que componían cada tratamiento.

A pesar de que el perímetro de tronco en el tratamiento SF se encuentra por encima de F, la figura 5.12 representa la evolución del crecimiento relativo donde se pone de manifiesto que durante 2018 el tratamiento F tuvo crecimiento relativo ligeramente superior que SF



**Figura 5.12.** Evolución temporal del crecimiento relativo del perímetro de tronco en cm, correspondientes a los tratamientos fertilizado y sin fertilizar durante los años 2017 y 2018. Cada punto referido a la fecha de medición es la resta de las medias aritméticas de los valores medidos en una fecha y la inmediata anterior

## 5.4. Producción

Los datos referidos a la producción se presentan en la tabla 5.5, destacar la gran diferencia entre la producción de 2017 y la de 2018, en torno a una tercera parte un año respecto a otro. Destacar también que los valores tanto de peso medio del fruto como de calibre presentan diferencia en un año respecto del posterior, encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos SF y F en las dos campañas en el caso de los valores de calibre.

Las diferencias significativas también se encontraron, para la campaña 2018, tanto en los valores de producción (kg/ha), como en los valores de peso de frutos (kg) por cada árbol que componía el ensayo.

**Tabla 5.5.** Datos de parámetros de relacionados con la producción en los distintos años para los dos tratamientos de fertilización (rojo tratamiento fertilizado, amarillo tratamiento sin fertilizar en año 2018). Las letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas entre ellos a un nivel de significación del 5%

AÑO	Fecha recolección	Tratamiento	Producción (kg/ha)	Peso (kg)/árbol	Nº frutos/árbol	Peso medio fruto (g)	Calibre (mm)
2017	22 y 29 mayo	Fertilizado (F)	6228 <sup>a</sup>	14,94 <sup>a</sup>	203 <sup>a</sup>	73,65 <sup>a</sup>	55,17 <sup>a</sup>
		Fertilizado (F)	5874 <sup>a</sup>	14,09 <sup>a</sup>	195 <sup>a</sup>	72,51 <sup>a</sup>	57,09 <sup>b</sup>
2018	7 y 11 junio	Fertilizado (F)	16448 <sup>a</sup>	39,44 <sup>a</sup>	456 <sup>a</sup>	87,78 <sup>a</sup>	49,65 <sup>a</sup>
		Sin fertilizar (SF)	20781 <sup>b</sup>	49,83 <sup>b</sup>	523 <sup>a</sup>	95,97 <sup>a</sup>	48,75 <sup>b</sup>

## 5.5. Parámetros de calidad

Los parámetros básicos de calidad aparecen en la tabla 5.6. Hay que señalar que la recolección en 2018 se retrasó unos 15 días respecto a 2017. Los valores mostrados no presentan excesivas diferencias entre las dos campañas en que se obtuvieron.

**Tabla 5.6.** Datos de parámetros básicos de calidad en recolección en madurez comercial en los diferentes años en los dos tratamientos de fertilización (rojo tratamiento fertilizado, amarillo tratamiento sin fertilizar en año 2018). Las letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas entre ellos a un nivel de significación del 5%

AÑO	Fecha de recolección	Tratamiento	CSS (°Brix)	Firmeza (kg/cm <sup>2</sup> )	Acidez (%)	Índice de madurez (CSS/Acidez)	Chroma (C*)
2017	22 y 29 mayo	Fertilizado (F)	10,93 <sup>a</sup>	1,93 <sup>a</sup>	1,60 <sup>a</sup>	6,83 <sup>a</sup>	No mostrados
		Fertilizado (F)	10,77 <sup>a</sup>	1,73 <sup>b</sup>	1,96 <sup>b</sup>	5,49 <sup>a</sup>	No mostrados
2018	7 y 11 junio	Fertilizado (F)	11,03 <sup>a</sup>	2,43 <sup>a</sup>	1,73 <sup>a</sup>	6,32 <sup>a</sup>	26,91 <sup>a</sup>
		Sin fertilizar (SF)	10,67 <sup>b</sup>	2,29 <sup>b</sup>	1,68 <sup>a</sup>	6,35 <sup>a</sup>	27,88 <sup>b</sup>

Para la campaña 2017 existen diferencias significativas entre tratamientos para los datos tanto de firmeza como de acidez, mientras que para los valores obtenidos durante la campaña 2018 estas diferencias se ponen de manifiesto para el caso de concentración de sólidos solubles, firmeza y color.

