

TFG

Respuesta al riego y abonado nitrogenado del cultivo de la patata (*Solanum tuberosum* L.) variedad Spunta.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Grado en Ingeniería Agrícola

Explotaciones Agropecuarias

Curso (2017-2018)



Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera
CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, PESCA Y DESARROLLO RURAL



Alumno:

Emilio José Cabello Franco

Tutores:

D. Luis Andreu Cáceres.

D. Pedro Cermeño Sacristán.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 Origen, evolución e importancia del cultivo de la patata.	7
1.2 Alimentación y salud, humana y animal mediante la patata.	8
1.3 Evolución de la superficie y producción del cultivo de la patata en el Mundo.	11
1.4 Evolución de la superficie y producción del cultivo de la patata en España y Andalucía.	12
1.5 Características de la planta de patata.	16
1.5.1 Taxonomía.	16
1.5.2 Morfología y botánica.	18
1.5.2.1 Sistema radicular.....	18
1.5.2.2 Tallos.....	19
1.5.2.2.1 Tallos aéreos.....	19
1.5.2.2.2 Tallos subterráneos: Rizomas.....	19
1.5.2.2.3 Tallos subterráneos: Tubérculos.....	19
1.5.2.3 Hojas.....	19
1.5.2.4 Flores e inflorescencias.	21
1.5.2.5 Bayas y semillas.....	21
1.5.3 Crecimiento y desarrollo del tubérculo.	22
1.6 Nutrición y fertilización mineral.	23
1.6.1 Nitrógeno.	25
1.6.2 Fósforo y potasio.	27
1.6.2.1 Fósforo.....	27
1.6.2.2 Potasio.....	28
1.6.3 Magnesio y calcio.	28
1.7 Riego: necesidades, programación y riego deficitario.	28
1.7.1 Necesidades y programación del riego.	29
1.7.2 Riego deficitario.	31
1.8 Interacción del riego con el abonado.	31
1.9 Tecnologías para la medida del estrés hídrico.	32
1.9.1 Termometría: termómetro infrarrojo y cámara termográfica.	34
1.9.1.1 La radiación infrarroja en el espectro electromagnético.	34
1.9.1.2 Origen y evolución de la radiación infrarroja y termografía.	35
1.9.1.3 Utilidad de la termometría para el manejo del estrés hídrico y el riego.....	35
1.9.1.4 Termómetro infrarrojo (“láser”).	36
1.9.1.5 Cámara termográfica (termografía).....	37

1.9.2 Espectroscopía en el Infrarojo Cercano (NIRS).	38
1.9.2.1 Conceptos previos.	38
1.9.2.2 Origen y evolución.	39
1.9.2.3 Teoría e instrumentación.	40
1.9.2.4 Relaciones hídricas en los cultivos determinadas mediante NIRS.	41
1.9.3 Cámara de Scholander: potencial hídrico xilemático.	43
1.9.3.1 Origen y evolución.	43
1.9.3.2 Aplicaciones agronómicas y metodología de uso.	43
1.9.4 Otras técnicas para la medida del estrés hídrico.	44
2. OBJETIVOS	45
3. MATERIALES Y MÉTODOS	47
3.1 Ubicación del ensayo.	47
3.2 Estudio climatológico.	49
3.2.1 Medidas meteorológicas.	49
3.2.2 El clima.	50
3.2.2.1 Índices climáticos.	50
3.2.2.2 Clasificación climática.	51
3.3 Estudio edafológico.	52
3.4 Estudio del agua de riego.	60
3.5 Material vegetal utilizado. Características del tubérculo de patata de la variedad Spunta.	66
3.6 Labores de cultivo.	70
3.6.1 Labores preparatorias del cultivo: presiembra.	70
3.6.2 Labores de siembra.	70
3.6.3 Tratamientos fitosanitarios.	71
3.7 Riego y fertirrigación.	72
3.7.1 Material de riego.	72
3.7.2 Fertirrigación.	73
3.8 Diseño experimental y tratamientos.	73
3.8.1 Diseño experimental.	73
3.8.2 Tratamientos de riego y abonado en el ensayo.	74
3.9 Medidas de la producción final y calibre del tubérculo.	76
3.9.1 Producción en la recolección.	76
3.9.2 Recolección y clasificación de los tubérculos.	77
3.10 Medidas realizadas durante el cultivo.	78

3.10.1 Medida del contenido volumétrico de agua en el suelo	78
3.10.2 Medidas de crecimiento y desarrollo.	78
3.10.2.1 Altura de la planta.	78
3.10.2.2 Número de tallos por planta.	78
3.10.2.3 Índice de Área Foliar (IAF).	78
3.10.2.4 Número de tubérculos por hectárea.	78
3.10.2.5 Peso medio del tubérculo.	79
3.10.2.6 Rendimiento de patatas.	79
3.10.2.7 Calibre promedio de los tubérculos.	79
3.10.2.8 Porcentaje de materia seca de los tubérculos.	79
3.10.2.9 Contenido porcentual de proteínas en el tubérculo.	79
3.10.2.10 Contenidos en materia seca.	80
3.10.3 Medidas de las relaciones hídricas del cultivo.	80
3.10.3.1 Porcentaje de humedad.	80
3.10.3.2 Temperatura en las hojas y en la cubierta, mediante termometría.	80
3.10.3.3 Medición con Espectroscopía en Infrarrojo Cercano (NIRS).	85
3.10.3.4 Potencial hídrico xilemático. Cámara de Scholander.	87
3.11 Análisis Estadístico.	88
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	89
4.1 Climatología.	89
4.2 Datos de producción del ensayo.	93
4.2.1 Rendimientos obtenidos para los tubérculos de calibre mayor de 30 mm con los abonados A1 y A2.	93
4.2.2 Rendimientos obtenidos para los tubérculos de calibre mayor de 45 mm con los abonados A1 y A2.	95
4.3 Predicción del rendimiento en recolección en función del riego y abonado 1 (A1).	95
4.4 Medidas realizadas durante el cultivo.	98
4.4.1 Medida del contenido volumétrico de agua en el suelo.	98
4.4.2 Medidas de crecimiento y desarrollo.	99
4.4.2.1 Evolución de la altura de la planta.	99
4.4.2.2 Evolución del número de tallos por planta.	101
4.4.2.3 Evolución del Índice de Área Foliar (IAF).	102
4.4.2.4 Evolución del número de tubérculos por hectárea.	103
4.4.2.5 Evolución del peso medio del tubérculo.	104
4.4.2.6 Evolución del rendimiento.	105
4.4.2.7 Evolución del calibre promedio de los tubérculos.	106
4.4.2.8 Evolución del porcentaje de materia seca de los tubérculos.	107
4.4.2.9 Evolución del contenido porcentual de proteínas en el tubérculo en fresco.	109
4.4.2.10 La materia seca en kilogramos por hectárea.	110

4.4.2.10.1 Evolución de la materia seca de los tubérculos.....	110
4.4.2.10.2 Evolución de la materia seca de la raíz.....	111
4.4.2.10.3 Evolución de la materia seca de los tallos.	112
4.4.2.10.4 Evolución de la materia seca de los peciolo.....	113
4.4.2.10.5 Evolución de la materia seca de las hojas.....	114
4.4.2.10.6 Evolución de la materia seca total.....	116
4.4.2.10.7 Evolución de la materia seca de los distintos órganos de la planta de patata.	117
4.5 Medidas de las relaciones hídricas del cultivo.	117
4.5.1 El porcentaje de humedad.	117
4.5.1.1 Evolución del porcentaje de humedad de la raíz.	118
4.5.1.2 Evolución del porcentaje de humedad de los tallos.	120
4.5.1.3 Evolución del porcentaje de humedad de los peciolo.....	122
4.5.1.4 Evolución del porcentaje de humedad de las hojas.....	124
4.5.2 Temperatura en las hojas y en la cubierta de la planta.	128
4.5.2.1 Evolución de la temperatura en las hojas con el termómetro infrarrojo (“láser”).	128
4.5.2.2 Evolución de la temperatura en la cubierta con el termómetro infrarrojo (“láser”).	130
4.5.2.3 Evolución gráfica de la temperatura en las hojas y en la cubierta mediante la cámara termográfica.	133
4.5.2.4 Comparativa estadística entre la medida de la temperatura en las hojas y en la cubierta mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) y la cámara termográfica (termografía).	134
4.5.2.5 Comparativa gráfica entre la medida de la temperatura en las hojas y en la cubierta mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) y la cámara termográfica.....	136
4.5.3 Medición NIRS.	139
4.5.4 Evolución del potencial hídrico xilemático.....	140
4.6 Resumen de las diferencias significativas en la evolución del cultivo.	143
4.7 Correlaciones entre los parámetros.	145
4.8 Estudio de la sensibilidad térmica en las hojas y en los folíolos de la planta de patata.....	145
5. CONCLUSIONES.....	147
6. BIBLIOGRAFÍA.....	149
ANEXOS	179
ANEXO I. Crecimiento y desarrollo de la planta de patata.	179
ANEXO II. Estudio climatológico.....	181

ANEXO III. Ensayos de la RAEA de patatas de la variedad Spunta.....	191
ANEXO IV. Rendimientos obtenidos para los tubérculos de calibre mayor a 45 mm con los abonados A1 y A2.....	193
ANEXO V. Matriz de correlaciones.	195
ANEXO VI. Sensibilidad térmica en las hojas y en los folíolos.	197
INDICE DE FIGURAS.....	199
INDICE DE FOTOS.....	205
INDICE DE TABLAS.....	207

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Origen, evolución e importancia del cultivo de la patata.

La patata tiene su origen como planta silvestre hace unos 13.000 años en la zona que comprende el Sudoeste de los Estados Unidos de América hasta el centro de Argentina y Chile (Bradshaw & Ramsay, 2009). La domesticación de esta planta silvestre comienza entre 3.000 y 7.000 años después, posiblemente mediante la selección de poblaciones, en un área cercana al Lago Titicaca a una altitud de 3.800 metros, perteneciente a los Andes centrales de Perú y Bolivia (Spooner & Hetterscheid, 2005). Por lo tanto, su domesticación realmente tiene un cierto grado de incertidumbre hoy día (Spooner, Bryan, McLean, Ramsay & Waugh, 2005). Diversas teorías culminan en la existencia de un grupo de unas 20 especies silvestres morfológicamente similares y denominadas *Solanum brevicaule*, como progenitoras de las variedades locales andinas y chilenas (Correll, 1962; Grun, 1990; Miller & Spooner, 1999; Ugent, 1968; van den Berg et al., 1998).

Con el descubrimiento de la patata o papa en Chile por parte de exploradores españoles en 1551 (Salaman, 1949) y en los Andes en 1552 (López de Gómara, 1554), se inicia su expansión prácticamente hacia todas las zonas del Mundo. Era España el único país de la actual Europa que por aquellos años del siglo XVI tenía relaciones con estas regiones andinas, y se considera la suposición de la introducción de la patata en España mediante el Puerto de Sevilla alrededor del año 1569, extendiéndose desde aquí al resto de los países europeos, en donde ya empezó a utilizarse también para la alimentación del ganado y de forma ornamental (Bartolomé, Coletto & Velázquez, 2014).

La hambruna de finales del siglo XVI y principios del XVII que se dio lugar en Irlanda debido a la guerra de origen religiosa con Inglaterra (Salaman, 1949), propicio el uso de la patata por parte de los irlandeses para poder paliar la situación de hambre presente (Loudon, 1831). A mediados del siglo XVII, la patata volvió a salvar de la hambruna a la población irlandesa, cuya población se trasladó al campo debido al cierre de la industria, por lo que se cultivó la tierra para la obtención de la patata como tal preciado alimento, y sobre el cual se tuvo que basar su alimentación y subsistencia económica durante el siglo XVIII, lo que condujo a consecuencias fatídicas en el siglo XIX con la aparición de la enfermedad del mildiu de la patata causado por el hongo *Phytophthora infestans* (Bartolomé et al., 2014). Esta enfermedad arrasó la mitad de la cosecha, con la consiguiente pérdida también económica (Pethybridge, 1940), y entre 1846 y 1851 causó la muerte de un millón y medio de personas (O'Rourke, 1875). Grandes acontecimientos políticos, tales como la independencia de Irlanda en 1922, estuvieron supeditados en buena parte a los efectos de esta enfermedad (Coletto, 2004).

La patata es un cultivo importante a nivel mundial y en la dieta humana, siendo el cultivo hortícola de mayor importancia en relación con la producción y consumo entre 1960 y 1980 (Li, 1985; Ware & McCollum, 1968). En estos años, la producción mundial de patata para consumo humano solo era superada por el trigo, el arroz y el maíz (Ross, 1986). En estos 20 últimos años correspondientes, prácticamente se duplicó la tasa de aumento de su producción con relación al total de alimentos (Horton & Sawyer, 1985). Su producción disminuyó en Europa Occidental, pero se produjo un aumento tanto en América del Norte como en los países y regiones en desarrollo

(Wright & Stark, 1990). Se cultiva extensamente en varios Estados de USA, destacando Idaho, Washington, Dakota del Norte y Wisconsin (National Agricultural Statistics Service, 2002). Los principales productores a nivel mundial en orden de producción decreciente eran: China continental, la Federación Rusa, India, Estados Unidos de América, Ucrania, Polonia, Alemania, Bielorrusia, Países Bajos y Francia (FAO, 2013).

Como tubérculo, nos proporciona un alto rendimiento por hectárea y posee una amplia variedad de usos tales como industriales, procesados, de alimentación para el ganado y de mesa (Feustel, 1987). Se sigue constatando la importancia de este cultivo tanto para la alimentación humana como para la industria del almidón (Fabeiro, de Juan & Martín de Santa Olalla, 2001). Se espera que siga aumentando la producción, suministrando fuentes importantes con relación a la alimentación e ingresos (Bowen, 2003).

Como cultivo es considerado uno de los vegetales con mayor productividad a nivel mundial, proporcionando la superior fuente nutritiva y de ingresos en muchas sociedades, poblaciones y familias (Spooner & Hetterscheid, 2005).

1.2 Alimentación y salud, humana y animal mediante la patata.

La patata puede ser cultivada en una gran diversidad de entornos, por lo que el aprovechamiento del gran aporte de nutrientes que nos procura es interesante desde el punto de vista nutricional y socioeconómico.

Es de especial interés, la atención en el consumo de patatas que no estén verde. Los tubérculos de patatas expuestos a la luz hacen que el glicoalcaloide solanina adquiera la tonalidad verde (Canadian Food Inspection Agency, 2015). Cuando estamos ante tubérculos con esta tonalidad, nos informa de la toxicidad de este compuesto, el cual es tóxico en cantidades entre 210 a 350 gramos, correspondiendo tal cantidad a una patata de tamaño grande y sin pelar, pudiéndose llegar a la intoxicación de la persona, por lo que se recomienda ser almacenadas en lugares sin luz y ser cocidas antes de su consumo, para evitar posibilidad de intoxicación alguna (Youbiot, 2017). Estos glicoalcaloides tóxicos, podrían causar la muerte de una persona si la concentración supera los 330 mg/kg de muestra (Liu, 2013). La solanina también le afecta al ganado, por lo que hay que evitar el aporte de los tubérculos de patatas con este componente tóxico. A modo de ejemplo, se dio el caso de envenenamiento de cerdos con esta sustancia, afectando más delicadamente en los ejemplares jóvenes, y cuyos síntomas pueden ser decaimiento, diarrea copiosa, anorexia, temperatura anormal y agotamiento, y si se les sigue alimentando con patatas de tal presencia de solanina, pueden llegar a morir (Ogilvie, 1943). Es de antaño, el conocimiento que se tiene del envenenamiento de humanos y animales debido a las plantas que pertenecen a las solanáceas, como es el caso de la patata (Ogilvie, 1943).

Las cuantías de tubérculos de patatas a aportar a la dieta ganadera, está en función del tipo de animal y su estado fisiológico. Es un excelente alimento para animales monogástricos, como es el caso del porcino, pudiendo tener una gran presencia en las raciones aportadas, siendo un buen suplemento alimenticio para las raciones en los rumiantes (Siebald, Goic & Matzner, 2002). Es un alimento de gran apetencia para el porcino, el toro bravo y los rumiantes de producción cárnica, debido al alto contenido

energético aportado por el almidón, pudiéndose también proporcionar a las vacas lecheras, vacas secas, ovino de leche, ovino de carne, caprino de leche, caprino de carne y equino (Agroplus, 2014).

El almidón es el principal constituyente de la patata, dándole a este tubérculo la cualidad de un alimento altamente energético, siendo la concentración energética en estado natural de aproximadamente 780 Kcal de energía digestible por kilogramo, y conteniendo un bajo contenido en fibra cruda (3 - 4 %) para la alimentación de los rumiantes, por lo que se crea la necesidad de mezclarlo con otros alimentos ricos en esta fibra, estableciéndose de esta manera un mejor aprovechamiento (Siebald et al., 2002). Estos autores también constatan la deficiencia en calcio y fósforo que presenta este tubérculo para la alimentación ganadera, por lo que las raciones deben ser suplementadas con sales minerales.

El destrío de patatas también se utiliza para la alimentación animal, y está compuesto por aquellas que no son útiles para el consumo humano, ya sea por tener algún daño físico o por tener un calibre no adecuado comercialmente. La patata de desecho o destrío también es aprovechable mediante el ensilado, mezclándola picada con pasto seco o con pasto verde (Siebald et al., 2002).

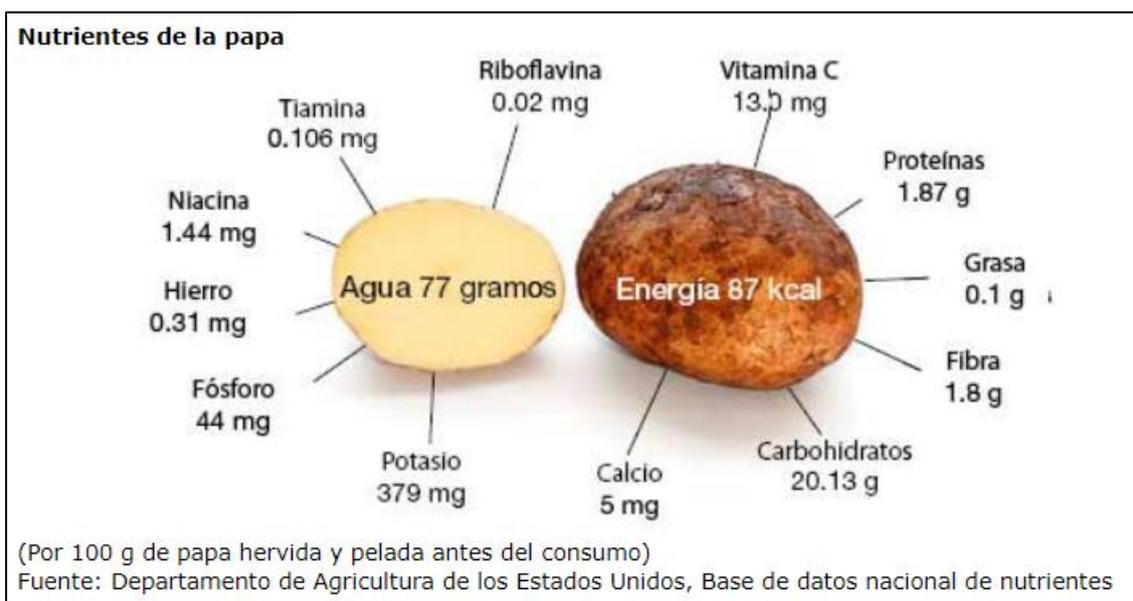


Figura 1. Nutrientes de la patata
Fuente: FAO (2008).