En todos los casos los valores del tratamiento F son superiores a los del tratamiento SF excepto para el caso de la acidez en la campaña 2017, donde el tratamiento SF supera al tratamiento F.

## **6. DISCUSIÓN**

## 6. DISCUSIÓN

La gestión de la fertilización en frutales resulta una tarea compleja. De un lado, al ser un cultivo plurianual resulta difícil determinar la respuesta del árbol a la fertilización, ya que existe una acumulación de sustancias de reserva en los diferentes órganos de la planta que son difíciles de cuantificar y determinar su estado antes y después de la fertilización. Durante los primeros 25-30 días de la temporada de crecimiento, todo el uso del nitrógeno por los tejidos en crecimiento es suministrado por los órganos de almacenamiento (Rufat y Dejong, 2001). De otro lado, la respuesta de los árboles a la fertilización es por regla general lenta (Alonso *et al*, 2012). Muñoz-Guerra *et al* (2008), observaron diferencias entre árboles (tanto frutales de hueso como de pepita) abonados y no abonados a partir del tercer año e incluso en situaciones de exceso de vigor de especies frutales, se ha demostrado que la no fertilización con nitrógeno durante 1-2 años no afectaba a la producción (Johnson y Uriu, 1989).

La información disponible en relación con los ensayos de fertilización nitrogenada en cultivos leñosos en condiciones de campo, son poco concluyentes debido fundamentalmente a la dificultad de controlar la efectividad de dichos tratamientos (Monge *et al*, 2007). Es difícil controlar los parámetros que constituyen el balance de nitrógeno, especialmente en el caso de los aportes al suelo por la mineralización de la materia orgánica (Espada, 2002).

La concentración foliar de nitrógeno a lo largo del ciclo de cultivo (figura 5.3) mostró una tendencia decreciente, esperable por otra parte dado que el nitrógeno se moviliza hacia otros órganos de la planta en función de la fase del ciclo de cultivo en que se encuentre. Además, los valores obtenidos para la concentración de nitrógeno foliar estaban dentro de los rangos obtenidos en otros ensayos realizados en la zona de las Vegas del Guadiana (González *et al*, 2006), lugar donde radica el ensayo de este estudio. Estos valores oscilaron entre 4% y 2% al final del ciclo para cultivares tempranos como es el caso de Red Beaut. Estos valores también son indicativos de que los árboles que conformaban los diferentes tratamientos contaban con un estado nutricional saludable (según valores de referencia publicados por la Universidad de California para ciruelo japonés y posteriormente ensayados y adaptados para las condiciones climáticas de las Vegas del Guadiana por González *et al*, 2006) los cuales, hasta aproximadamente 30 días tras plena floración son muy parecidos en los dos tratamientos. Es a partir de ese momento, cuando las concentraciones de nitrógeno descienden en ambos tratamientos, aunque de forma más acusada en el caso del

tratamiento no fertilizado, con diferencias significativas entre ambos en los días 60 y 90 tras plena floración, coincidiendo con la movilización del nitrógeno hacia los frutos que en esas fechas se encuentran en pleno desarrollo y posterior maduración.