Observando la Figura 1, nos percatamos de la gran cantidad de nutrientes que posee un tubérculo de patata por 100 gramos de patata hervida y pelada antes del consumo, en el que resalta la gran cantidad de carbohidratos. Como término medio, posteriormente verificado en nuestro ensayo, el contenido de la materia seca del tubérculo recién cosechado es del 20 %, y de ellos entre el 60 % y 80 % es almidón (FAO, 2008). El gran contenido de vitamina C favorece la absorción del mineral hierro, cuyo contenido es moderado, conteniendo además vitaminas B1, B3 y B6, magnesio, folato, ácido pantoténico y antioxidantes, influyendo en la prevención de enfermedades vinculadas con el envejecimiento (FAO, 2008). El almidón que posee la patata cruda no puede ser

digerido por los humanos, por lo que para poder consumirlas adecuadamente se le somete a un proceso de hervor, horneado o fritura (FAO, 2008).

El tubérculo en fresco presenta unas cuantías variables de sustancias en función de la variedad y la naturaleza de su crecimiento, mostrando los siguientes valores medios: agua (65 - 85 %), hidratos de carbono (15 - 28 %), proteínas (1 - 4 %), grasas (0,05 - 0,9 %) y cenizas (0,5 - 1,5 %), y teniendo otros componentes en una proporción menor como son los azúcares, polisacáridos no amiláceos, ácido ascórbico, enzimas, otras vitaminas, sustancias fenólicas, ácidos nucleicos, etc. (Alonso, 2002, p. 45).

En relación con la piel de la patata, considerada como un subproducto de la industria alimentaria, y debido a su contenido en compuestos bioactivos, se están realizando estudios de investigación para poder utilizarla como base de alimentos funcionales y/o nutraceuticos (CIDAF, 2014). Los compuestos bioactivos suelen presentarse en mayor concentración en la piel en relación con el resto comestible, tanto en la patata como en otros productos hortofrutícolas, y debido a su gran utilidad y a los importantes problemas medioambientales y de gestión que generan, se considera la alternativa de ser reutilizados por la industria alimentaria y farmacéutica (Tarazona & Aguayo, 2012). En la piel de la patata, se encuentran compuestos fenólicos tales como los ácidos fenólicos con sus derivados y el ácido cafeolítico, constituyendo este el 90 % de los compuestos fenólicos de la piel de la patata (Im et al., 2008), adquiriendo estos compuestos fenólicos efectos antioxidantes para conservar a ciertos alimentos de la oxidación de las grasas, como el aceite de soja o girasol (Zia-ur-Rehman, Habid & Shah, 2004; Koduvayur, Jacobsen & Nielsen, 2010; Amado, Franco, Sánchez, Vázquez & Zapata, 2014; Franco et al, 2016). Determinadas investigaciones se han realizado con relación a ciertos efectos beneficiosos que proporcionan los compuestos fenólicos de la piel del tubérculo en la salud humana, como son los efectos antioxidantes, antimicrobianos, anticancer y antiproliferativos (Leo et al., 2008; Singh & Rajini, 2008; Rodríguez, Hadley & Wolf-Hall, 1998). Otro aspecto interesante de la piel del tubérculo es su uso industrial en la elaboración de bizcochos mediante la utilización de harina de piel de patata, mejorando las propiedades sensoriales y texturales del delicioso manjar (Ben Jeddou et al., 2017).

Con respecto a la toxicidad, incluso mortal, que puede llegar a causar los glicoalcaloides tóxicos ya comentados, hay que señalar los posibles efectos beneficiosos sobre la salud humana sin son usados en bajas concentraciones, como es el caso de los efectos anticarcinogénicos ante concretas células cancerosas del ser humano (Friedman, Kim, Kozukue, Lee I. S. & Lee K. R., 2005).

Sería de interés reflexionar acerca del término subproducto, y utilizarlo como producto para la industria agroalimentaria y farmacéutica, debido a la gran utilidad de los tubérculos desde la perspectiva de la salud, nutrición y dietética, incorporando a estos sectores como un nuevo destino prioritario del cultivo de la patata.

1.3 Evolución de la superficie y producción del cultivo de la patata en el Mundo.

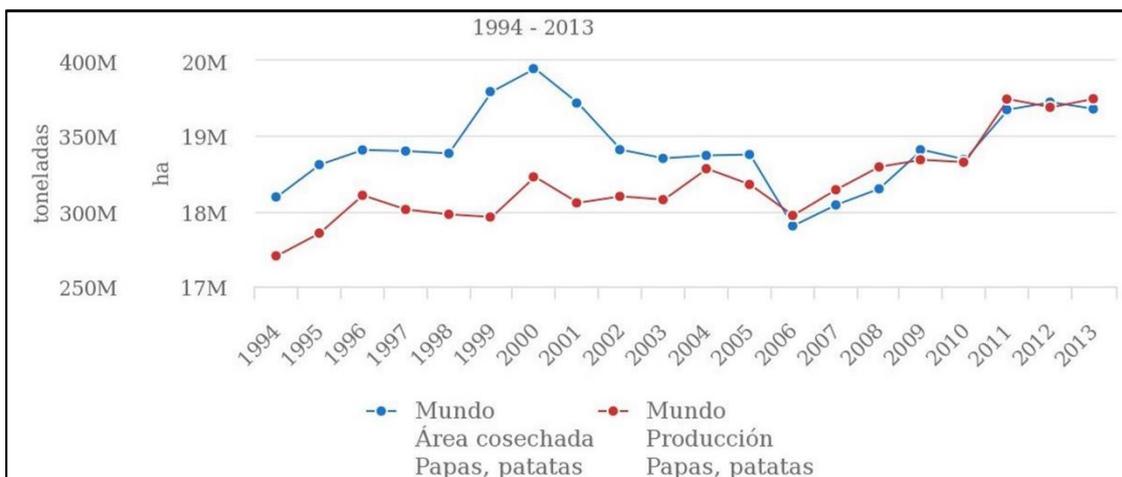


Figura 2. Evolución de la superficie cosechada y la producción de patatas en el Mundo.
Fuente: FAO (2013).

Analizando la Figura 2, desde mediados del año 2006 ha ido aumentando paralelamente las hectáreas y producción de este cultivo. En este periodo de tiempo posterior al 2006, incluso ha habido años en los que se obtuvieron mejores producciones bajando la superficie de producción. Estas mejoras de la producción disminuyendo el área de cosecha, son debidas a los progresos de la Ingeniería Agrícola, técnicas de producción aplicadas y ayudas económicas aportadas al sector.

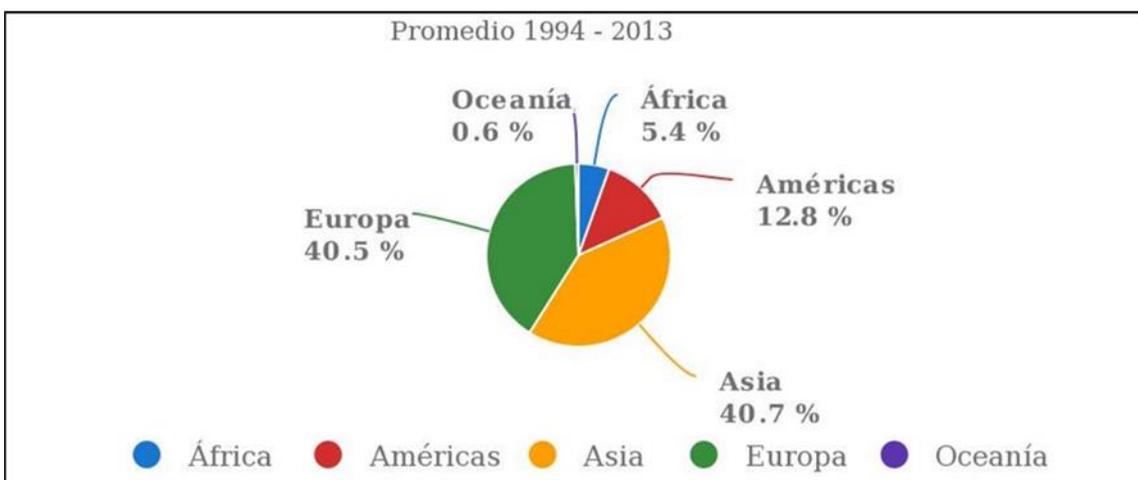


Figura 3. Proporción de la producción de patatas en el Mundo.
Fuente: FAO (2013).

De la observación de la Figura 3, se concluye el gran porcentaje de producción de patatas aportado por Asia y Europa con relación al resto de los Continentes del Mundo

entre los años 1994 y 2013, siendo el continente asiático el que acapara el primer lugar, aunque solo dos décimas por encima de Europa.

1.4 Evolución de la superficie y producción del cultivo de la patata en España y Andalucía.

Se puede observar en la siguiente Figura 4 el descenso de la superficie dedicada al cultivo de la patata en España en la unidad de miles de hectáreas, desde el año 1994 hasta el 2013, disminuyendo de forma paralela prácticamente la producción en la unidad de millones de toneladas en todo el rango de años, excepto en el año 2008 en el que hay un descenso pronunciado de la producción, y en el 2009 un aumento.

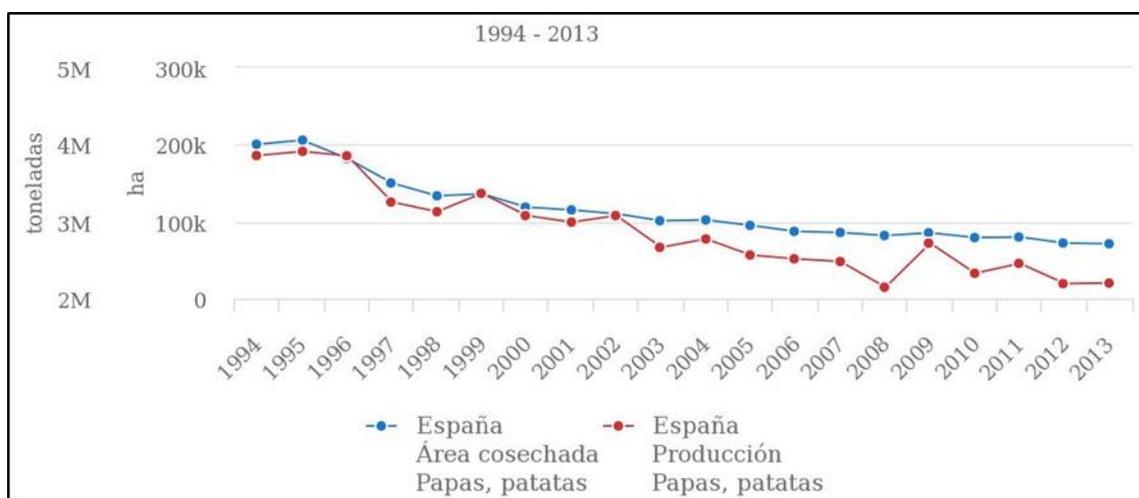


Figura 4. Evolución de la superficie cosechada y la producción de patatas en España.

Fuente: FAO (2013).

Los datos de superficie y producción representados en la siguiente Figura 5, corresponden al sumatorio de las categorías de patatas sembradas en Andalucía en el periodo de años señalado, siendo estas categorías las siguientes: patata extratemprana, patata temprana, patata de media estación y patata tardía. La variedad de patata de nuestro ensayo es la Spunta, perteneciente a la categoría de patata de media estación.

Se puede observar el descenso pronunciado de la superficie y producción del cultivo de la patata en la Comunidad Autónoma de Andalucía desde el año 2005. En todo el periodo de años desde el 2000 al 2013, el descenso de la superficie ha sido del 54,36 % frente a una caída de la producción del 53,30 %. En estos descensos han intervenido varios factores, como son los costes elevados del cultivo, restricciones del agua de riego en los periodos de sequía, contratiempos de mercados sufridos en diversas ocasiones y el escaso relevo generacional presente en la agricultura (Junta de Andalucía, 2015).

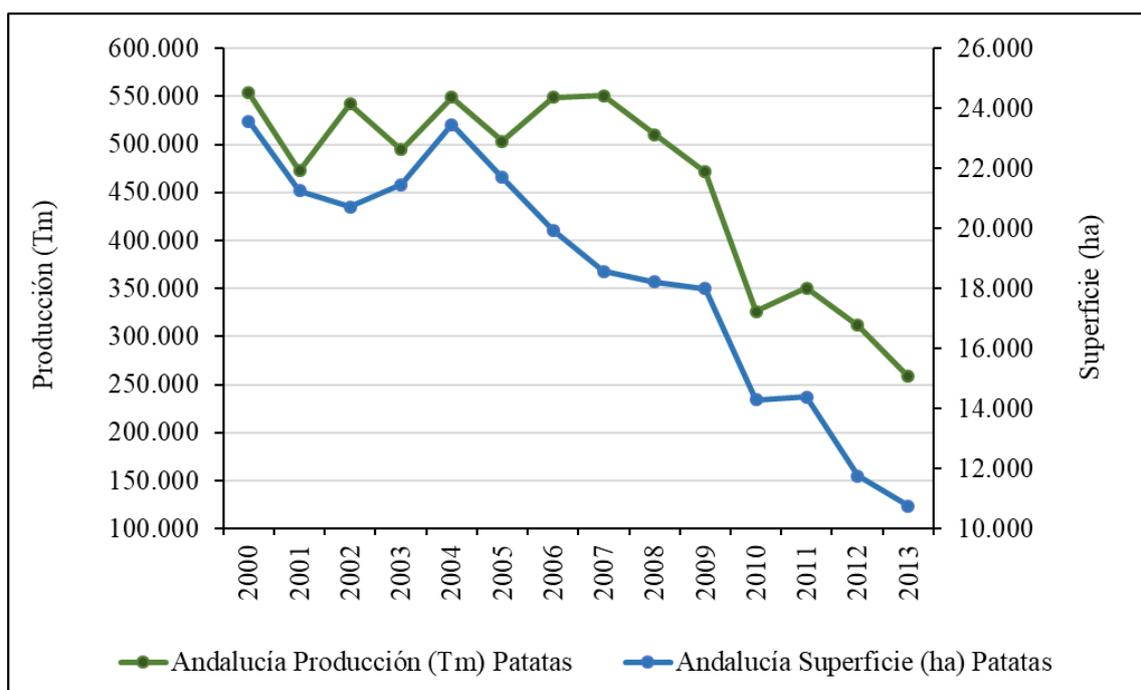


Figura 5. Evolución de la superficie y la producción de patatas en Andalucía.

Fuente: datos de la Junta de Andalucía, Informe patata en Andalucía (2015). Elaboración propia.

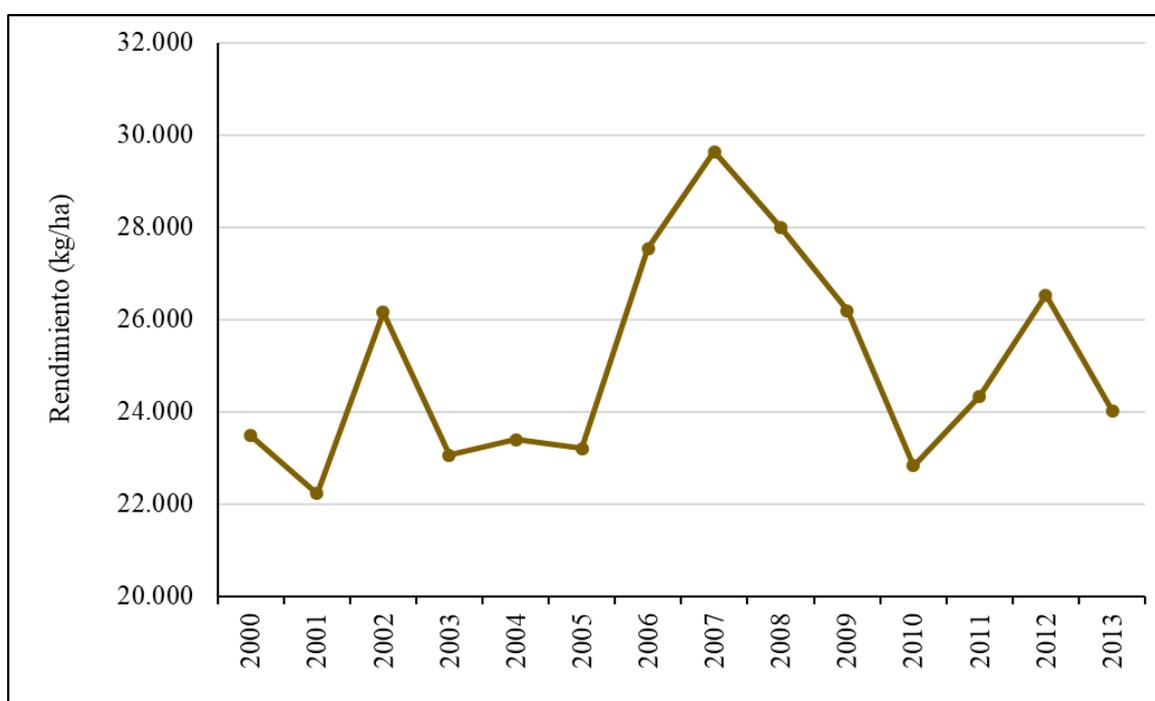


Figura 6. Evolución del rendimiento de patatas en Andalucía.

Fuente: datos de la Junta de Andalucía, Informe patata en Andalucía (2015). Elaboración propia.