El índice SPAD muestra muy buena correlación con el nivel de coloración verde de la hoja, de ahí que mantienen una tendencia creciente durante todo el ciclo de cultivo indicativo de una creciente concentración de pigmentos en las hojas como así ponía de manifiesto el ensayo en manzano llevado a cabo por Neilsen *et al.* (1995) o el ensayo en caqui por Choi *et al.* (2011). En este ensayo la evolución del índice SPAD (figura 5.4) señala diferencias entre los tratamientos a los 60 y 90 días tras plena floración, al igual que el contenido foliar de nitrógeno, sin embargo, con este índice se vuelven a detectar valores más altos en el caso del tratamiento fertilizado a los 180 y 210 días tras plena floración, al igual que ocurrió con los valores de índice de clorofila medidos con dualex (figura 5.5). Las diferencias entre los tratamientos vuelven a producirse al final del ciclo durante los días 180 y 210 ddpf. Hay que señalar que esas diferencias significativas coinciden con los momentos de aplicación de los fertilizantes nitrogenados, en el primer caso durante la fase cuajado-recolección y en el segundo caso en la fase recolección-caída de hojas. En todos los casos excepto al inicio de la toma de medidas, el tratamiento F se mantuvo ligeramente por encima de SF, al igual que ocurría en el caso de los valores de concentración de nitrógeno foliar. Todo ello pone de manifiesto la utilidad del medidor de clorofila SPAD-502, como indicador cualitativo de estado nutricional puesto de manifiesto a través del verdor de la hoja, siendo incluso más sensible que el análisis foliar en fases avanzadas del ciclo de cultivo. Los trabajos de Monge *et al.* (2007) no encontraron relación entre la concentración de nitrógeno foliar y las dosis aplicadas al suelo, considerando que los resultados obtenidos con el medidor SPAD-502 eran concluyentes. En ensayos realizados por diferentes autores en diversos cultivos, existen discrepancias en cuanto al uso de este medidor como guía de abonado nitrogenado así Hartz *et al.* (1993) en pimiento, Goffart *et al.* (2006) en escarola y Gianquinto *et al.* (2003) en patata recomiendan su uso, mientras que Villeneuve *et al.* (2002) en brócoli o Tremblay *et al.* (2002) en judía verde lo desaconsejan para la recomendación de abonado (Rivacoba *et al.* 2013)

Los valores de concentración para los metabolitos secundarios (flavonoides y antocianos), medidos con Dualex y mostrados en las figuras 5.7 y 5.8, siguieron una evolución distinta. En el caso de los flavonoides (figura 5.7) se mantienen más o menos estables hasta la recolección, tras



la cual se incrementan, coincidiendo con lo comprobado por Persson *et al*, (2012); Moore *et al*, (2014), citados por Scogings (2018), ponían de manifiesto que los flavonoides variaban dentro de la planta cuantitativamente en el tiempo y que estaba relacionada con la disponibilidad de recursos como agua, luz o nutrientes para su distribución a las distintas funciones vitales de la planta, como el crecimiento, la reproducción, el almacenamiento y la protección contra factores de estrés (Moreira *et al*, 2014). Las diferencias significativas entre los tratamientos se producen al inicio de las medidas, al final del ciclo y momentos antes de recolección o día 90 después de plena floración, donde los valores del tratamiento SF superan a los de F poniendo de manifiesto que ante condiciones de estrés de la planta (menor disposición de nitrógeno) se aumenta la concentración de flavonoides en hoja (Moreira *et al*, 2014). La evolución de los antocianos (figura 5.8) siguió una tendencia decreciente con el crecimiento del fruto hasta su recolección dado que estos se movilizan hacia los mismos adquiriendo las coloraciones características del cultivar y que cumplen con sus funciones protectoras ante factores de estrés (Routaboul *et al*, 2012). Posteriormente esos valores de concentración de antocianos crecen de manera moderada y se mantiene hasta el final del ciclo de cultivo donde se produjeron diferencias significativas.

De todos los parámetros obtenidos tras las medidas con las distintas herramientas tecnológicas de diagnóstico nutricional, parece que los relacionados con la reflectancia fueron los que siguieron una tendencia más parecida a los obtenidos tras el análisis foliar. Concretamente se trata del índice de vegetación en el verde que siguió una tendencia creciente hasta el día 120 dafb, a partir del cual fue decreciendo hasta el final de ciclo de cultivo al igual que ocurría con la concentración de nitrógeno foliar. Lo mismo se puede decir de las diferencias significativas entre el tratamiento F y SF, estas ocurren durante los días 60 y 90 dafb momentos cercanos a la recolección y donde el tratamiento F siempre estuvo por encima del SF. Estos resultados coinciden con algunos realizados por otros autores en otros cultivos, Giménez (2014) en espinaca, Millán *et al*, (2013) en tomate, no encontrándose resultados para el caso de cultivos arbóreos.

En la sección de tronco como parámetro de crecimiento vegetativo no tuvo influencia la fertilización o no, dado que los troncos de los árboles eran diferentes desde el principio del ensayo (figura 5.11).

En cuanto a los parámetros relacionados con la producción hay que destacar la elevada diferencia entre el año 2017 y 2018. Red Beaut es el cultivar de ciruelo más temprano. Suele tener

una productividad baja en comparación con cultivares más tardíos, y variable entre años dependiendo de aspectos como las horas frío acumuladas antes de la brotación y las condiciones meteorológicas durante la floración (favorables o no a la polinización) y también puede sufrir cierta vecería. El año 2017 fue un año de baja producción seguido de una alta producción en 2018. Las diferencias encontradas entre tratamientos, difícilmente se pueden explicar por diferencias en el estado nutricional, sino que probablemente se pueden atribuir a la “historia” previa de la plantación. El aspecto más relevante de la producción de los dos tratamientos en relación con el tema de este trabajo (estudio del efecto de la fertilización nitrogenada sobre el estado nutricional y la evaluación mediante técnicas no destructivas) es que las diferencias observadas: menor concentración de nitrógeno en hoja o un descenso más acusado en los árboles SF pudo ser debida a una mayor demanda de los frutos en crecimiento, que pudo verse acentuada por la menor disponibilidad de nitrógeno.

La producción y el calibre son dos parámetros correlacionados inversamente, y presentan diferencias significativas entre tratamientos en 2018, coincidiendo con los resultados obtenidos en otros trabajos en los que se comprobó que el tamaño de la fruta está condicionado por factores como la carga del árbol, condiciones climáticas y prácticas culturales (Guerra y Casquero, 2009), la disponibilidad de nutrientes (Daane *et al*, 1995) o la intensidad de poda (Kumar *et al*, 2010) citados por Pérez (2015), siendo el caso de este estudio la carga del árbol el factor probablemente más determinante en esas diferencias significativas puesto que la producción de SF es aproximadamente un 20% superior a F, pero por el contrario los frutos de F son de mayor tamaño que los de SF.

Respecto a los parámetros relacionados con la calidad de la fruta hubo diferencias significativas entre las frutas de los dos tratamientos para el caso de la firmeza, la concentración de sólidos solubles y para el parámetro de color, que pueden ser debidos, más a las diferencias en la carga de los árboles que al estado nutricional.

La firmeza es un parámetro muy importante en la postcosecha dado que su resistencia será mayor durante la manipulación en la central (Crisosto *et al*, 1995), en el caso de este ensayo los valores fueron ligeramente superiores en el tratamiento F lo que podía indicar la influencia del tratamiento de fertilización evidenciando los resultados de trabajos anteriores que indicaban que la firmeza podría estar relacionada con diversos factores como las condiciones climáticas y las

prácticas culturales (Guerra y Casquero, 2009). Sin embargo, otros estudios demostraron la correlación negativa entre el tamaño de la fruta y la firmeza (Blanpied *et al*, 1978) siendo la fruta perteneciente a este tratamiento F de mayor tamaño que la correspondiente al tratamiento SF.

El parámetro Chroma, relacionado con el color, fue ligera y significativamente superior en el tratamiento SF. Ello puede ser explicado dado que este tratamiento tuvo una mayor carga de fruta y consecuentemente una mayor proporción de frutos expuestos al sol que pudo aumentar su color como así demostraron (Francisconi *et al*, 1996; Crisosto y Costa, 2008).