En la Figura 6 presentada anteriormente, se puede observar tres aumentos destacados en el rendimiento de patatas para todas las categorías entre los años 2000 y 2013, con sus respectivos descensos. Los motivos de estos aumentos y descensos de los rendimientos entre los años 2000 y 2013, están relacionados con los sufridos por la superficie y producción del cultivo de la patata señalados anteriormente, más otros derivados de las ayudas percibidas por parte de las respectivas Administraciones competentes y provenientes, en definitiva, de la Unión Europea.

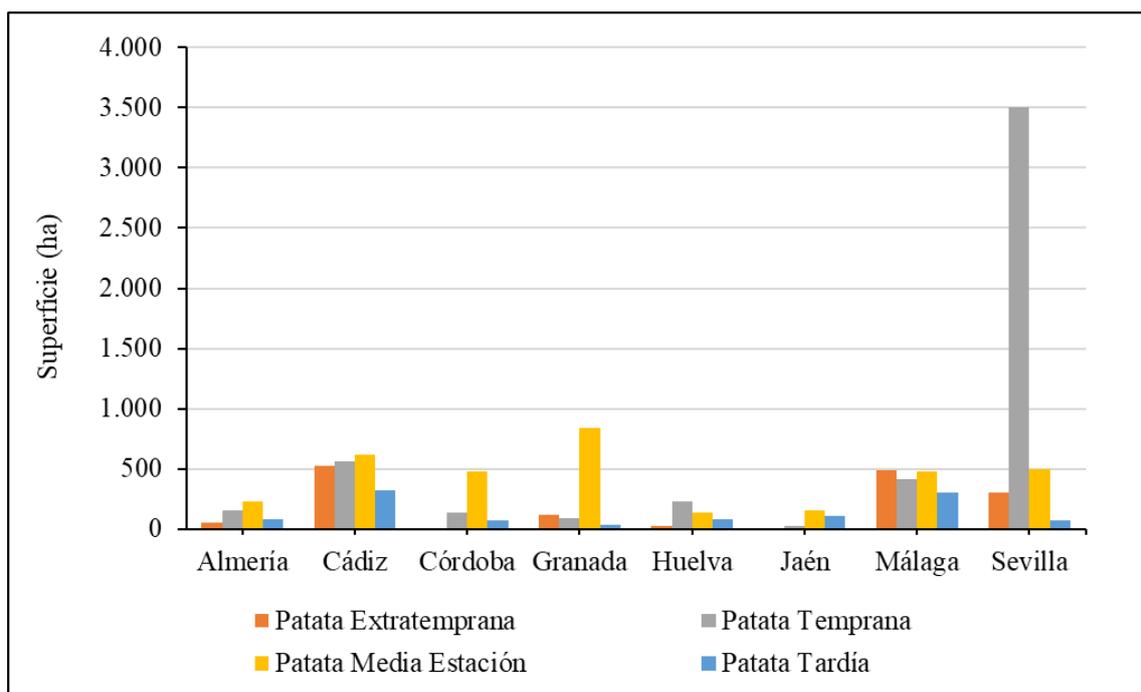


Figura 7. Distribución de la superficie cultivada para las diferentes categorías de patata en las provincias de Andalucía en el año 2014.

Fuente: datos de la Junta de Andalucía (2015). Elaboración propia.

Analizando la Figura 7, lo más destacable que se puede observar es la superficie dedicada al cultivo de la patata de la categoría temprana en la provincia de Sevilla, con un valor de 3.500 hectáreas, suponiendo el 80,09 % sobre el resto de categorías en la misma provincia de Sevilla. En el total de Andalucía, el porcentaje de la superficie de patata temprana con respecto al resto de categorías es del 46,01 %.

Contabilizando el total de todas las categorías de patata, el porcentaje de la superficie cultivada en cada provincia frente al total de Andalucía es de: Almería (4,60 %), Cádiz (18,21 %), Córdoba (6,19 %), Granada (9,69 %), Huelva (4,21 %), Jaén (2,53 %), Málaga (15,09 %) y Sevilla (39,48 %), siendo la provincia de Sevilla la que acapara la mayor superficie de cultivo con un valor de 4.370 hectáreas.

En el total de Andalucía, la superficie dedicada a la patata de media estación (en la cual se sitúa nuestra variedad Spunta) con respecto al total de categorías de patata o patata total, tiene un valor de 3.421 hectáreas frente a 11.068 hectáreas, suponiendo esto el 30,91 %.

Detallando por provincias (siguiendo el criterio del valor de la superficie de la patata de media estación, patata total y el porcentaje de la superficie de la patata de media estación con respecto a la patata total), los resultados son de: Almería (224 ha, 509 ha y 44,01 %), Cádiz (615 ha, 2.015 ha y 30,52 %), Córdoba (480 ha, 685 ha y 70,07 %), Granada (839 ha, 1.073 ha y 78,19 %), Huelva (136 ha, 466 ha y 29,18 %), Jaén (152 ha, 280 ha y 54,29 %), Málaga (475 ha, 1.670 ha y 28,44 %) y Sevilla (500 ha, 4.370 ha y 11,44 %).

Antes estos valores y en términos absolutos de hectáreas, la provincia andaluza con mayor superficie cultivada de patata de media estación es Granada. En segundo lugar, está la provincia de Cádiz. La tercera posición la ocupa Sevilla (en la cual se ha realizado el ensayo del presente TFG), seguida muy de cerca por Córdoba y Málaga.

En términos relativos en cuanto a la superficie de la patata de media estación con respecto a la superficie de patata total, la provincia de Granada se sitúa en primera plaza. En segundo lugar, está la provincia de Córdoba. La provincia de Sevilla se emplaza en la última posición.

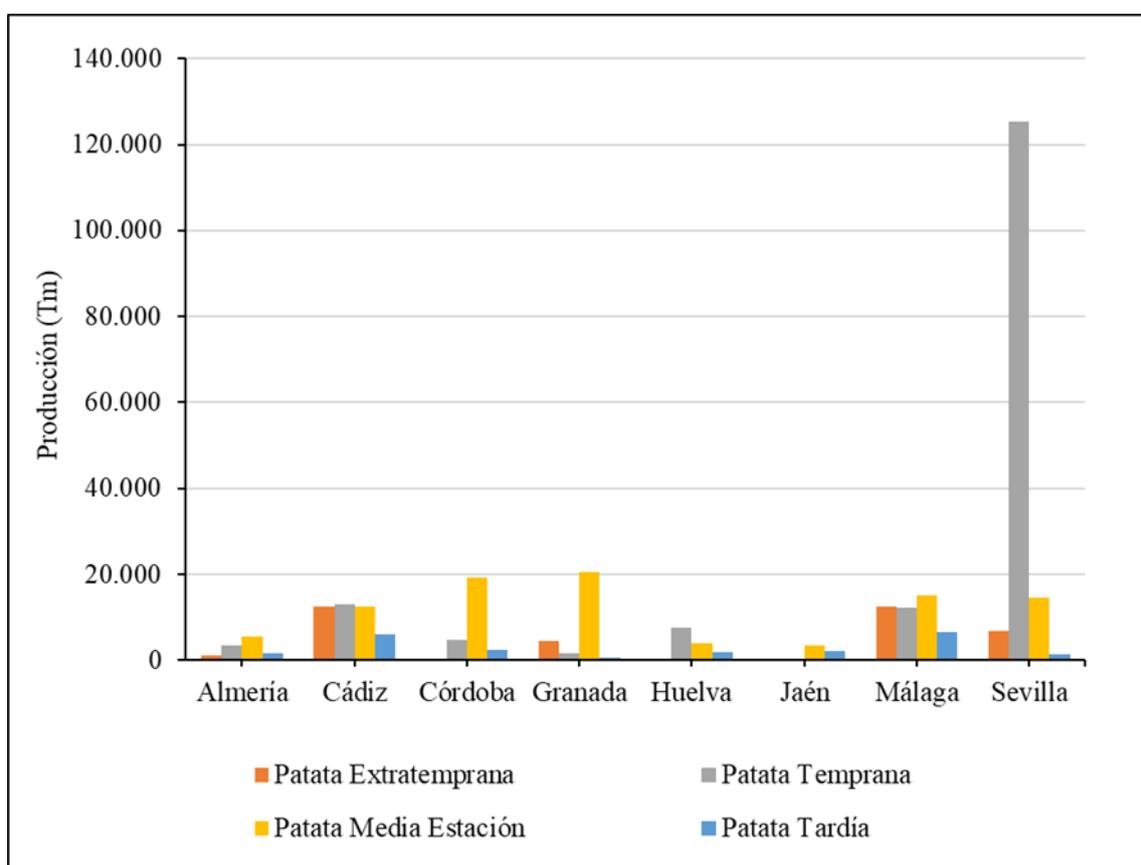


Figura 8. Distribución de la producción en toneladas para las diferentes categorías de patata en las provincias de Andalucía en el año 2014.

Fuente: datos de la Junta de Andalucía (2015). Elaboración propia.

Observando la anterior Figura 9, y al igual que ocurría con la superficie, lo que más resalta es la producción de patata de la categoría temprana (125.250 Tm) con respecto al resto de categorías (22.756 Tm) en la provincia de Sevilla, constituyendo el 84,62 %.

En la Comunidad Autónoma de Andalucía, el porcentaje de la producción de patata temprana con relación al resto de categorías es del 51,96 %.

Teniendo en cuenta el total de todas las categorías de patata, el porcentaje de la producción de cada provincia frente al total de Andalucía es de: Almería (3,51 %), Cádiz (13,59 %), Córdoba (8,14 %), Granada (8,45 %), Huelva (4,33 %), Jaén (1,89 %), Málaga (14,42 %) y Sevilla (45,68 %). Por lo tanto, la provincia donde se obtiene la mayor producción de patata, contabilizando todas las categorías, es la provincia de Sevilla (148.006 Tm).

En Andalucía, la producción de patata de la categoría media estación (94.971 Tm) en relación con la producción de la patata total o total de categorías (324.025 Tm), representa el 29,31 %.

Analizando por cada provincia andaluza (siguiendo el criterio del valor de la producción de la patata de media estación, patata total y el porcentaje de la producción de patata de media estación con respecto a la patata total, representa unos los resultados de: Almería (5.394 Tm, 11.367 Tm y 47,45 %), Cádiz (12.600 Tm, 44.050 Tm y 28,60 %), Córdoba (19.200 Tm, 26.375 Tm y 72,80 %), Granada (20.469 Tm, 27.375 Tm y 74,77 %), Huelva (4.012 Tm, 14.032 Tm y 28,59 %), Jaén (3.420 Tm, 6.110 Tm y 55,97 %), Málaga (15.200 Tm, 46.710 Tm y 32,54 %) y Sevilla (14.676 Tm, 148.006 Tm y 9,92 %).

De los valores obtenidos, en términos absolutos de producción de patata de media estación y por provincia, Granada se sitúa en el primer lugar, seguida muy de cerca por Córdoba. Málaga ocupa la tercera plaza, y muy próxima está Sevilla, que ocuparía el cuarto lugar. El quinto lugar le corresponde a Cádiz. En sexto lugar se encuentra Almería. En la séptima plaza está Huelva y en la última posición Jaén.

1.5 Características de la planta de patata.

En este apartado se estudian diversas características de la planta de patata, dividiéndolas en la taxonomía, la morfología y botánica, y en el crecimiento y desarrollo del tubérculo.

1.5.1 Taxonomía.

El género *Solanum* L. abarca aproximadamente 1.000 especies, siendo más de 100 especies tuberosas (Hawkes, 1990). Se continúa investigando en relación con el número de especies con el objetivo de seguir aproximándose al número real de ellas (Ochoa, 1979, 1990; Spooner & Salas, 2006), principalmente causado por la relación entre sí que se produce entre la mayoría de las especies (Hawkes, 1990; Ochoa, 1990; van den Berg et al., 1998; Sukhotu, Kamijima & Hosaka, 2006; Spooner & Salas, 2006; Spooner et al., 2007).

De los actuales estudios moleculares y morfológicos realizados, se concluye la clasificación de la patata en 190 especies distribuidas en cuatro clados (agrupación con un antepasado en común y todos sus descendientes extintos y vivos de ese antepasado), mostrando alta variabilidad y ciertas relaciones interespecíficas en comparación con las que Hawkes sugirió en 1990 (Spooner, Ballard, Jansky, Polgár & Rodríguez, 2008).

Hay que hacer una distinción entre la patata cultivada *Solanum tuberosum* L. y sus parientes silvestres *Solanum* L. sect. *Petota* Dumort (Hijmans & Spooner, 2001). La clasificación taxonómica de las especies de patata silvestre y cultivada sigue siendo compleja (Hijmans, de la Cruz, Guarino, Salas & Spooner, 2002; Hijmans, Bamberg, Jacobs & Spooner, 2003; Spooner, Bryan, del Rio & van den Berg, 2003; Spooner et al., 2004; Spooner & Salas, 2006; Spooner et al., 2007; Spooner et al., 2008) y continúa ocasionando discusión actualmente (Hijmans et al., 2002; Spooner et al., 2007). No existe todavía una distinción clara entre una y otra especie (Spooner & Lara-Cabrera, 2001; Spooner & Salas, 2006). Las dificultades de la clasificación taxonómica de ambas, radican en la aptitud para hibridarse de forma natural aun presentando apariencia muy dispar, ocasionando una alta variabilidad y dificultad para distinguirlas (Spooner & Salas, 2006).

Solanum tuberosum L., comúnmente conocida como patata o papa, fue descrita por Linneo en el año 1753, y pertenece a la familia de las Solanáceas, la cual abarca géneros tan dispares como *Nicotiana* L., *Lycopersicon* L. Mill, *Petunia* Juss, *Datura* L., *Mandragora* L., *Capsicum* L. y *Physalis* L. (Mateo, 1999, p. 66). Con este nombre científico de *Solanum tuberosum* L., se le denomina a la papa cultivada hoy día (Spooner & Salas, 2006; Andre et al., 2007).

En la siguiente Tabla 1 se puede observar la clasificación taxonómica de la patata cultivada, según el USDA (United States Department of Agriculture) y el NRCS (Natural Resources Conservation Service).

Tabla 1. Taxonomía de *Solanum tuberosum* L.

Posición taxonómica (USDA , NRCS , 2010)	
Reino	Plantas (Reino Vegetal)
Subreino	Tracheobiontes (plantas vasculares)
Superdivisión	Espermatófitas (plantas de siembra)
División	Magnoliophytes (plantas con flores)
Clase	Magnoliopsides (dicotiledóneas)
Subclase	Asteridae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Subfamilia	Solanoideae
Género	<i>Solanum</i> L.
Sección	<i>Pelota</i>
Subsección	Patata
Serie	Tuberosa
Especie	<i>Solanum tuberosum</i> L.

Nota. Fuente de datos: Canadian Food Inspection Agency (2015). Elaboración propia.

La taxonomía de la patata cultivada sigue generando controversia por el amplio rango de especies reconocidas por diversos autores (Huaman & Spooner, 2002), aunque con el punto en común de constituir una misma reserva genética (Spooner et al., 2005).

Existen dos teorías opuestas que crean polémica en la clasificación de la patata, siendo la primera la que clasifica a la patata en varias especies y que fue propuesta por Linneo en 1753 y adoptada por el Código Internacional de Nomenclatura Botánica, y una segunda que la clasifica en una sola especie con grupos distintos mediante el Código Internacional de Nomenclatura de Plantas Cultivadas (Spooner & Hetterscheid, 2005).

1.5.2 Morfología y botánica.

La morfología de la planta de patata varía considerablemente en función de la variedad, las condiciones climáticas y las técnicas de cultivo utilizadas (Grison, 1983).

Es una planta dicotiledónea, herbácea y anual, cuyos tubérculos carnosos se originan en los tallos subterráneos (Smith, 1968), perenne en cuanto a sus tubérculos (Mateo, 1999, p. 53), midiendo entre 0,4 a 1,4 metros de altura de forma completamente vertical e incluso pudiendo llegar a ser rastrera (Spooner & Knapp, 2013).

De manera similar al estudio realizado en este TFG de investigación, hemos distribuido la descripción de la planta de patata en sus diversas partes, siendo estas los tubérculos, la raíz, los tallos, los peciolos, las hojas, las flores y los frutos o bayas. Las flores y los frutos no han sido objeto de estudio en nuestro caso.

Se puede observar de forma general, la planta y sus distintas partes en la Figura 74 (ver ANEXO I).

1.5.2.1 Sistema radicular.

La raíz o sistema radicular de la planta de patata es fibrosa (Corey & Blake, 1953; De Roo & Waggoner, 1961; Lesczynski & Tanner, 1976) estando muy ramificado, siendo largas y finas, y si son plantas que se originan y desarrollan a partir de tubérculos madre, dan lugar a raíces adventicias originadas en los nudos de los tallos enterrados y en los estolones (Alonso, 2002, p. 44), es decir, se sitúan en la parte del tallo que se encuentra bajo tierra desde el tubérculo semilla hasta la superficie del suelo, motivo por el cual el tubérculo madre se tiene que plantar a una profundidad adecuada que posibilite una apropiada formación y desarrollo de las raíces y rizomas (Pontificia Universidad Católica de Chile, 1998).

La incapacidad de la raíz a introducirse hacia capas de la tierra más profundas es la causa del desarrollo más superficial de sus raíces (Miller & Martin, 1983). Cuando la patata se desarrolla en un suelo cuya resistencia de penetración es mayor a 1 MPa, disminuye su extensión (Bishop & Grimes, 1978).

De forma general, las raíces se desarrollan a una profundidad entre 40 y 50 centímetros, desarrollándose en la región superficial del suelo en las primeras fases del cultivo, extendiéndose posteriormente en profundidad y dejando de este modo libre de raíces la parte del suelo sobre la que está situada la planta (Alonso, 2002, p. 44), facilitando al tubérculo su formación, la recogida de muestras en los ensayos y la recolección.

Las raíces tienen un crecimiento rápido desde los primeros estados de desarrollo de la planta de patata hasta que se empieza a formar los tubérculos a mediados del ciclo de cultivo (Lesczynski & Tanner, 1976; Pontificia Universidad Católica de Chile, 1998),

por lo que a medida que la planta va madurando, va disminuyendo la densidad y la longitud del sistema radicular (Wright & Stark, 1990).

1.5.2.2 Tallos.

Los tallos se pueden decir que son aéreos y subterráneos. El tallo aéreo es donde se localizan los peciolo, las hojas, las flores y las bayas, siendo los tallos subterráneos los rizomas y los tubérculos.