El contenido de sólidos solubles es un parámetro relacionado con la calidad organoléptica y que está íntimamente relacionado con la aceptación de la fruta por parte del consumidor (Crisosto *et al*, 2004; Crisosto y Crisosto, 2005). En el caso de este ensayo se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos en el año 2018 mientras que están no ocurrieron en el 2017, los valores para el caso del tratamiento SF fueron ligeramente inferiores a F y ello puede tener relación, como ya describió Crisosto *et al*, (1995), al existir una mayor carga de fruta reducía el contenido de sólidos solubles, y para el caso de este ensayo la carga de este tratamiento superó en aproximadamente en un 20% a la del tratamiento F como ya se comentó anteriormente.

Para el caso del parámetro acidez, la cual está relacionada al igual que el contenido de sólidos solubles con la calidad organoléptica y como un factor de especial relevancia en la aceptación de la fruta por parte del consumidor (Crisosto *et al*, 2004), no se produjeron diferencias significativas entre los tratamientos en el año 2018 pero si en el año 2017, lo que pone de manifiesto la diversidad de resultados de los diferentes estudios que hay al respecto. Por un lado, se han descrito factores que pueden hacer variar la acidez de la ciruela, como la posición de la fruta en el árbol (Marini *et al*, 1991; Saenz, 1991), fecha de recolección (Singh *et al*, 2009) o intensidad de la poda (Kumar *et al*, 2010). Por otro lado, se han descrito factores relacionados con el manejo agronómico en cuanto a la fertilización para producción ecológica en donde algunos autores encontraron diferencias en manzana. Así, do Amarante *et al*, (2008) encontraron menor acidez en el manejo en producción ecológica, sin embargo, Reig *et al*, (2007), hallaron mayor acidez en la fruta ecológica.

## **7. CONCLUSIONES**

## 7. CONCLUSIONES

1. La determinación de la respuesta de los frutales de regadío a la fertilización es compleja dado que se trata de cultivos plurianuales en los que entran en juego diversos factores como las reservas acumuladas.
2. Durante el primer año sin fertilización nitrogenada, la concentración de nitrógeno foliar de los árboles pertenecientes a estos tratamientos se mantuvieron dentro de los valores de referencia para la zona y para el ciclo de cultivo del cultivar. Ello puede ser indicativo de que los árboles fertilizados a las dosis actuales hacen un consumo de lujo de nitrógeno.
3. Los resultados obtenidos no discriminan entre tratamiento fertilizado a dosis de producción integrada o tratamientos sin fertilizar en cuanto a factores de producción, por lo que los actuales planes de abonado podrían reducir las dosis de abonado nitrogenado contribuyendo a disminuir la contaminación por nitratos en la zona.
4. Las diferencias entre tratamientos respecto a los parámetros básicos de calidad pueden estar más relacionados con aspectos relativos a prácticas culturales que tienen que ver con la carga o la posición de la fruta en el árbol, que con la propia dosis de fertilización nitrogenada. De ahí la importancia de operaciones como el aclareo en esta especie frutal.
5. Las tecnologías utilizadas para el diagnóstico nutricional son útiles para un análisis cualitativo, siendo incluso más sensible que el contenido foliar de nitrógeno en etapas tardías del ciclo de cultivo
6. Los resultados presentados correspondientes a una primera campaña deben considerarse como un avance de resultados ya que en cultivos leñosos es fundamental evaluar la respuesta a medio y largo plazo de prácticas de cultivo fundamentales como el abonado y más cuando se refiere a plantaciones adultas.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: guide-lines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage, 56. FAO, Roma.

Alonso, J., Castrillo, E. & Espada, J. (2012). Fertilización mineral en melocotonero tardío para una producción sostenible de calidad. Vida Rural, pp 66-72.

Blanpied, G.D., Bramlage, W.J., Dewey, D.H., LaBelle, R.L., Massey, L.M., Mattus, G.E., Stiles, W.C. y Watada, A.E. (1978). A standardized method for collecting apple pressure test data. New York's Food and Life Sciences Bulletin 74.

Buschmann, C. (2007). Variability and application of the chlorophyll fluorescence emission ratio red/far-red of leaves. Photosynthesis Research, 92, 261–271.