1.5.2.2.1 Tallos aéreos.

Los tallos aéreos son gruesos, angulosos y resistentes, se engendran a partir del tubérculo madre plantado o tubérculo semilla madre, presentando una sección triangular y hueca al realizarse un corte transversal, siendo la base del tallo redonda y sólida, y considerándose como tallo principal si se origina directamente del tubérculo madre y como tallo secundario aquel que se origina muy próximo al tubérculo madre o desarrollados a partir de yemas apicales de forma sucesiva (Alonso, 2002, p. 42).

El diámetro de los tallos aéreos puede medir entre 5 y 19 milímetros (Spooner & Knapp, 2013), pudiendo ser tallos aéreos lampiños o muy pubescente, de color morado a verde y moteado (Canadian Food Inspection Agency, 2015).

1.5.2.2.2 Tallos subterráneos: Rizomas.

Los rizomas o estolones son tallos subterráneos que se generan a partir de nodos situados generalmente bajo el nivel del suelo en la base de los tallos, y a partir de estos rizomas se forman los tubérculos (Canadian Food Inspection Agency, 2015), pudiendo originarse hasta tres rizomas por cada nodo (Struik, 2007).

1.5.2.2.3 Tallos subterráneos: Tubérculos.

Los tubérculos son tallos subterráneos, al igual que los rizomas. El tubérculo es la parte de la planta de la patata, más concretamente del tallo, que se ha adaptado al acopio de reservas, pudiéndose reproducir a partir de él (Mateo, 1999, p. 44) de forma asexual. Las distintas formas de los tubérculos pueden ir desde ovoides a esféricos (Canadian Food Inspection Agency, 2015), presentando este carácter cierta variabilidad genética (Mateo, 1999, p. 63). Según Grison (1983), se puede clasificar las formas de los tubérculos en cuatro tipos: claviformes, oblongos (en el que se encuentra la variedad Spunta), redondeados y cilíndricos alargados. El color de la pulpa del tubérculo varía desde blanca a amarilla o azul, presentando una piel de diversos colores desde blanca a amarilla o tostada, y una textura de la piel rugosa, reticulada o lisa (Canadian Food Inspection Agency, 2015).

1.5.2.3 Hojas.

Al estudiar las hojas lo hacemos disgregándola en sus folíolos y el peciolo, al igual que lo hemos realizado durante el ensayo. En la siguiente Figura 9, se puede observar con detalle un dibujo de una hoja de la planta de patata.

Las hojas inician un acelerado crecimiento inicial una vez que ha tenido lugar la emergencia de los tallos (Pontificia Universidad Católica de Chile, 1998). Son hojas alternas, disponiéndose en el tallo de forma espiralada en el sentido izquierdo

(Artschwager, 1918), siendo las maduras compuestas imparipinnada (Alonso, 2002, p. 42; Mateo, 1999, p. 54) y pudiendo ser simples las basales (Pontificia Universidad Católica de Chile, 1998). El color de la hoja se mueve en el rango del verde medio a verde oscuro, midiendo entre 8 a 22 centímetros de longitud y de 5 a 13 centímetros de ancho, desde densamente pubescente a casi sin pelos (Canadian Food Inspection Agency, 2015) y presentando un mayor número de estomas en el envés que en el haz (Alonso, 2002, p. 42).

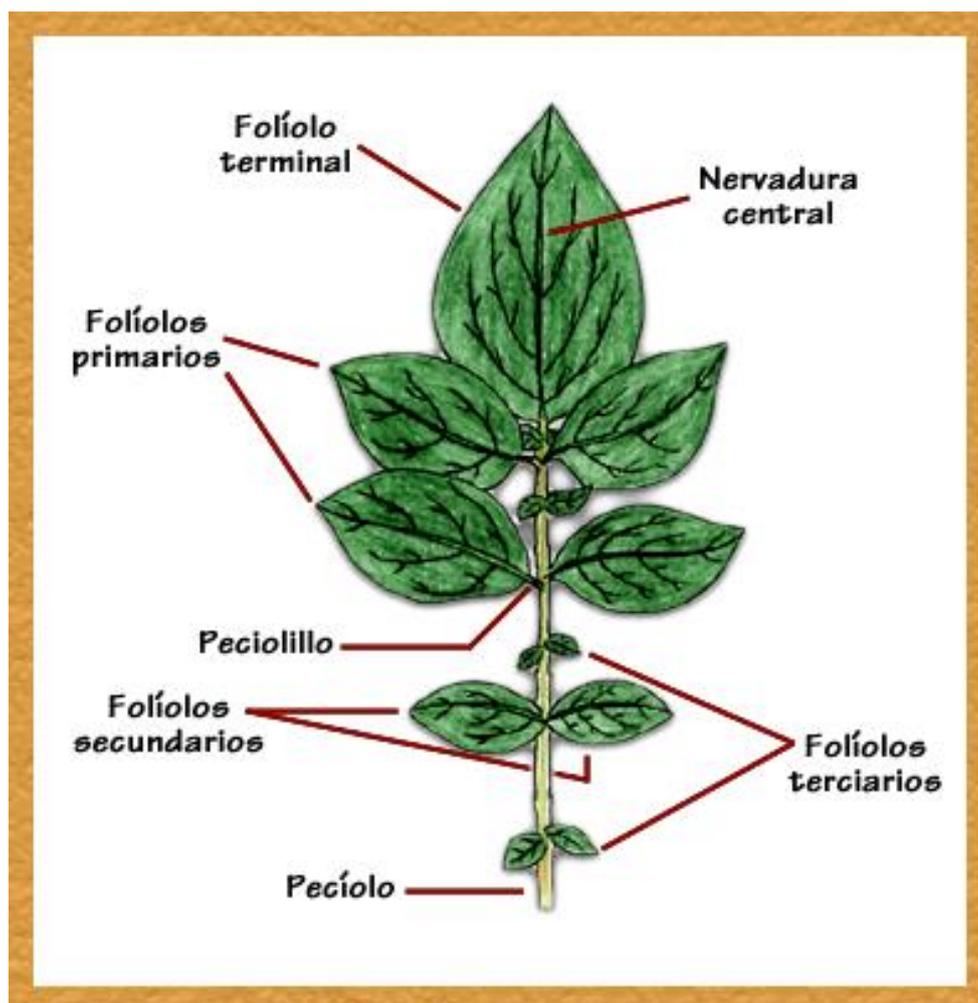


Figura 9. Hoja de la planta de patata.
Fuente: Pontificia Universidad Católica de Chile (1998).

La hoja está formada por uno número variable de folíolos, entre 5 y 15 insertados por pares en el raquis, terminando en un foliolo apical (Mateo, 1999, p. 54). Se clasifican como folíolos primarios, secundarios y terciarios (Pontificia Universidad Católica de Chile, 1998).

Los pecíolos miden de 2 a 6 centímetros de longitud (Canadian Food Inspection Agency, 2015), presenta una sección semicircular (Mateo, 1999, p. 54) y son pubescentes al igual que los tallos (Spooner & Knapp, 2013).

1.5.2.4 Flores e inflorescencias.

Las flores están sostenidas en una inflorescencia cimosa situada siempre en el final de un tallo (Mateo, 1999, p. 54), midiendo estas inflorescencias entre 5 y 11 centímetros de longitud, normalmente ramificadas y pudiendo contener hasta 25 flores (Spooner & Knapp, 2013; Struik, 2007). Un detalle de la flor se representa en la siguiente Figura 10.

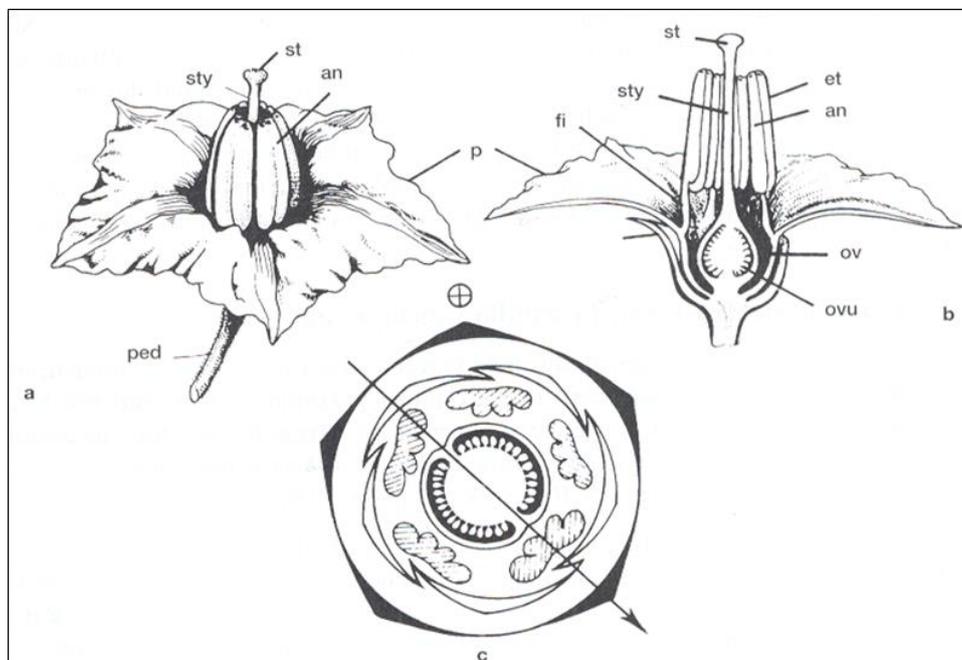


Figura 10. Estructura de la flor de la patata.

Leyenda: vista general (a), corte longitudinal (b), diagrama floral (c), anteras (an), estambres (et), estilo (sty), filamentos (fi), pétalos (p), pedicelo (ped), ovario (ov) y óvulos (ovu). Fuente: Mateo (1999, p. 57).

Son flores autógamas que no producen néctar y son escasamente frecuentadas por los insectos, por lo cual es muy poco probable la fecundación cruzada de forma natural (Mateo, 1999, p. 58). Son flores pentámeras y tienen un diámetro entre 3 y 4 centímetros (Canadian Food Inspection Agency, 2015), son actinomorfas y sustentadas por un pedicelo, presentando 5 sépalos, 5 pétalos, 5 estambres y 2 carpelos (Mateo, 1999, p. 57), aparentemente perfectas y con la misma longitud en su estilo (Sleper & Poehlman, 2006; Spooner & Knapp, 2013), midiendo en longitud los estambres 1 ó 2 centímetros y las anteras de 3 a 8 centímetros (Spooner & Knapp, 2013).

La gama de colores de la flor es variada, pudiendo ser blanca, rosa, lila, azul, púrpura o rojo púrpura (Canadian Food Inspection Agency, 2015), o variando desde el blanco al morado (Alonso, 2002, p. 43), con la posibilidad de presentar colores secundarios en forma de motas, bandas o estrellas (Spooner & Knapp, 2013).

1.5.2.5 Bayas y semillas.

La baya o fruto de la planta de patata es esférico u ovoide, teniendo un diámetro entre 1 a 3 centímetros (Mateo, 1999, p. 58), pudiendo llegar hasta los 4 centímetros (Canadian Food Inspection Agency, 2015). El color del fruto puede ser verde o pardo

violáceo, adquiriendo el tono amarillo en la madurez (Mateo, 1999, p. 58). También presenta frecuentemente manchas o franjas de color amarillo o morada (Spooner & Knapp, 2013; Spooner & Salas, 2006). Al contener glicoalcaloides, son tóxicas (Bailey E. Z. & Bailey L. H., 1976).

El contenido en semilla de la baya puede ser inexistente hasta contener cientos de ellas (Bailey E. Z. & Bailey L. H., 1976), aunque también se da el caso de la menor contención de semillas, estando en la cuantía de decenas (Mateo, 1999, p. 58). Las semillas son de estructura ovoide, miden en torno a los 2 milímetros de longitud, de color blanquecino a verdoso en estado fresco, y marrón en estado seco (Canadian Food Inspection Agency, 2015), presentando una textura mucilaginoso en estado húmedo (Spooner & Knapp, 2013).

En la práctica agrícola, la reproducción de la patata es escasamente realizada por medio de la semilla, aunque contrariamente es el más utilizado en la obtención de variedades (Mateo, 1999, p. 59). En este ámbito de la utilización de la semilla con fines genéticos para conseguir nuevas variedades de patata mediante determinadas investigaciones, una empresa de la ciudad estadounidense de California puede que haya conseguido suprimir la variabilidad fenotípica en la descendencia, siendo este el problema mayor que presenta el uso de la semilla desde el punto de vista comercial (Alonso, 2002, p. 43).

1.5.3 Crecimiento y desarrollo del tubérculo.

Estudiemos las distintas etapas en el crecimiento y desarrollo del tubérculo de la patata, en relación con la distribución de la materia seca (tubérculos, tallos y hojas) y el Índice de Área Foliar (IAF), a lo largo del ciclo de cultivo indicado como Días Después de Plantación (DDP). Se divide en cuatro etapas principales (Kleinkopf, 1982; Nelson & Hwang, 1975), representadas en la siguiente Figura 11 como etapa (I), etapa (II), etapa (III) y etapa (IV).

La primera etapa o etapa (I) tiene una duración variable entre 30 y 60 días, en función de la variedad, condiciones ambientales y prácticas culturales realizadas, existiendo un desarrollo vegetativo temprano hasta el inicio de la tuberización, y comenzándose a desarrollar los estolones, pero aún sin la presencia de tubérculo alguno (Wright & Stark, 1990).

En la etapa (II) comienza la tuberización en sí, aunque sin agrandarse los tubérculos, apreciándose un IAF o LAI entre 1 y 2 (Wright & Stark, 1990), y se observa como aparece un aumento de la materia seca de los tallos, las hojas y los tubérculos.

En la etapa (III) es donde se produce el mayor crecimiento de los tubérculos y del total de la materia seca. En condiciones óptimas de crecimiento, los tubérculos van aumentando, siendo este un periodo entre 30 y 60 días (Wright & Stark, 1990). Llegando al final de esta etapa, en torno a los últimos 5 días, se empieza a observar una disminución en el crecimiento de los tallos y las hojas, aproximadamente en el DDP 95. El aumento del IAF en estos últimos 5 días es muy leve, alcanzando en el DDP 100 su valor máximo, siendo algo inferior a 4.

En la etapa (IV) y última, comienza la senescencia de la planta y a perder hojas (Wright & Stark, 1990), generándose varios efectos. Por una parte, el IAF empieza a disminuir a partir del DDP 105, pero sobre todo a partir del DDP 110, llegando al final del ciclo con un valor menor a 1. Por otra parte, la materia seca de las hojas y los tallos comienzan a decrecer hasta el final del ciclo de forma prácticamente constante. Debido a la disminución del IAF y por consiguiente de la actividad fotosintética, la tasa de crecimiento del tubérculo también se ve disminuida (Wright & Stark, 1990). Sin embargo, se incrementa la materia seca de los tubérculos debido a la translocación de los nutrientes desde las raíces, los tallos y las hojas hacia los tubérculos de patata, produciéndose también una maduración en la piel del tubérculo (Wright & Stark, 1990).

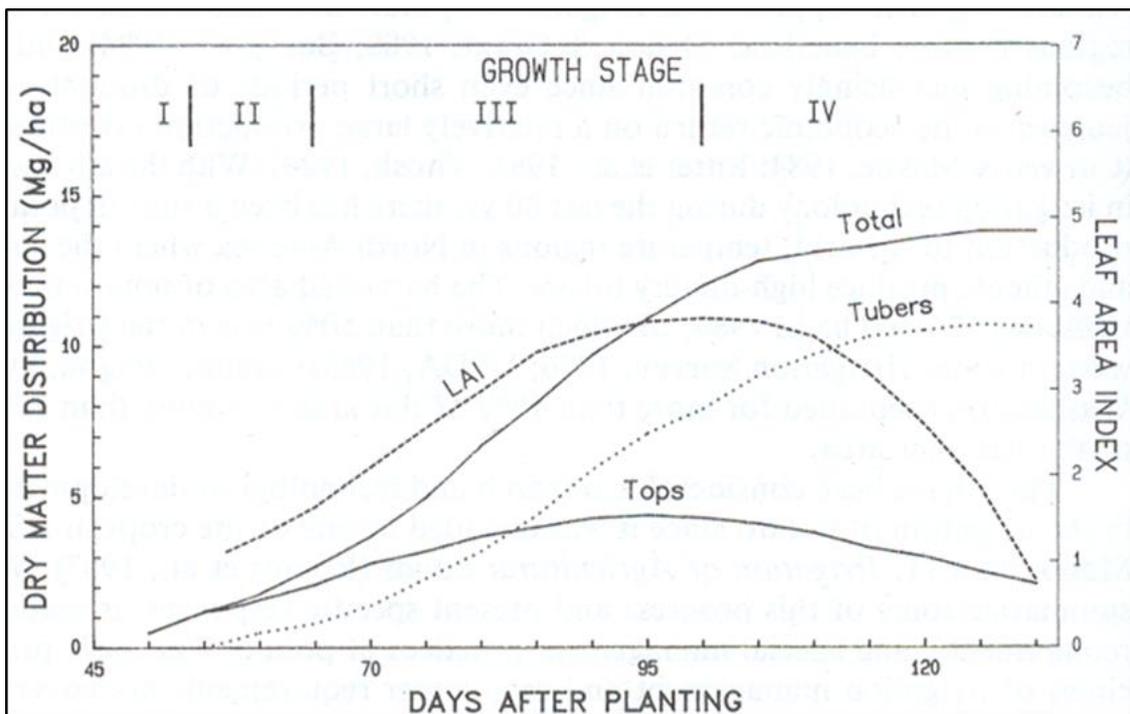


Figura 11. Diagrama de la progresión estacional en la distribución de materia seca de la parte superior (tallos y hojas), de los tubérculos, y del total (tallos, hojas y tubérculos), y el índice de área foliar (LAI) de la patata, con las etapas de crecimiento indicado.

Fuente: Kleinkopf (1982). Tomada de Wright & Stark (1990).

1.6 Nutrición y fertilización mineral.

En primer lugar, es de importancia señalar brevemente la distinción entre nutrición y fertilización mineral vegetal. La nutrición de las plantas se basa en conocer las cantidades minerales que las plantas absorben o extraen del suelo y el momento de la extracción. La fertilización es la práctica agronómica que consiste en saber las cantidades adecuadas de nutrientes minerales o fertilizantes a aplicar y el momento de su aplicación, durante el ciclo del cultivo en sus distintas fases.

La nutrición mineral es un factor muy importante para poder lograr un rendimiento óptimo de la patata, por lo que las cantidades de los nutrientes esenciales deben de estar en las cuantías necesarias y disponibles para las plantas.

Es interesante y conveniente conocer que los nutrientes esenciales se componen de macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes lo integran los elementos primarios (nitrógeno, fósforo y potasio) y los elementos secundarios (calcio, magnesio y azufre). Los micronutrientes u oligoelementos son el hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, molibdeno y cloro. Las pequeñas cuantías, aunque necesarias, de estos oligoelementos suelen estar presente en el suelo, estando normalmente de forma adecuada y disponible (Alonso, 2002, p. 53). Es de interés anotar la sensibilidad a la carencia de magnesio de la planta de patata, motivo por el cual se puede presentar amarillamiento en las nerviaciones de las hojas, produciendo incluso la muerte en los casos de carencias graves (Mateo, 1999, p. 373).

Para obtener unas óptimas producciones de patata, no solo se deben de tener en cuenta las extracciones de los nutrientes esenciales por parte del tubérculo, sino que además se deben de considerar las cantidades extraídas por el resto de la planta, sobre todo de la parte aérea. A modo general y según investigaciones de diversos autores, se pueden visualizar en la siguiente Tabla 2, centrándonos en los elementos primarios y el elemento secundario magnesio. Analizándola, se observa como las cuantías de N, P₂O₅ y K₂O extraídas por parte de los tubérculos son mayores en comparación a la extraída por la parte aérea de la planta, y ello es debido a que los tubérculos ejercen como grandes sumideros tanto de los fotoasimilados como de los nutrientes minerales, prestando especial atención a las cuantías del potasio (Oltra, Garmendia, Llopis & Mangas, 2006a).

Tabla 2. Extracciones en kilogramos de los elementos por cada tonelada de patata cosechada, según varios autores.

Fuente	Tubérculos				Parte aérea			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Ribó Herrero, M (2004)	2,48	0,97	6,20	0,37	2,50	0,39	5,04	1,41
	2,71	0,91	6,27	0,43	2,45	0,36	4,09	1,19
	2,75	1,31	5,57		2,20	0,59	4,08	
	2,88	1,36	5,44		2,31	0,62	4,28	
E. Ekeberg y HCF Riley (1996)	2,66	1,31	5,47		2,47	0,68	4,59	
	2,80	1,33	5,44		2,23	0,60	4,05	
	2,95	1,37	5,60		2,03	0,54	3,91	
Promedio (por Tm de tubérculo)	2,75	1,22	5,71	0,40	2,31	0,54	4,29	1,30

Nota. Datos obtenidos de la nutrición mineral de la papa (Oltra, 2006a). Elaboración propia.

En la planta de la patata existen una serie de factores que pueden influir de forma significativa en su nutrición mineral, tanto a nivel del suelo como de ciertos parámetros y condiciones ambientales. En relación con el suelo, un pH de 6-7 es el óptimo (Oltra, Garmendia, Llopis, Mangas & Martínez, 2006), aunque se adapta a pH superiores,

como es el caso del suelo del presente ensayo, e incluso de otros ensayos similares realizados por el IFAPA en distintas localidades andaluzas (Chipiona, Jerez de la Frontera y Alcalá del Río), en los que se obtuvieron buenos rendimientos. El contenido ideal de arcillas es aproximadamente del 20 %, y deben de ser suelos con una buena permeabilidad, por lo cual lo correcto es realizar un análisis fisicoquímico del suelo, sin dejar de resaltar la importancia del cúmulo y eficiencia de la radiación interceptada de la que depende la cantidad de materia seca producida por la planta (Alonso, 2002, p. 53), y el también fundamental factor del agua recibida, tanto en su calidad como en su adecuada cantidad repartida durante las distintas fases del ciclo del cultivo.

Realizándose una adecuada fertilización, influirá positivamente en la acumulación de la cuantía y porcentaje de la materia seca, parámetro que contribuirá sobre la calidad y el rendimiento de los tubérculos en la recolección (Saluzzo, Andrade, Echeverría, García & Huarte, 1999a; Saluzzo, Andrade, Echeverría & Huarte, 1999b).

La planta de la patata es una de la más exigente en cuanto a nitrógeno, fósforo y potasio (Mateo, 1999, p. 373), por lo que la nutrición y la fertilización mineral la vamos a enfocar a estos tres nutrientes esenciales, y con mayor detalle en relación con el nitrógeno, al ser un factor determinante en el rendimiento esperado, y por consiguiente al estar orientado el ensayo de investigación a la respuesta al riego y abonado nitrogenado.

1.6.1 Nitrógeno.

Este macronutriente es el factor determinante en el rendimiento final del cultivo, favoreciendo tanto el desarrollo de la parte aérea de la planta, como la formación y engrosamiento del tubérculo (Mateo, 1999, p. 373).

Las cantidades necesarias de nitrógeno están en función de las características del suelo, los residuos dejados por otros cultivos, los niveles residuales de nitrógeno que presenta el suelo y las prácticas de cultivo realizadas (Westermann & Kleinkopf, 1985a). Ensayos realizados han evaluado las cantidades de nitrógeno acumulado en el cultivo de la patata, variando entre 120 y 250 kg/ha, estando en función de la variedad, del tipo de suelo, zona y fertilizantes aplicados (Saluzzo et al, 1999a). Básicamente en este rango se sitúa la fertilización de nuestro ensayo, estando entre 189 y 260 kg de nitrógeno por hectárea, y como se estudiará posteriormente en el correspondiente apartado. Aportes medios de 240 kg/ha en el abonado de la patata, propició al aumento de este elemento en suelos del condado estadounidense de Malheur Country (Jensen & Simko, 1991), mientras que los tubérculos cosechados contenían una media de 146 kg/ha (Shock & Stieber, 1991), por lo que se aprecia un exceso en la fertilización del nitrógeno, aun sabiendo que en el resto de la planta es necesaria su presencia para su crecimiento y desarrollo.

La presencia de altas dosis de nitrógeno en el suelo tendría consecuencias negativas en el cultivo, tales como un retardo en la maduración y disminución del contenido de la materia seca de los tubérculos (Mateo, 1999, p. 374), alto contenido en azúcares reductores y proteínas, fundamentalmente si se realiza la recolección previa a su maduración natural (Alonso, 2002, p. 56). Cantidades adecuadas de nitrógeno son necesarias en el suelo en el momento de la plantación, pero su exceso en este instante podría retrasar la formación de los tubérculos e incrementar los de pequeño calibre (Kleinkopf, Westermann & Dwelle, 1981). La patata presenta un uso eficiente bajo en

relación con el nitrógeno (Dow & Roberts, 1982; Saluzzo et al., 1999b) por lo que es de vital importancia realizar una fertilización correcta, evitándose las pérdidas de este elemento con los consecuentes efectos negativos en el medioambiente y en la economía.

En la siguiente Figura 12, se observa de forma general e indicativa, la evolución de la curva de absorción del nitrógeno por la patata a lo largo del ciclo del cultivo, el cual fue aplicado en el momento de la plantación. Se refleja como el mayor porcentaje del nitrógeno aplicado es absorbido en la época que corresponde con la mayor cubierta vegetal y la madurez de la planta, que referenciado a la anterior Figura 11 correspondería con el final de la etapa (III) y el principio de la etapa (IV).

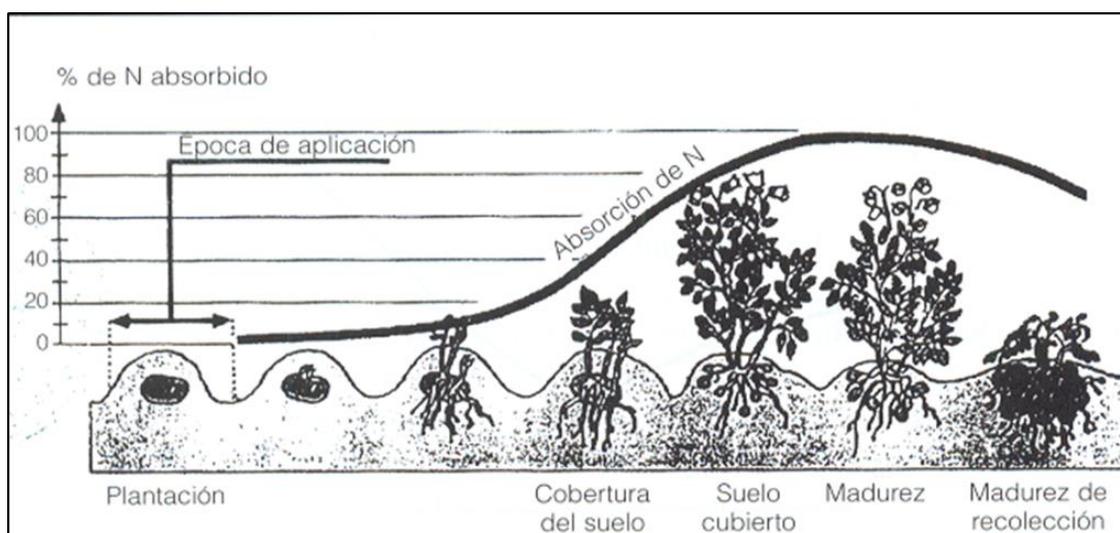


Figura 12. Curva de absorción de nitrógeno por la patata.

Fuente: Basf. Tomada de Alonso (2002, p. 58).

El nitrógeno, al igual que los días largos, la alta temperatura y la alta humedad, influye en la relación entre el desarrollo del follaje y el crecimiento de los tubérculos, por lo que las variedades cultivadas en estas condiciones y con la aptitud de generar mucha vegetación, podrían incluso consumir menos cantidades de nitrógeno que una variedad con menor capacidad de producción vegetativa, menor crecimiento y condiciones climáticas opuestas (Alonso, 2002, p. 57).

Por los diversos estudios y experiencias realizadas, se atestigua que los aportes de nitrógeno requeridos se realizan antes de la plantación y durante el ciclo del cultivo, pudiéndose programar las aplicaciones, en función de las necesidades, mediante el sistema de riego apropiado, como es el caso del sistema de riego por goteo con el cual se maneja la fertirrigación del ensayo experimental que se presenta. Estas aplicaciones, divididas antes de la plantación y durante el crecimiento del tubérculo de acuerdo con las necesidades del cultivo en vez de ser aportada en una sola aplicación previa a la plantación, dan como resultado una mayor producción de patatas, como así fue experimentado con la variedad Russet Burbank (Westermann, Kleinkopf & Porter, 1988). Además, dividir los aportes de nitrógeno durante el ciclo del cultivo, reduce las

pérdidas por lixiviación y disminuye el estrés del cultivo (Roberts & Cheng, 1985; Prunty & Greenland, 1997; King, Stark & Taberna Jr., 1999).

En suelos de textura arcillosa, se observaron incrementos apreciables en cuanto a la eficiencia del nitrógeno aportado en varias aplicaciones mediante el sistema de riego por aspersión para la variedad Russet Burbank (Saffigna & Keeney, 1977b; Saffigna, Keeney & Tanner, 1977). En suelos arenosos en Washington, aplicando el nitrógeno con aspersores de alta frecuencia, se obtuvieron eficiencias del 90 % en el uso del fertilizante (Lauer, 1985, 1986).

Se han realizado estudios sobre el contenido óptimo de nitrógeno en los peciolos de las hojas de la patata en la variedad Russet Burbank (Jones & Painter, 1974) y en las variedades Kennebec y Spunta (Echeverría, Giletto & Rattin, 2004). En estos estudios en Kennebec y Spunta, se han evaluado la concentración de nitrato en los peciolos en la primera hoja expandida totalmente, por lo que con su determinación se puede estimar el estado nutricional del cultivo y la fertilización a realizar (Roberts, Cheng & Farrow, 1989; Meyer & Marcum, 1998), valorándose las distintas necesidades a lo largo del ciclo del cultivo (Gardner & Jones, 1975; Saluzzo et al. 1999a), por lo que sería de utilidad en la programación del fertirriego en relación con las cantidades a aportar y su adecuado momento. Se han establecido recomendaciones para la concentración óptima del nitrato en los peciolos en determinados DDP, siendo entre el DDP 49 y DDP 64 de 15 a 20 g/kg, en el DDP 77 de 10 a 15 g/kg, y entre el DDP 91 y DDP 105 de 5 a 10 g/kg (Roberts & Cheng, 1988), coincidiendo estos dos últimos DDP con los marcados en nuestro ensayo.

Desde el punto de vista medioambiental, aportes excesivos de nitrógeno conlleva a la contaminación tanto del suelo como del agua, con la consecuencia de las marcadas Zonas Vulnerables (ZV). Estas pérdidas también se ven influenciadas por la textura y el contenido de materia orgánica del suelo (Whitley & Davenport, 2003).

1.6.2 Fósforo y potasio.

Normalmente, tanto el fósforo como el potasio deben de ser aportados a los suelos para obtener un buen desarrollo y crecimiento de la patata.

Los análisis edafológicos previos a la plantación, son los que nos indicarán los requerimientos tanto en uno como en otro (Painter, Johnson, Jones, McDole & Ohms, 1977), siendo de gran utilidad un control de las concentraciones de estos elementos en los tejidos vegetales durante el ciclo del cultivo (Lorenz, Fullmer & Tyler, 1964; Dow & Robert, 1982).

1.6.2.1 Fósforo.

Para realizar de manera correcta las aplicaciones, tanto de las cantidades como de los momentos adecuados, es imprescindible realizar un análisis del suelo previo a la fertilización. En función de los niveles de fósforo presentes en el suelo, se realiza un abonado de mantenimiento o de corrección, e igualmente para el caso del potasio que veremos posteriormente (Crosnier, 1987).

Realizándose muestreos en los peciolos de las hojas de la patata, se pueden determinar tanto las cantidades como el momento de aplicación de fósforo, al igual que sucede con el nitrógeno (Westermann & Kleinkopf, 1985b).

Aplicándose las cantidades de fósforo adecuadas se mejora la calidad de los tubérculos, al aminorarse el contenido de los azúcares reductores, la sensibilidad al pardeado enzimático y la susceptibilidad a los posibles daños, como es el caso del ennegrecimiento interno del tubérculo (Mateo, 1999, p. 373). Aportes apropiados beneficia el desarrollo radicular del inicio vegetativo, favorece el adelanto de la tuberización y realiza un desarrollo del cultivo más precoz, pudiéndose obtener mejores rendimientos, fundamentalmente en suelos con bajos contenidos de este macronutriente (Alonso, 2002, p. 59).

Dosis elevadas de fósforo, pueden ayudar a reducir la infección producida por virus en patatas de siembra y producen un aumento del número de tubérculos por planta (Alonso, 2002, p. 59).

1.6.2.2 Potasio.

El tubérculo de la patata desempeña la función de gran sumidero en relación con el potasio. Este nutriente esencial es imprescindible para la translocación de los azúcares y la elaboración del almidón en el tubérculo (Reis & Fontes, 1996).

El potasio influye beneficiando el desarrollo radicular, aumentando la resistencia a las heladas, incrementando la resistencia a la sequía al disminuir la transpiración, mejorando la resistencia a las enfermedades criptogámicas y contribuye más a la calidad de la producción que al rendimiento, mientras que aportes excesivos producen una disminución del peso específico de los tubérculos (Alonso, 2002, p. 60).

1.6.3 Magnesio y calcio.

El magnesio hay que tenerlo presente en la absorción por la planta, al disminuir su disponibilidad en relación con otros cationes cuando se administran altas dosis de potasio o de nitrógeno en forma amoniacal (Alonso, 2002, pp. 60-61).

Deficiencias de calcio provocan la no emergencia de los brotes a la superficie del suelo, y si emergen dan lugar a plantas raquílicas de manera abundante (Alonso, 2002, p. 61).

1.7 Riego: necesidades, programación y riego deficitario.

Anterior a la aplicación del agua mediante los actuales sistemas de riego en el cultivo de la patata y con la idea de prevenir los efectos negativos del déficit de agua, se recurría a la experiencia y observación tanto de la planta como del suelo de cultivo, aportándose mucha mayor cantidad de agua de la que necesariamente el cultivo requería, generándose pérdidas importantes del preciado elemento, por lo que la sola apariencia del cultivo de la patata no es un método apropiado para programar el riego (Dubetz & Krogman, 1973), y en parte puede ser debido a los menores síntomas de marchitamiento que presenta la planta en relación con otros cultivos (Nelson & Hwang, 1975). A esto se le unía el grave problema de los mayores aportes de nitrógeno, debido a la lixiviación que de él se producía, y las pérdidas económicas generadas consecuentemente. Estos excesos de riego con los nitratos se dirigen tanto hacia las

aguas subterráneas y acequias (Saffigna & Keeney, 1977a), como a los ríos, los pozos y sumideros diversos, con los consecuentes efectos negativos.

La aplicación del riego en este cultivo es tan importante que incluso en regiones con clima húmedo y subhúmedo su empleo reporta beneficios (Benoit & Grant, 1980; Bourgoin, 1984), poniéndose en peligro la rentabilidad económica del cultivo si la planta se ve afectada por fenómenos de sequía en reducidas etapas de su ciclo (Curwen & Massie, 1984; Ritter, Scarborough & Williams, 1985; Vitosh, 1984).

Actualmente, tanto el riego por aspersión como el riego por goteo son los más utilizados en nuestras condiciones para el cultivo de la patata, aunque el riego por goteo utiliza menos cantidad de agua en comparación al de aspersión (Waddell, Gupta, Moncrief, Rosen & Steele, 1999).

La utilización del riego por goteo se limitaba a zonas cuyas condiciones climáticas eran de aridez, como es el caso de Israel (Shalhevet, Shimshi & Meir, 1983), llegando a transformar estas zonas áridas o semiáridas en regiones productivas desde el punto de vista agrícola (Blass, 1973). El riego por goteo utilizado en el cultivo de la patata ha tenido resultados eficaces (Sammis, 1980; Dale, 1986; Malamud & Or, 1986). Ensayos realizados en el sureste de los EE. UU., han demostrado la rentabilidad económica del riego por goteo para la producción de patatas (Simonne, Caylor & Ouakrim, 2002), consiguiéndose una reducción de la lixiviación del nitrógeno, lo cual también resulta interesante para las zonas donde se pueden producir lluvias después del riego (Waddell et al., 1999, 2000).

En función de la cantidad de agua aplicada mediante el riego (W), se pueden realizar ecuaciones de predicciones aproximadas de la producción (Y) de los tubérculos en la recolección, como así fue estudiado en diversos ensayos, obteniéndose la función de producción lineal $Y = 0,142 W - 28,7$ (Hane & Pumphrey, 1984). En nuestro ensayo, se ha obtenido una ecuación polinómica predictiva de la recolección según el aporte total del agua para cinco tratamientos de riego con un tipo de abonado en el ciclo del cultivo, la cual puede ser estudiada en el apartado correspondiente.