Cartelat, A., Cerovic, Z.G., Goulas, Y., Meyer, S., Lelarge, C., Prioul, J.L., Barbottin, A., Jeuffroy, M.H., Gate, P., Agati, G. (2005). Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). Field Crops Research, 91, 35–49.

Cerovic, Z.G., Ounis, A., Cartelat, A., Latouche, G., Goulas, Y., Meyer, S., Moya, I. (2012). The use of chlorophyll fluorescence excitation spectra for the non-destructive in situ assessment of UV-absorbing compounds in leaves. Plant Cell and Environ, 25, 1663–1676.

Cerovic, Z.G., Masdoumier, G., Ghozlen, N.B., Latouche, G. (2012). A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. Physiology Plant, 146, 251–260.

Choi, S-T., Park, D-S. (2011). Use a chlorophyll meter to diagnose nitrogen status of 'Fuyu' persimmon leaves. HortScience 46 (5): 821-824

Crisosto, C.H., Mitchell, F.G. y Johnson, S. (1995). Factors in fresh market stone fruit quality. Postharvest News and Information 6 (2): 17-21

Crisosto, C.H., Garner, D., Crisosto, G.M. y Bowerman, E. (2004). Increasing 'Blackamber' plum (*Prunus salicina* Lindell) consumer acceptance. *Postharvest Biology and Technology* 34: 237-244.

Crisosto, C.H. y Crisosto, G.M. (2005). Relationship between ripe soluble solids concentration (RSSC) and consumer acceptance of high and low acid melting flesh peach and nectarine (*Prunus persica* (L.) Batsch) cultivars. *Postharvest Biology and Technology* 38: 239-246.

Crisosto, C. H., Mitchell, J.P. (2007). Preharvest factors affecting fruit and vegetable quality. *Postharvest technology of horticultural crops*, 3<sup>rd</sup> Ed. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. Oakland, California, pp. 55-62.

Crisosto, C.H. y Costa, G. (2008). Preharvest factors affecting peach quality. En: *The Peach: Botany, Production and Uses*. D.R. Layne y D. Bassi (Eds.). CAB International 536-549.

Daane, K.M., Johnson, R.S., Michailides, T.J., Crisosto, C.H., Dlott, J.W., Ramirez, H.T., Yokota, G.Y. y Morgan, D.P. (1995). Excess nitrogen raises nectarine susceptibility to disease and insects. *California Agriculture* 49 (4):13-18.

Do Amarante, C.V.T., Steffens, C.A., Mafra, A.L. y Albuquerque, J.A. (2008). Yield and fruit quality of apple from conventional and organic production systems. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* Brasilia. 43: 333-340.

Espada, J.L., (2002). El nitrógeno en la fertilización razonada de frutales: Producción, calidad de fruta y medioambiente. Centro de Técnicas Agrarias, Gobierno de Aragón, Zaragoza.

Francisconi, A.H.D., Barradas, C.I.N. y Marodin, G.A.B. (1996). Effects of intensity of summer pruning on fruit quality and production of peach trees cv Marli. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 31: 51-54.

García-Serrano, P., Ruano, S. (2010). *Guía Práctica de la Fertilización Racional de los Cultivos en España*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.

Gianquinto, G., Sambo, P., and Pimpini, F. (2003). The use of SPAD 502 chlorophyll meter for dynamically optimization the nitrogen supply in potato crop: first results. *Acta Horticulturae* 607, 191-196.



Giménez, C. (2014). Reflectancia de cubierta como indicador del estado nutricional de N en un cultivo de espinaca. V Jornadas de fertilización SECH. Actas de Horticultura 66, pp 127-134

Goffart, J.P., Renard, S., Frankinet, M., Sinnaeve, G., Delvigne, A., and Maréchal, J. (2006). Leaf chlorophyll content measurements for nitrogen fertilization management of curled-leaves endives in open field. Acta Horticulturae 700, 207-211

González, V., Abadía, A., Abadía, J., Vivas, A., Prieto, M.H. (2006). Estado nutricional del ciruelo japonés (*Prunus salicina*) en las Vegas del Guadiana. Vida Rural, pp 34-38

Guerra, M. y Casquero, P.A., 2009. Site and fruit maturity influence on the quality of European plum in organic production. Scientia Horticulturae 122: 540-544

Guerra, M.E., (2011). Polinización y cuajado en ciruelo japonés. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura, Badajoz.