1.7.1 Necesidades y programación del riego.

Son varios los métodos que se utilizan para determinar las necesidades de agua de riego para el cultivo de la patata, como la sonda de neutrones, los tensiómetros y métodos basados en las variables climatológicas. La sonda de neutrones propone la mejor combinación de ciertas características para controlar de forma adecuada el contenido hídrico del suelo (Campbell G. & Campbell M., 1982). Los resultados obtenidos mediante la utilización de los tensiómetros han sido satisfactorios en relación con el contenido de agua del suelo (Flocker & Timm, 1966; Dubetz & Krogman, 1973).

El método basado en las variables climatológicas ha sido el utilizado en la realización de nuestro ensayo experimental, por lo cual nos vamos a centrar en él. Basándose en los datos climáticos diarios para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_0) diaria utilizando la ecuación de Penman-Monteith (Allen, Pereira, Raes & Smith, 1998), y estimándose diariamente la evapotranspiración del cultivo (ET_c) mediante los coeficientes de cultivo tabulados (K_c) correspondientes a la zona durante la etapa inicial, media y final, se obtiene finalmente la ecuación $ET_c = K_c * ET_0$. Por lo tanto, este método utiliza la ET_0 y el K_c como una estimación del consumo de agua del cultivo (Burman, Nixon, Pruitt & Wright, 1980; Doorenbos & Pruitt, 1977; Jensen,

1974; Wright, 1981, 1982, 1985). La ET_0 está en función del clima (radiación, temperatura, humedad y velocidad del viento) y de la superficie de referencia (hipotética superficie de hierba de 0,12 m de altura con una resistencia al flujo de vapor de agua de $70 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1}$ y un albedo de 0,23), definida así por la FAO (1990). La ET_c varía en función de las condiciones meteorológicas y de la humedad de la superficie del suelo, así como a lo largo del ciclo del cultivo y la cobertura desarrollada, por lo que los valores de la ET_c se ven incrementados al aumentar el área foliar y la transpiración, obteniéndose valores de ET_c máximos justamente previa a la cobertura total efectiva (Wright & Stark, 1990).

La programación monitorizada del riego basado en los parámetros meteorológicos se lleva realizando desde hace varias décadas (Jensen, Pratt & Wright, 1971), y desde entonces se han experimentado y desarrollado diversas técnicas y programaciones orientadas al cultivo de la patata (Curwen & Massie, 1984; Larsen, 1984; Vitosh, 1984). Varios ensayos de investigación en la programación del riego, basado en estimaciones de la evapotranspiración, han demostrado su eficiencia al reducir el agua aplicada en el riego un 40 % en comparación a las aportaciones realizadas de forma convencional, manteniéndose el rendimiento y la calidad de la patata (Curwen & Massie, 1984). Se recomienda realizar una programación del riego dirigida a las etapas del ciclo del cultivo que sean más sensibles al estrés hídrico, más aún si el agua es un bien limitante en la zona (Hukkeri & Sharma, 1979; Martin & Miller, 1987).

En un suelo de textura media cuya agua disponible se haya reducido a un 35 %, aparece un leve estrés si no se le aplica riego en los 10 días posteriores, mientras que el estrés será grave si se retrasa el riego a 15 días (Larsen, 1984). Estudios realizados han dejado constancia de los efectos negativos de la realización de una inadecuada programación del riego, siendo en los suelos de textura arenosa más destacado en comparación a los de textura arcillosa (Miller & Martin, 1983). Suelos con la presencia de un marcado déficit de agua, podría conllevar a un menor rendimiento de la cosecha de patata (Porter, Bradbury, McBurnie, Opena & Sisson, 1999).

La patata es un cultivo sensible a las altas temperaturas y al estrés hídrico, por lo que un medio preventivo que propicie un adecuado crecimiento y desarrollo, con la consecuentemente obtención de buenos rendimientos en recolección, sería reducir ambos factores mediante el manejo del riego, como así fue estudiado por Burgers y Nel (1984), mostrando posteriormente los beneficios de la utilización del riego para tal fin.

Las cuantías del agua de riego para el cultivo de la patata, generalmente se han considerado elevadas debido a la alta sensibilidad al estrés hídrico, pero los datos contrastados evidencian menores necesidades en relación con otros cultivos tales como la alfalfa (600 a 1.500 mm), el maíz (400 a 750 mm) y la remolacha azucarera (450 a 850 mm), como así fue justificado por Doorenbos y Pruitt (1977). Estas cantidades comparadas con las necesidades medias obtenidas en nuestro ensayo (524 mm), verifica lo expuesto anteriormente. Ensayos realizados en la ciudad de Mesa (Condado de Arizona, EE. UU.), dieron como resultado un uso promedio del agua de riego de 617 mm (Erie, French & Harris, 1965). Un aporte excesivo de agua, acompañado de bajas temperaturas del suelo, pueden influir considerablemente en la aparición del color marrón y hueco del corazón de la patata (Hiller & Koller, 1984), afectando gravemente al rendimiento comercial.

1.7.2 Riego deficitario.

La estrategia del riego deficitario consiste en aplicar un menor aporte de agua al cultivo, y el pequeño estrés que desarrolle afecte rentablemente a la producción final (English & Raja, 1996). Ampliando aún más el concepto, mediante el manejo del riego deficitario se pretende aportar una menor cantidad de agua en las etapas donde el cultivo sea más resistente al estrés hídrico y aumentarlas en aquellas etapas del ciclo del cultivo donde sea más sensible a ese estrés, con los objetivos de obtener una producción más rentable en comparación a una aplicación equiparada a sus necesidades totales, mejores beneficios socioeconómicos, mantener e incluso mejorar la calidad nutricional y lograr un mayor valor sostenible de los recursos medioambientales. Cuando se realiza fertirriego deficitario, como sucede en dos de los tratamientos de nuestro ensayo, se está aplicando también una menor cantidad de fertilizante, con las consecuencias positivas que conlleva.

Diversos ensayos experimentales han ido mostrando resultados eficaces del riego deficitario en el cultivo de la patata. La variedad Russet Legend presentó tolerancia al riego deficitario en un ensayo realizado en el oeste de los Estados Unidos (Shock C. C., Shock C. A., Saunders, Kimberling & Jensen, 2003). En el estado de Oregón de Norteamérica, se ensayaron en cuatro variedades de patata en los años 1992, 1993 y 1994, tres tratamientos de riego (100 % de la ETc, y dos deficitarios al 70 % de la ETc y al 50 % de la ETc), siendo el del 50 % con la presencia de tubérculos, resultando una reducción del rendimiento de la cosecha menos marcado en el año 1993 (Shock, Feibert & Saunders, 1998).

Conocer de manera facultada las cantidades correctas a aplicar de agua en el riego deficitario es de gran importancia, debido a la sensibilidad considerable de este cultivo al estrés hídrico (Andersen et al., 2002; Kirda, 2002; Liu, Jensen & Andersen, 2004).

1.8 Interacción del riego con el abonado.

Cuando los niveles de agua y nutrientes son los adecuados para mantener la apropiada cubierta de la plantación durante la determinada época del ciclo del cultivo, es cuando se obtiene el máximo rendimiento de los tubérculos de patata (Westermann & Kleinkopf, 1985b).

Haciendo especial mención al nitrógeno, hay que resaltar la destacada importancia que tiene la interacción entre ambos factores (riego y nitrógeno) en el cultivo de la patata, influyendo tanto en el rendimiento y en la calidad de los tubérculos como en el medio ambiente, debido a las cantidades de nitratos y agua de riego aplicadas en función del manejo del fertirriego que se realice.

Teniendo en cuenta el enraizamiento superficial de la planta de la patata, el aplicar altas dosis de agua y nitrógeno suponen un elevado riesgo de pérdidas por lixiviación, presentando un gran interés en los nitratos (Roberts, Qubrosi & Rhee, 1991). Especialmente en las fases iniciales del crecimiento del cultivo, el déficit hídrico afecta en la concentración de los nitratos (Halseth, Minotti & Siczka, 1991).

La aplicación de todo el nitrógeno en la presiembra supondría mayores pérdidas por lixiviación, con la consecuente deficiencia del nitrógeno a lo largo del ciclo (Whitley & Davenport, 2003), por lo que habría que aportar nuevas dosis que constituirían un nuevo

exceso de nitrógeno. Además, al ser menores las necesidades de nitrógeno en las fases iniciales del cultivo, se estaría aumentando las cantidades aportadas (Errebhi, Birong, Gupta & Rosen, 1998) y los aportes de agua en el fertirriego.

Por lo tanto, una adecuada programación y gestión del fertirriego conlleva a una mejor interacción del riego con el abonado, con los consecuentes beneficios en el cultivo y los menores perjuicios socioeconómicos y medioambientales.

1.9 Tecnologías para la medida del estrés hídrico.

Cuando en el suelo sobre el que se desarrolla el cultivo existe poca disponibilidad de agua y se excede por la transpiración la cantidad de agua absorbida por las raíces, la planta entra en el estado de estrés hídrico (Munns & Tester, 2008). Una de las respuestas ante este estado de estrés, es el cierre estomático (Taiz & Zeiger, 2006), interviniendo en este cierre la hormona ABA o ácido abscísico (Leung & Giraudat, 1988; Zhang & Outlaw, 2001).

Las primeras investigaciones, sobre los efectos del estrés hídrico en el cultivo de la patata, resultaban concluyentes en relación con un efecto negativo en el crecimiento vegetativo y en una leve reducción de la producción final (Corey & Myers, 1955; Robins & Domingo, 1956). Estudios posteriores avanzaron y demostraron como incluso podía reducir la calidad y el rendimiento de los tubérculos si se sometían a periodos cortos de estrés hídrico (de Lis, Ponce & Tizio, 1964; Ruf, 1964; Nichols & Ruf, 1967; Singh, 1969; Miller & Martin, 1987), por lo que es presumible la alta sensibilidad a la sequía que presenta este cultivo (Harris, 1978; Van Loon, 1981), influyendo también en el grado de tolerancia a la sequía las variedades de patata cultivadas (Steckel & Gray, 1979). El sistema radicular superficial y limitado que posee, puede que influya marcadamente en la sensibilidad al estrés por estados de sequía (Jefferies, 1993).

Los efectos del estrés hídrico sobre el cultivo de la patata son mayores en relación con otros cultivos (Singh, 1969; Epstein & Grant, 1973), afectando tanto a la calidad como al rendimiento final en la recolección, y consecuentemente a la industria del procesado, a los recursos hídricos y a la economía del sector. Para prevenirlo o minorarlo de la manera más óptima y eficiente posible se manejan varias tecnologías, siendo de gran utilidad si son gestionadas conjuntamente. En nuestro ensayo hemos recurrido a la cámara de Scholander, termometría y NIRS, como queda reflejado posteriormente. Actualmente se sigue investigando con el objetivo de reducir sus efectos negativos lo más eficaz y rentablemente posible, y es en dónde el ámbito de la Ingeniería Agrícola se está involucrando cada vez más, acrecentándose en las investigaciones correspondientes. Varias investigaciones y efectos se describen a continuación.

El estrés hídrico sufrido por la planta de la patata afecta sobre determinados procesos fisiológicos. Se produce el cierre estomático cuando el potencial hídrico de la hoja está entre -0,8 y -1.0 MPa (Campbell M. D., Campbell G. S., Kunkel & Papendick, 1976; Ackerson, Krieg, Miller & Stevens, 1977; Shimshi, Shalhevet & Meir, 1983), de gran interés como medida de control del estrés hídrico mediante la cámara de Scholander y la posterior programación del riego. Este cierre de los estomas afecta sobre el crecimiento y expansión de las hojas, raíces y tallos (Boyer, 1970; Hsiao,

1973). El potencial hídrico en la hoja no disminuye de los -1.0 MPa si en el suelo se presenta unas óptimas condiciones de humedad, situación relacionada con la conductancia estomática y la irradiancia (Dwelle, Hurley & Pavek, 1983), pero si decrece por debajo de ese valor conlleva una disminución de la conductancia estomática de manera considerable, en respuesta a la caída del potencial hídrico (Ackerson et al., 1977), disminuyéndose consecuentemente la asimilación de CO_2 (Munns & Pearson, 1974; Moorby, Munns & Walcott, 1975; Ackerson et al., 1977; Shimshi et al., 1983) y reduciéndose el transporte de fotoasimilados desde las hojas hacia los tubérculos (Moorby et al., 1975; Munns & Pearson, 1974). Modificaciones pequeñas en el estado hídrico, reflejan una sensibilidad relativamente alta del crecimiento y desarrollo de la patata (Gandar & Tanner, 1976).

No se ha apreciado disminución en la calidad de la patata si el cultivo se ve afectado por un estrés hídrico antes de la formación del tubérculo (Shock, Burnett, Stieber & Zalewski, 1992), mientras que si ese estrés tiene lugar durante la formación del tubérculo, la planta se ve afectada apreciándose zonas oscuras en el tallo (Eldredge, Shock & Stieber, 1992; Eldredge, Holmes, Mosley, Shock & Stieber, 1996; Shock, Eldredge, Holmes, Stieber & Zhang, 1993).

Los tubérculos podrían comportarse como una reserva de agua cuando la planta está bajo condiciones de sequía (Kleinkopf, 1982), lo que podría hacernos pensar en esa misma actividad de almacén de agua bajo condiciones de estrés hídrico extremo, resultando en un menor rendimiento y calidad del tubérculo en recolección. Un estrés hídrico extremo durante la etapa (I), podría no ser recuperado por el tubérculo a lo largo de su formación, pudiendo ser suficiente en la pérdida de la rentabilidad final (Hang & Miller, 1986). Estudios realizados durante la etapa (II) del crecimiento del tubérculo, demostraron el efecto del estrés hídrico en el inicio de la tuberización, produciendo grietas y nudos (Nichols & Ruf, 1967; Thornton & Sieczka, 1980), retrasándose el inicio de la tuberización (Bradley & Pratt, 1955), disminuyéndose el número de tubérculos obtenidos por planta (Steckel & Gray, 1979) y en consecuencia afectando a la calidad, como se observó en la variedad Russet Burbank (Robins & Domingo, 1956; de Lis, Ponce & Tizio, 1964); Miller & Martin, 1987). Esta etapa (II) y el resto de etapas que se nombran, se puede observar en la Figura 11 estudiada anteriormente. En la etapa (III), el efecto del estrés hídrico se refleja más en el rendimiento que en la calidad del tubérculo (Larsen, 1984; Miller & Martin, 1987). Es conocida la importancia de poseer una apropiada área foliar fotosintéticamente activa para un adecuado crecimiento y formación del tubérculo (Moorby & Milthorpe, 1975), pudiendo verse reducida esa área foliar de manera considerable debido a los efectos del estrés hídrico (Van Loon, 1981), conllevando a una menor formación de nuevas hojas y entrando en la senescencia precozmente (Munns & Pearson, 1974; van der Zaag & Burton, 1978).

Un efecto importante del estrés hídrico que afecta a la calidad de los tubérculos es el conocido como punta translúcida y/o vítrea, punta oscura o punta azucarada, el cual hace que se disminuya el contenido relativo de almidón y se aumente el contenido de azúcar en el extremo basal del tubérculo (Thompson, Love, Shock, Sowokinos & Thornton, 2008). En el siglo pasado, una de las primeras investigaciones en relación con la punta oscura en la patata fue realizada por Penman (1929), proponiéndose años después como una consecuencia del estrés hídrico sufrido por la patata en fases tempranas de su ciclo (Murphy, 1936; Nielson & Spark, 1953; Kunkel, 1957; Kunkel & Gardner, 1959; Lugt, 1960). Sin embargo, durante el mes de mayo y primeros de junio,

los ensayos realizados no mostraron correlación positiva alguna entre el estrés hídrico y la punta azucarada (Shock et al., 1992). Por el contrario, el efecto del estrés hídrico como causa de la punta azucarada fue inducido en ensayos posteriores durante dos semanas a final del mes de junio (Iritani & Weller, 1973a, 1973b; Iritani, Weller & Russel, 1973), y demostrado posteriormente (Owings, Iritani & Nagel, 1978). También se han realizado ensayos sometiendo al cultivo a un estrés continuo durante todo su ciclo, observándose el efecto de la punta oscura (Painter et al., 1975; Shock et al., 1998, 2003), lo cual puede hacernos reflexionar sobre la influencia del estrés hídrico durante todo el ciclo del cultivo, y quizás teniendo un mayor efecto en la fase de la maduración del tubérculo.

Una vez que la planta de la patata se encuentra en el estado de estrés hídrico y se le somete al riego, la apertura estomática no es completa hasta aproximadamente 48 horas después, hecho que sucede en algunas variedades (Epstein & Grant, 1973), por lo que es de especial importancia este suceso en el buen funcionamiento fisiológico de la planta y en su consecuente rendimiento, lo cual es de un considerable interés en la programación del riego.

En consecuencia, se puede afirmar que el estrés hídrico afecta al cultivo de la patata reduciendo el rendimiento de la cosecha (Jones & Johnson, 1958), por lo que la rentabilidad económica se verá afectada si no se realiza adecuadamente una óptima programación del riego.

1.9.1 Termometría: termómetro infrarrojo y cámara termográfica.

Enfocando el concepto de la termometría a las plantas o cultivos, se entiende como la parte de la ciencia física dedicada a medir la temperatura (de las hojas, de la cubierta, etc.) mediante las técnicas instrumentales aplicadas (por ejemplo: termómetro infrarrojo y cámara termográfica), teniendo la gran ventaja de ser medidas no invasivas (Jones, 1999a; Grant, Chaves, Jones & Tronina, 2007; Fuentes, de Bei, Pech & Tyerman, 2012; Costa, Chaves, Lopes & Ortuño, 2012) o no destructivas de la muestra o parte de la planta medible.

En nuestro ensayo se ha utilizado dos técnicas instrumentales de termometría: el termómetro infrarrojo (conocido común y erróneamente como termómetro láser) y la cámara termográfica, que miden a partir de las radiaciones infrarrojas emitidas por los cuerpos. Por lo tanto, nos centramos en el estudio de estos dos métodos de medición de la temperatura en la planta o cultivo.

1.9.1.1 La radiación infrarroja en el espectro electromagnético.

En la siguiente Figura 13, se puede observar el rango de la radiación infrarroja (desde 780 nm ó 0,78 μm hasta 10^6 nm ó 1 mm ó 0,1 cm) en el espectro electromagnético.