Hartz, T.K., Lestrangle, M., and May, D.M. (1993). Nitrogen requirements of drip irrigated peppers. HortScience 28, 1097-1099

Johnson, R. and Uriu, K. (1989). Mineral Nutrition, 13. Peach, plums and nectarine, growing and handling for fresh market. University of California. Disponible en: [groups.ucanr.org/nutrientmanagement/files/81582.pdf](http://groups.ucanr.org/nutrientmanagement/files/81582.pdf).

Knipling, E.B. (1970). Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. Remote Sensing Environment 1, 155–159.

Kumar, M., Rawat, V., Rawat, J.M.S. y Tomar, Y.K. (2010). Effect of pruning intensity on peach yield and fruit quality. Scientia Horticulturae 125: 218- 221.

Lorén, F.J., (2013). Estudio de la fertirrigación nitrogenada con el inhibidor de la nitrificación 3,4 dimetilpirazolfosfato (DMPP) en melocotonero ‘Miraflores’. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, Zaragoza.

Ma, B.L., Morrison, M.J., Dwyer, L.M. (1996). Canopy light reflectance and field greenness to assess nitrogen fertilization and yield of maize. Agronomy Journal, 88, 915–920.

Marini, R.P., Sowers, D. y Marini, M.C. (1991). Peach fruit-quality is affected by shade during final swell of fruit-growth. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116: 383-389.

Millán, S., Campillo, C., González, V., Fortes, R., Prieto, M.H. (2013). Evaluación del estado nutricional del cultivo de tomate de industria mediante sensores espectrales. *Horticultura*, pp 44-52

Monge, E., Espada, J.L., Risco, D., Val, J. (2006). Respuesta del manzano a diferentes dosis de abono nitrogenado. Resultados preliminares de suelo, planta y calidad de fruto. *Innovaciones fisiológicas y tecnológicas de la maduración y post-recolección de frutas y hortalizas.: Comunicación presentada al VIII Simposio Nacional y V Ibérico sobre Maduración y Postrecolección (Orihuela, Murcia, 27-30 de septiembre de 2006)*. Elche: Limencop, pp. 137–142.

Moñino M.J., Samperio A., Vivas A., Blanco F., Prieto M.H. (2014). *Manual Práctico de Riego de Ciruelo Japonés*. CICYTEX, Gobierno de Extremadura.

Moore, B.D., Andrew, R.L., Külheim, C., Foley W.J. (2014). Explaining intraspecific diversity in plant secondary metabolites in an ecological context. *New Phytol.*, 201 pp. 733-750

Moreira, X., Mooney, K.A., Rasmann, S., Petry, W.K., Carrillo-Gavilán, A., Zas, R., Sampedro, L. (2014). Trade-offs between constitutive and induced defences drive geographical and climatic clines in pine chemical defences. *Ecol. Lett.*, 17, pp. 537-546

Muñoz- Guerra, L., et al., 2008. Estudios de eficiencia en el uso del nitrógeno en frutales de hueso y pepita bajo parámetros de producción integrada: comparación de dosis y tipos de fertilizantes. *Phytoma España*, 202, pp.74–80.

Neilsen, D., Hogue, E., Neilsen, G., and Parchomchuk, P. (1995). Using SPAD-502 values to assess the nitrogen status of apples trees. *HortScience* 30 (3): 508-512.

Orden de 7 de marzo de 2003, por la que se declaran zonas vulnerables a la contaminación por nitratos de origen agrario en la Comunidad Autónoma de Extremadura. Publicada en DOE número 34 de 20 de marzo de 2003.

Orden de 6 de agosto de 2009, por la que se modifica la Orden de 9 de marzo de 2009 por la que se aprueba el programa de actuación aplicable en las zonas vulnerables a contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias en Extremadura. Publicada en DOE número 161 de 20 de agosto de 2009.