La tecnología utilizada por la termografía (cámara termográfica) mide dentro de este rango de medición infrarroja, dividido a su vez en distintos rangos: NIR (infrarrojo cercano), SWIR (infrarrojo corto), MIR (infrarrojo medio) y FIR (infrarrojo lejano), siendo este último (FIR) donde más significativo es la medición (testo, 2010). Estas divisiones no son precisas y pueden variar mucho dependiendo de la publicación.

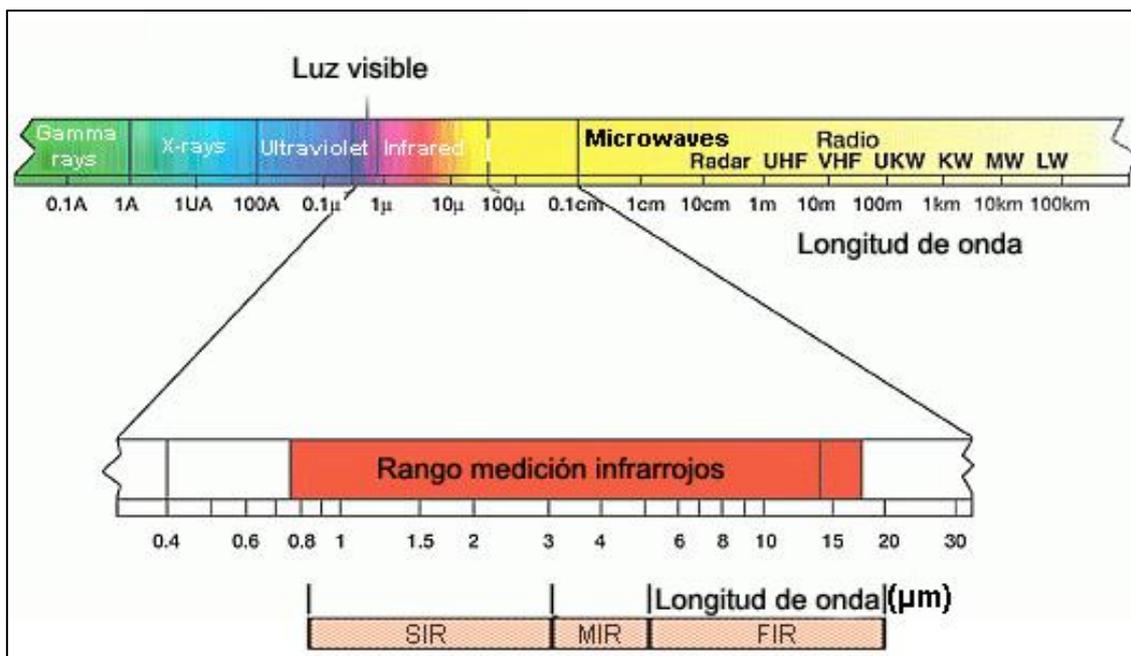


Figura 13. Rango de medición infrarroja de la tecnología termográfica en el espectro electromagnético. Fuente: testo (2010).

En general, los objetos emiten radiación en todo el espectro infrarrojo, pero a veces solo una región limitada dentro de este espectro es de interés, debido a que los sensores utilizados solamente reaccionan a una banda específica.

1.9.1.2 Origen y evolución de la radiación infrarroja y termografía.

Los estudios sobre la luz de Newton en el 1672 y las siguientes investigaciones realizadas por Herschel al inicio del siglo XIX, permitieron descubrir la radiación infrarroja (Herschel, 1800). A partir de entonces continuaron las investigaciones en este tipo de radiación, por medio de los científicos Robert Bunsen, Gustav Kirchhof, James C. Maxwell, Heinrich Rudolf Hertz, Josef Stefan y Ludwig Boltzmann, Max Planck y otros, sirviendo de base para la actual termografía (testo, 2010).

En el primer cuarto del siglo XX, se logra medir la radiación infrarroja, pudiéndose convertir automáticamente en temperatura años más tarde, la cual fue utilizada en la Segunda Guerra Mundial, y sacándose al mercado las primeras cámaras termográficas con fines civiles en el 1960 que, por medio de la evolución tecnológica, se obtienen las presentes hoy día con precios asequibles y excelentes prestaciones (testo, 2010).

1.9.1.3 Utilidad de la termometría para el manejo del estrés hídrico y el riego.

El objetivo del estudio de la temperatura en las plantas es establecer unos criterios de riego, relacionando la temperatura medida con el estrés hídrico expresado por las plantas del cultivo.

Cuando las plantas se encuentran en el estado de estrés hídrico, se produce un aumento de su temperatura, disminuyendo la conductancia estomática del agua y disminuyendo la transpiración, pudiendo existir una gran diferencia entre la mayor temperatura de la planta con respecto a la temperatura del aire (Wang, Cooley, Moran,

Wheaton & Yang, 2010). Aunque en un principio la mejor forma de realizar un índice de estrés hídrico es relacionando varios factores, como la temperatura de la cubierta de la planta y la del aire circundante, la radiación neta, la velocidad del viento y el déficit de presión de vapor (Jackson, Idso, Pinter & Reginato, 1981), con la medición de las temperaturas en la cubierta o en las hojas de la planta, registrando cubiertas u hojas totalmente transpirables y no transpirables, sería una medida adecuada en la medición del estrés hídrico en las plantas del cultivo (Jones, 1999a; Jones et al., 2002; Moller et al., 2007), pudiéndose aplicar el riego considerado y controlarse los niveles de estrés hídrico. Esta finalidad se ha investigado con el objetivo de diseñar un sistema de riego automatizado, utilizándose como base la termografía infrarroja (Jones, 1999b, 2004a).

Es de interés tenerse en cuenta el valor de la emisividad (proporción de la radiación térmica emitida por la superficie medible, en nuestro caso la cubierta u hoja de la planta, debida a su temperatura) en la toma de la temperatura mediante termometría en la planta, la cual se puede ajustar correctamente y de manera fácil tanto en el termómetro infrarrojo como en la cámara termográfica. Las cámaras térmicas de banda estrecha, en comparación con las de banda ancha utilizadas con anterioridad, permiten medir la emisividad a temperaturas muy estables, aportándonos datos de temperaturas muy precisas (Schlerf et al., 2012). En muchos ensayos realizados con la termografía para la medida de la temperatura en la fruta, se ha tomado el valor de la emisividad del agua (0,98), mientras que en otras ocasiones se ha tomado de los estudios realizados con anterioridad (Hellebrand, Beuche & Linke, 2001). Lo más adecuado, tanto para la medida de la temperatura en la fruta o en las hojas o cubierta del cultivo, es ajustarla manualmente, ya sea por los valores tabulados, con el uso de un termómetro de contacto o mediante la utilización de cinta adhesiva de una cierta emisividad (por ejemplo, de 0,95), siendo estas tres formas las más habituales (testo, 2010).

La arquitectura de las plantas del cultivo puede influir en el registro de la medida de la temperatura realizada en la cubierta, al poder medirse temperatura fuera del rango vegetal (Jackson et al., 1981), aunque con la termografía y su posterior tratamiento informático adecuado, se puede seleccionar las partes de la planta de las que se quiere obtener su valor térmico, evitándose de esta forma capturar temperaturas que conducirían a error (Leinonen & Jones, 2004; Moller et al., 2007).

Midiéndose la radiación infrarroja de la cubierta de un cultivo, se puede establecer un indicador del estrés hídrico de las plantas (Jackson, 1982; Jones, 1999a; Merlot et al., 2002; Jones et al., 2002).

Durante las últimas décadas, se ha estudiado el uso del termómetro infrarrojo y la termografía infrarroja como herramientas útiles en la detección del cierre estomático, y poder evaluar de forma indirecta el estado hídrico del cultivo, obteniéndose resultados potencialmente útiles (Costa, Chaves & Grant, 2013; Jones, 2004b).

1.9.1.4 Termómetro infrarrojo (“láser”).

Se han realizados estudios de tomas de medida con el termómetro infrarrojo en la cubierta de las plantas para el control del estrés hídrico, obteniéndose resultados eficaces (Jackson et al., 1981; Howell, Davis, Hatfield & Yamada, 1984; Sadler, Camp, Evans & Millen, 2002; Falkenberg, Cothren, Leskovar, Piccinni & Rush, 2007), y a partir de ellos poder gestionar la programación del riego (Wanjura, Mahan, &

Upchurch, 1995; Evett, Howell, Schneider, Upchurch & Wanjura, 1996; Upchurch, Burke, Chapman, Mahan & Wanjura, 1998; Peters & Evett, 2007; O'Shaughnessy & Evett, 2010).

Mediante el uso del termómetro infrarrojo, se obtienen valores de temperaturas en las hojas o la cubierta de un cultivo de forma sencilla, proporcionándonos una estimación del estado hídrico del cultivo (Johns, Beard & van Bavel, 1981).

Para la obtención de buenos resultados de la temperatura medida en la cubierta de un cultivo utilizando el termómetro infrarrojo, el 75 % del suelo donde se desarrolla debe de estar cubierto (Kirkham, 1985), por lo que la utilización de este instrumento de medida y técnica aplicada se adapta adecuadamente a los cultivos hortícolas (Throssell, 1985), como es el caso del cultivo de la patata del ensayo realizado en este TFG (Trabajo Fin de Grado).

1.9.1.5 Cámara termográfica (termografía).

Son varios los estudios de investigación donde se confirma la utilidad de la obtención de la temperatura mediante la cámara termográfica en las hojas o cubierta de los cultivos, para establecer unos criterios en relación con su estado hídrico. En este sentido, el uso de imágenes térmicas (termografía) representa un progreso sustancial en la monitorización del estado hídrico del cultivo y, por tanto, del estrés hídrico en condiciones de campo.

Mediante la obtención de imágenes térmicas o termografía, se permite determinar la temperatura foliar y de la cubierta del cultivo, la cual está relacionada con la transpiración y su estado hídrico (Jackson et al., 1981; Jackson, Choudhury & Kustas, 1988), siendo de gran utilidad en el control del estado hídrico y estrés hídrico de los cultivos, lo que hace de esta tecnología un instrumento útil para la gestión del agua aplicada (Yu, Kon, Matsuoka, Miwa & Nakayama, 2000; Pou, Baluja, Diago, Medrano & Tardaguila, 2014).

La temperatura asistida por ordenador medida en la cubierta de la planta es útil para la estimación de la ET_c (Stockle & Hiller, 1994), por lo que esta afirmación confirma la tendencia actual a la utilización de la termografía para realizar controles del estrés hídrico mediante la programación del riego.

La alta resolución que nos aportan las cámaras térmicas de última generación, nos proporciona la suficiente precisión para el registro de temperaturas útiles tomadas de la cubierta de cultivos en hileras (por ejemplo, en árboles frutales y en vides), siendo eficazmente provechosa en la gestión del riego (Berni, Fereres, Suarez & Zarco-Tejada, 2009; Zarco-Tejada, Berni & González-Dugo, 2012).

La detección térmica proximal es una herramienta de gran utilidad para la estimación del estado hídrico de la planta, como así lo han demostrado diversos estudios realizados en el cultivo de la vid (Jones et al., 2002; Grant et al., 2007; Fuentes et al., 2012; Pou et al., 2014), del maíz (Zandonadi et al., 2005), del algodón (Padhi, Misraa & Payerob, 2012) y de la fresa (Grant et al., 2012).

Investigaciones realizadas en España, han evaluado la correlación existente entre el índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI, las siglas en inglés de Crop Water Stress Index) y el potencial hídrico foliar, tomando temperaturas de la cubierta del cultivo (Bellvert, Fereres, Girona & Zarco-Tejada, 2014), siendo una técnica potencialmente

útil en la programación del riego (Bellvert, Girona, Marsal & Zarco-Tejada, 2015; Bellvert et al., 2015).

Estudios con imágenes térmicas aéreas e imágenes multiespectrales ensayadas en el cultivo de la vid, han informado de la respuesta hacia diferentes tratamientos de riego, utilizándose en la programación del riego y en la selección de altos rendimientos (Zúñiga, Jacoby, Khot & Sankaran, 2016).

1.9.2 Espectroscopía en el Infrarrojo Cercano (NIRS).

El contenido de agua en la hoja o en la cubierta vegetal, también puede ser estimada usando medidas de reflectancia en diferentes regiones del espectro electromagnético, como por ejemplo en el infrarrojo cercano (NIR), en el infrarrojo cercano de onda corta (SWNIR), o en el infrarrojo medio (MIR). Las medidas de estos espectros mediante teledetección han sido altamente correlacionadas con el contenido de agua en la vegetación o en el suelo (Tucker, 1980; Hunt & Rock, 1989).

En contraste con la espectroscopía de MIR, la de NIR es menos útil para la identificación, y más útil para el análisis cuantitativo de compuestos que contengan agrupaciones funcionales con hidrógenos unidos a carbonos, nitrógenos y oxígenos. Estos compuestos se pueden determinar a menudo con exactitudes y precisiones más semejantes a las de espectroscopía UV/visible que a las de espectroscopía de MIR.

Los espectros asociados con el estrés hídrico de las plantas son únicos y deben ser medidos en regiones específicas del espectro. Esto es apoyado por diversos estudios que demuestran la superioridad de índices espectrales sobre otros métodos o técnicas.

Se puede catalogar el NIRS como una técnica de huella digital fundamentada en las propiedades físicas y químicas de la muestra o zona medible que se quiere estudiar, seleccionando y compilando una serie de medidas en el espectro del infrarrojo cercano o también llamado NIR (Deconinck, Bothy, Courselle, De Beer & Desmedt, 2014; Custers et al., 2015; De Luca et al., 2016).

1.9.2.1 Conceptos previos.

Primeramente, es interesante distinguir los conceptos de NIR y NIRS:

- NIR (Near Infrared o Infrarrojo Cercano) es el rango del espectro electromagnético comprendido entre los 780 nm y los 2.500 nm, como se puede observar en la siguiente Figura 14.
- NIRS (Near Infrared Spectroscopy o Espectroscopía en Infrarrojo Cercano) es la tecnología o metodología instrumental utilizada para analizar las radiaciones de los cuerpos en el espectro del infrarrojo cercano.

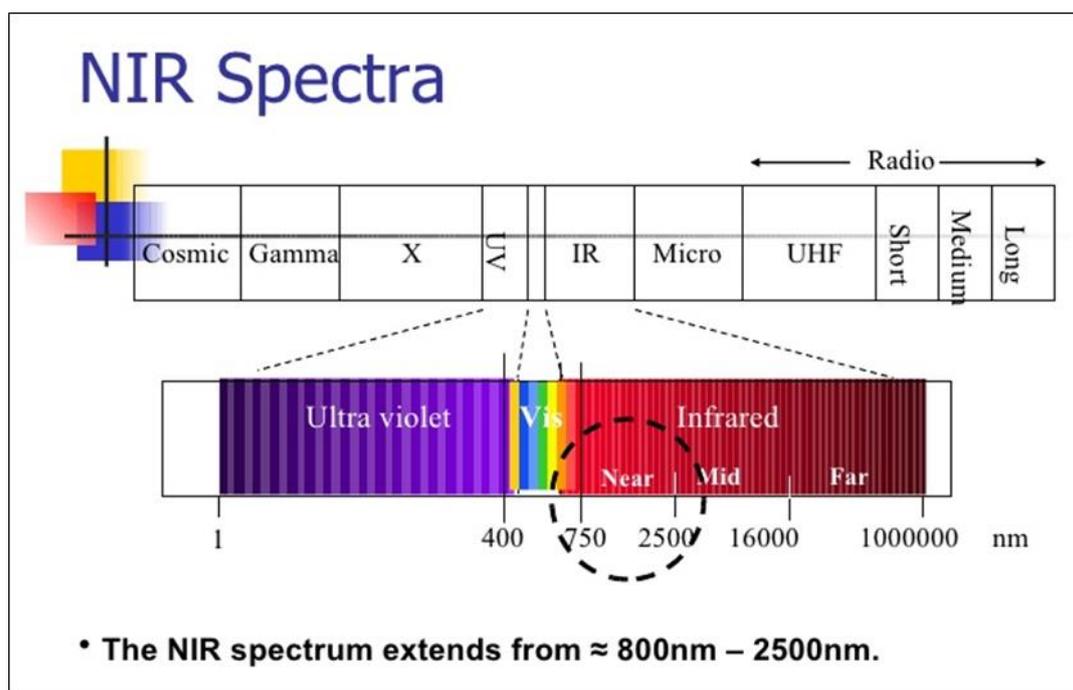


Figura 14. Espectro NIR en el rango de la luz en función de la longitud de onda.

Fuente: Applications of NIRS In Feed Industry (Ferosekhan, 2009).

1.9.2.2 Origen y evolución.

El descubrimiento del espectro NIR fue llevado a cabo por el músico y científico germano-británico Frederick William Herschel en torno al año 1800 (Herschel, 1800), identificándose casi al final del siglo XIX los primeros espectros NIR de líquidos orgánicos en el intervalo entre 700 nm y 1.200 nm (Abney & Festing, 1881).

Desde 1938 se tiene constancia del estudio analítico pionero en la región NIR, describiéndose la determinación de agua en la gelatina (Ellis & Bath, 1938).

Karl Norris continuó investigando en el rango NIR, con el objetivo de poder determinar en este espectro la humedad de los productos agrícolas, utilizando metanol para extraer el agua (Golombic, Hart & Norris, 1961), y cuyos resultados se publicaron en años dispares (Norris, 1965; Hart & Norris, 1996) con la presentación de un modelo de longitud de onda que permitía correlacionar los datos obtenidos en el espectro NIR con la concentración del analito, y la utilización de la reflectancia difusa en este espectro NIR como una medida no destructiva (Pasquini, 2003). Estudios posteriores afianzan la utilización de la tecnología NIRS para tales fines (Ben-Gera & Norris, 1968), es decir, la utilización de la tecnología basada en la espectroscopía en el infrarrojo cercano. Fue entonces a mediados de los años 70 del siglo XX, cuando se empieza a considerar la tecnología NIRS de tal importancia efectiva en la investigación (Shenk & Westerhaus, 1995a; Williams & Norris, 2001).

Ya a finales del siglo XX, se han realizado y publicado varios estudios sobre el uso de la tecnología NIRS para medir ciertos parámetros de la calidad del forraje, tales como la lignina, los carbohidratos de la pared celular, el almidón, la proteína cruda, la

digestibilidad de la materia seca y la ingesta (Barton & Burdick, 1981; Coleman, Holloway & Stuth, 1995; Antanasova, Paulov & Todorov, 1996).