Padilla, F. M., Gallardo, M., Peña-Fleitas, M. T.; de Souza, R.; and Thompson, R.B. (2018). Proximal Optical Sensors for Nitrogen Management of Vegetable Crops: A Review. *Sensors*, 18(7), 2083.

Padilla, F. M., Peña-Fleitas, M.T., Gallardo, M., Thompson, R.B. (2015). Threshold values of canopy reflectance indices and chlorophyll meter readings for optimal nitrogen nutrition of tomato. *Annals of Applied Biology*, 166.

Pérez, J.L. (2015). Evaluación del cultivo ecológico del ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl.) y del albaricoquero (*Prunus armeniaca* L.). Crecimiento, fenología, producción y calidad. Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, Sevilla.

Reig, G., Larrigaudiere, C. y Soria, Y. (2007). Effects of organic and conventional growth management on apple fruit quality at harvest. *Acta Horticulturae* 737: 61-65.

Rhine, E.D., Mulvaney, E.J., and Sims, G.K. (1998). Improving the Berthelot reaction for determining ammonium in soil extracts and water. *Soil Science Society*, 62, 473-480.

Rivacoba, L., Vázquez, N., Suso, M.L., and Pardo, A. (2013). Efecto del nitrógeno disponible sobre los componentes del balance de nitrógeno en un cultivo de coliflor (*Brassica oleracea* var. *Botrytis*). VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas. Madrid, 26-29 agosto, 2013.

Romojaro, F., Martínez-Madrid, M.C., Petrel, M.T. (2006). Factores precosecha determinantes de la calidad y conservación en postcosecha de productos agrarios. Departamento de Tecnología de Alimentos, CEBAS-CSIC, 91-6.

Rufat, J., Dejong, T. (2001). Estimating seasonal nitrogen dynamics in peach trees in response to nitrogen availability. *Tree Physiology*, 21, pp.1133–1140.

Saenz, M.V. (1991). Effect of position in the canopy on the postharvest performance and quality of stone fruit. En: 1990 report on research projects for California peaches and nectarines. California Tree Fruit Agreement, Sacramento, California.

Schepers, J.S., Blackmer, T.M., Wilhelm, W.W., Resende, M. (1996). Transmittance and reflectance measurements of corn leaves from plants with different nitrogen and water supply. *Journal of Plant Physiology*, 148, 523–529.

Scogings, P. (2018). Foliar flavonol concentration in *Sclerocarya birrea* saplings responds to nutrient fertilisation according to growth-differentiation balance hypothesis. *Phytochemistry Letters*, 23, 180-184

Secretaría General de Agricultura y Alimentación. Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. (2017). Balance del Nitrógeno en la Agricultura Española (Año 2015). Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

Sellers, P.J. (1985). Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *International Journal Remote Sensing*, 6, 1335–1372.

Sempere, A., Oliver, J., and Ramos, C. (1993). Simple determination of nitrate in soils by second-derivative spectroscopy. *Journal of Soil Science.*, 44, 633-699.

Singh, S.P., Singh, Z. y Swinny, E.E. (2009). Sugars and organic acids in Japanese plums (*Prunus salicina* Lind.) as influenced by maturation, harvest date, storage temperature and period. *International Journal of Food Science and Technology* 44: 1973-1982.

Tremblay, N., Dextraze, L, Roy, G., Belec, C., and Charbonneau, F. (2002). Quick nitrogen test for use on bean and sweet corn crops in Quebec (Canada). *Acta Horticulturae* 506, 141-146.

Urbano-Terrón, P. (1995). *Tratado de Fitotecnia General*. 2º Edición. Editorial Mundi-Prensa Libros, Madrid.

Villeneuve, S., Coulombe, J., Bélec, C. and Tremblay, N. (2002). A comparison of sap nitrate test and chlorophyll meter for nitrogen status diagnosis in broccoli (*Brassica oleracea* L. spp *Italica*). *Acta Horticulturae* 571, 171-177