La demostrada capacidad y potencialidad de la tecnología NIRS, está asociada al desarrollo instrumental, a las medidas de los datos espectrales, a su tratamiento informatizado y uso de la Quiometría (Kowalski, 1980), entendiéndose esta como la parte de la Química que usa métodos matemáticos, estadísticos y de la lógica formal, para el diseño de procedimientos de medidas que sean óptimas y proporcionen la información máxima relevante (Massart et al., 1988).

Por lo tanto, se puede confirmar la enorme evolución que se ha ido dando en la tecnología NIRS desde entonces, considerándose un instrumento tecnológico potente para poder realizar análisis cuantitativos y cualitativos en los sectores agroalimentario, farmacéutico, químico, medioambiental, etc. (Davies & Williams, 1996).

Esta tecnología de la espectroscopia en el infrarrojo cercano (NIRS), se va implantando a los métodos más tradicionales, los cuales demandan más tiempo para obtenerse el resultado buscado, en general más costosos y con la necesidad de mayor personal, aunque siempre con el requisito del método de referencia adecuado (Murray, 1986; Osborne, Fearn & Hindle, 1993; Cozzolino, 1998). Por lo tanto, más que sustituir a los métodos tradicionales, es una herramienta de primer orden en la utilización de la búsqueda del parámetro a medir (temperatura, materia seca, porcentaje de humedad, contenido de proteínas, etc.).

1.9.2.3 Teoría e instrumentación.

La tecnología NIRS, está basado en el principio de la emisión de un haz de luz con una determinada longitud de onda sobre la materia o muestra medible, y cuyos enlaces moleculares (esencialmente del tipo -CH, -NH, -OH, -SH) absorberán una determinada cuantía de radiación electromagnética en el espectro del infrarrojo cercano o NIR, el cual se establece en el rango entre 780 nm a 2.500 nm (Burns & Ciurczak, 1992). Este rango de la longitud de onda para NIR (780 nm a 2.500 nm) corresponde a la energía de los fotones en un determinado intervalo ($2,65 \times 10^{-19}$ J a $7,96 \times 10^{-20}$ J), siendo la tecnología NIRS una clase de espectroscopia vibratoria (Pasquini, 2003).

El NIRS, como la tecnología capaz de medir en el infrarrojo cercano, ha sido posible a la integración de sus características (un tiempo por muestra menor al minuto, no destructivo, no invasivo, alta penetración del haz de luz, uso en línea y con una aplicación prácticamente universal en función de la posesión o no de los enlaces moleculares -CH, -NH, -OH, -SH) con el control instrumental y el tratamiento de los datos (Williams & Norris, 2001).

Con esta tecnología NIRS, donde se combina de forma sofisticada los espectros y los potentes métodos matemáticos, el haz de luz en el rango NIR que incide sobre la muestra hace que se modifique el espectro, y mediante la conversión de los algoritmos correspondientes (llamadas calibraciones) se obtiene la información del parámetro de estudio (Salomón, 2015).

De todo lo anteriormente expuesto es deducible que, para la obtención de unos óptimos, aceptados y honestos resultados con NIRS de los diversos parámetros a medir (temperatura, potencial hídrico xilemático, porcentaje de humedad, proteínas, materia

seca, almidón, etc.), es requisito indispensable la medida de los mismos parámetros con los métodos de referencia correspondientes (químicos, termométricos, etc.), y correlacionar los resultados obtenidos para ambos (NIRS con los de referencia), pudiéndose obtener la predicción del parámetro objetivo correspondiente, haciendo uso exclusivamente del NIRS. Mientras mayor sea el número de datos medidos del mismo parámetro (siempre y cuando sean muestras representativas), mejor resultado se podrá obtener, siempre teniendo en cuenta la existencia de un límite en la toma de datos (temporal, económico, etc.), y poder crear de este modo una biblioteca espectral. Con estas muestras representativas se forma el colectivo de calibración, y posteriormente la ecuación de calibración NIRS. En las muestras elegidas, a parte de la cantidad, es muy importante la variabilidad espectral y química (Shenk & Westerhaus, 1995a, 1995b, 1996; Williams & Norris, 2001). Entre la gran cantidad de métodos para la selección de las muestras, cada vez son más frecuentes los programas de tratamientos quimiométricos del espectro NIR, los cuales incorporan herramientas para estructurar la población y seleccionar las muestras representativas del colectivo de calibración (Núñez, 2003). El análisis NIR de las muestras, se realiza de forma cuantitativa o cualitativa.

Por lo tanto, a partir de las muestras analizadas con la tecnología NIRS y con el método de referencia correspondiente, se desarrolla el modelo matemático que correlacione ambos grupos de datos (NIRS y método de referencia). Para realizar el modelo matemático adecuado, se recurre al método de regresión considerado (Martens & Naes, 1989; Burns & Ciurczak, 1992, 2001), y a partir de él se podrá predecir el parámetro objetivo (temperatura, humedad, etc.) haciendo uso exclusivo de la tecnología NIRS.

1.9.2.4 Relaciones hídricas en los cultivos determinadas mediante NIRS.

Son varios los estudios que pretenden determinar el potencial hídrico de las plantas del cultivo mediante el uso de la tecnología NIRS, con el objetivo final de poder aplicarlo en el riego de precisión o un tipo de riego con menor aporte de agua, aunque para ello se necesitaría en un principio conocer varios factores, como el estado hídrico del cultivo y del suelo, además de ciertas variables climáticas (temperatura, humedad, velocidad del viento, etc.).

En la precisión de la medida en el rango espectral NIR en relación con el contenido hídrico en la planta, también intervienen una serie de factores tanto en la planta, como en el ambiente y como en el instrumento de medida. En referencia a la planta, están la densidad (Ollinger, 2011), la arquitectura de la planta y de la cubierta (Rapaport, Hochberg, Karnieli & Rachmilevitch, 2014; Rapaport, Hochberg, Karnieli, Rachmilevitch & Shoshany, 2015), la estructura de la hoja (de Bei et al., 2011) y el área foliar (Rapaport et al., 2014; Rapaport et al., 2015). En cuanto al factor ambiental, influye la presencia de las nubes y el día de la medida (Rapaport et al., 2014; Rapaport et al., 2015) y de la humedad del suelo (Musick & Pelletier, 1986, 1988). Y en relación con las características del instrumento de medida, contribuye el tipo de sensor utilizado y el ángulo objetivo del sensor (Chaerle, Jones, Leinonen & Van Der Straeten, 2007), la posición de los sensores (de Bei et al., 2011) y el efecto de fondo (Rapaport et al., 2014; Rapaport et al., 2015).

En los años 80 del siglo XX, se midieron índices de vegetación de forma remota mostrando en tiempo real el estado del cultivo, complementando los coeficientes de

cultivo determinados a través del lisímetro (Dry, Loveys, McCarthy & Stoll, 2001; Jones, 2004a, 2014; Govender, Ahmed, Dye, Weiersbye & Witkowski, 2009), estando esos índices de vegetación en función de la reflectancia VIS (en el rango de la radiación visible) y del rango NIR (Behrens, Diepenbrock & Müller, 2007; Blackburn, 2007; Eitel, Gessler, Robberecht & Smith, 2006; Howell, 2001). A partir de la reflectancia (VIS-NIR) medida por los índices de vegetación, se están desarrollando coeficientes de cultivos de forma individual, entre ellos la patata, pudiéndose utilizar para predecir la ET de manera monitorizada, lo cual es de gran utilidad para reducir las necesidades de agua del cultivo (Eitel et al., 2006; Howell, 2001; Hong et al., 2017; Feret et al., 2011; Glenn, Hunsaker, Nagler & Neale, 2011; Thenkabail, Gumma, Mohammed & Teluguntla, 2014), lo que conlleva a una mejora en el riego de precisión y de los recursos hídricos disponibles.

Mediante la medición NIRS se podría determinar el estado hídrico de la planta de forma rápida, teniendo la característica de ser una medida no destructiva, y en este entorno se sigue investigando, habiéndose realizado estudios en condiciones controladas en maíz y trigo, obteniéndose muy buenos resultados correlacionales, realizándose las medidas en las hojas del cultivo (Behrens et al., 2007; Elsayed, Mistele & Schmidhalter, 2011; Elsayed, Rischbeck & Schmidhalter, 2015).

Aunque en un principio, la estructura interna de las hojas de la planta podría influir en la lectura NIR para detectar modificaciones hídricas y estados de estrés hídrico bajos o moderados en el cultivo (Eitel et al., 2006), e incluso la posibilidad de no poder establecer estos índices espectrales a través de los diferentes estados fenológicos del desarrollo (Elsayed et al., 2011), varios estudios han demostrado la utilidad de la medición en el rango NIR para la medida del potencial hídrico del suelo y de la planta, asociándose a rangos espectrales específicos del estrés hídrico de la planta, siendo este método prioritario sobre otros utilizados (Tucker, 1980; Hunt & Rock, 1989; Carter, 1991; Hansen & Schjoerring, 2003; Zarco-Tejada et al., 2005; Cho, Corsi, Skidmore, Sobhan & van Wieren, 2007).

En especies frutales como los mandarinos y los melocotoneros, se han realizado estudios en condiciones de campo para evaluar el uso de la reflectancia en el rango espectral NIR y VIS para la detección del estrés hídrico, tanto a nivel de la hoja como en la cubierta o dosel del cultivo, siendo la correlación moderadamente buena (Kriston-Vizi, Miyamoto & Umeda, 2008).

En el cultivo de la vid también se han realizados estudios efectivos mediante la reflectancia a nivel foliar y en la cubierta, para poder estimar el estado del contenido hídrico (Serrano, González-Flor & Gorchs, 2010, 2012).

En el cultivo del mijo como destino a pasto, se han aplicado técnicas de imágenes térmicas en combinación con espectroscopía en el rango NIR y VIS, con el objetivo de valorar la eficiencia en el uso del agua (Wang, Cousins, Ellsworth, Sankaran & Zhou, 2016). Estudios realizados en el cultivo del trigo con imágenes hiperespectrales en el rango VIS y NIR, en coordinación con otras medidas de estrés hídrico y el mapeo de variables agronómicas, ha servido de apoyo para monitorizar los cultivos y en la agricultura de precisión a través de la teledetección hiperespectral, pudiéndose diferenciar plantas en estado de estrés hídrico en relación con las no estresadas (Lelong, Pinet & Poilvé, 1998).

1.9.3 Cámara de Scholander: potencial hídrico xilemático.

La utilización de este instrumento para la medida del potencial hídrico en las plantas, cultivos herbáceos y cultivos leñosos es bastante frecuente en los ensayos de campo de investigación hoy día, y ha sido utilizado en nuestro ensayo experimental para intentar establecer un límite sobre el cual la planta de la patata entraría en el estado de estrés hídrico.

1.9.3.1 Origen y evolución.

En el siglo pasado ya se realizaron medidas del potencial hídrico de las plantas, con la idea de obtener cual depresión máxima del potencial hídrico o estrés podían soportar durante la transpiración y marcar un límite a partir del cual comenzaba el estado de marchitamiento, creándose para tal fin una cámara de presión de aire (Dixon, 1914). Se fue modificando este instrumento y realizándose nuevos experimentos (Haines, 1935), llegándose a la actual cámara de Scholander o de presión (Scholander, Bradstreet, Hammel & Hemmingsen, 1965, 1966), que nos permite determinar el potencial hídrico, pudiéndose relacionar con las presiones osmóticas y la turgencia que presenta los tejidos vegetales (Kirkham, 2005; Geitmann, 2006), y de esta manera ser de ayuda para estudiar las relaciones hídricas entre los tejidos vegetales y poder marcar un valor frontera del estrés hídrico de marchitamiento.

1.9.3.2 Aplicaciones agronómicas y metodología de uso.

La cámara de Scholander nos proporciona una medida de presión hidrostática de valor negativo en el interior del xilema, debido a la cual se produce el movimiento del agua desde las raíces hasta la transpiración de ese agua por los estomas de las hojas (Scholander et al., 1965), dándose lugar también el movimiento de la savia bruta.

Para intentar obtener un valor efectivo, se recomienda efectuar el corte en el peciolo de la hoja y realizar la medida con el instrumento en el menor tiempo posible (Baughn & Tanner, 1976). Una vez que se inyecta el nitrógeno gaseoso en la cámara de presión y se observa el burbujeo que se produce en los vasos xilemáticos de la superficie del peciolo, estamos ante la situación de la presión de equilibrio o equilibrio potencial entre el agua o líquido xilemático de la hoja y el que se produce en el interior de la cámara de presión. Por lo tanto, la presión que se produce en el xilema de la hoja tiene la misma magnitud, pero de signo contrario, al que tiene lugar dentro de la cámara de presión (Salisbury & Ross, 1994; Nobel, 2004; Taiz & Zeiger, 2002).

Es un método sencillo y se realiza en unos 5 minutos por cada muestra (Kirkham, 2005). Actualmente, puede que sea el método más práctico a nivel de campo en la determinación del potencial hídrico en las hojas (Boyer, 1967; Turner, 1981; Kikuta, Kyriakopoulos & Richter, 1985; Kirkham, 1985, 2005; Spomer, 1985; Casper, Forseth & Watt, 2006). Es un instrumento fácil de adquirir comercialmente (Turner, 1981, 1987; Kirkham, 1985; Campbell, 1985), no supone una gran inversión, se puede transportar fácilmente, no se necesita tener un control de la temperatura (Turner, 1981; Spomer, 1985) y de ningún otro factor ambiental. Son varias las casas comerciales y modelos de los que se disponen hoy en día.

El tener que hacer la medida antes del amanecer se debe a que su valor en este momento está altamente asociado con el estado hídrico de la planta, pues durante las horas nocturnas la transpiración es nula y el potencial hídrico de la hoja se equilibra con

el potencial del xilema, estando a su vez equilibrado con el del agua del suelo (Turner, 1988). Esta técnica se puede aplicar en otros momentos del día, por ejemplo, a mediodía, siendo necesario cubrir las hojas de medida durante unas dos horas para lograr el equilibrio con el xilema, o bien utilizar para el muestreo hojas sombreadas. Ambas estrategias han dado buenos resultados a investigadores (Comunicación personal).

1.9.4 Otras técnicas para la medida del estrés hídrico.

Aunque la medida del potencial hídrico en las hojas al amanecer con la cámara de presión es quizás la más utilizada como medida directa del estrés hídrico en las plantas, su determinación es laboriosa (Elsayed et al., 2011), por lo que se siguen investigando y desarrollando nuevas técnicas para su determinación. Entre estas otras medidas indirectas desarrolladas y usadas para detectar estrés hídrico en las plantas, se incluyen la medida del contenido de agua en las hojas (Taiz & Zeiger, 2002), la medida de la fluorescencia de la clorofila (Chaerle et al., 2007), la medida de las variaciones en el diámetro del tallo (Fernández & Cuevas, 2010; Ortuño et al., 2010), o incluso la caracterización de la cavitación en vasos del xilema, aunque esta última resulta también laboriosa y no adecuada para su aplicación a grandes escalas (Chaerle et al., 2007).

2. OBJETIVOS

2.1 Evaluación de la respuesta del cultivo de la patata (*Solanum tuberosum* L.) variedad Spunta a distintos tratamientos de riego y de abonado nitrogenado con el fin de optimizar el manejo de los mismos.

2.2 Establecer una función de producción para predecir el rendimiento de patata variedad Spunta en recolección, en función de los niveles de riego y abonado aportados en la zona de estudio.

2.3 Comparación de distintas técnicas de medida de relaciones hídricas en las plantas, potencialmente útiles en el manejo del fertirriego: medidas del contenido de agua, NIRS, potencial hídrico xilemático (mediante la cámara de Scholander) y termometría (mediante el termómetro infrarrojo y la cámara termográfica).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del ensayo.

El ensayo experimental se ha desarrollado durante la campaña 2014, en el IFAPA (Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera) Centro Las Torres-Tomejil perteneciente a la Junta de Andalucía. El ensayo pertenece a la Red de Patatas del programa RAEA (Red Andaluza de Experimentación Agraria) y fue realizado en colaboración con la ETSIA de Sevilla (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica).

Este proyecto se ha desarrollado dentro del proyecto TransForma (experimentación, transferencia y formación especializada) de Cultivos de Regadío al Aire Libre, cofinanciado al 80% dentro del Programa Operativo FSE (Fondo Social Europeo) de Andalucía 2007-2013 y del Programa Operativo FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional) de Andalucía 2007-2013.

Este Centro del IFAPA, se encuentra situado en la Vega del Guadalquivir de la localidad de Alcalá del Río (Sevilla), como se puede observar en la siguiente Figura 15, a 16 km de la capital, accediendo por la carretera Sevilla-Cazalla y en el punto kilométrico 12,2.



Figura 15. Mapa de localización del municipio de Alcalá del Río (Sevilla).

Fuente: Lo Guilhem (2008).

En la siguiente Figura 16 se puede observar con detalle la cercanía del IFAPA, tanto con el municipio de Alcalá del Río como con el embalse, el cual está anexo al municipio y a la parcela del ensayo experimental.



Figura 16. Mapa de localización de la parcela del ensayo en el Término Municipal de Alcalá del Río (Sevilla).

Imagen tomada a 4,41 km de altura. Fuente: Adaptado de Google Earth.

En la siguiente Figura 17, se puede observar dónde se encuentra situado el ensayo, dentro de las instalaciones del IFAPA. Los datos referenciales del ensayo se pueden visualizar en la posterior Tabla 3.



Figura 17. Mapa de situación del ensayo experimental en la finca del IFAPA Centro Las Torres-Tomejil.

Imagen tomada a 100 m de altitud. Fuente: Adaptado de SIGPAC.

Tabla 3. Datos referenciales de la situación de la parcela experimental del ensayo de patata.

Sistema de Referencia	EPSG:WGS 84 / UTM zone 30N
Coordenada X	237.767,9800
Coordenada Y	4.156.080,0400
Latitud	37° 30´ 51,98191" N
Longitud	5° 58´ 1,14406" W
Altitud	10 m
Referencia SIGPAC	
Provincia	41
Municipio	5
Polígono	7
Parcela	16
Recinto	29

Nota. Fuente de datos del SIGPAC. Elaboración propia.

En el informe recabado del SIGPAC referente a nuestra parcela del ensayo, se señala el Recinto 29 incluido en la Zona Vulnerable (ZV) a contaminación por nitratos. Esta incidencia viene marcada con el código 202. El código de uso (TA) del citado informe, nos describe el uso del recinto del ensayo como "Tierra Arable".

3.2 Estudio climatológico.

3.2.1 Medidas meteorológicas.

La Estación Meteorológica del IFAPA Centro Las Torres-Tomejil (Código de Estación 19), perteneciente a la Red de Estaciones Agroclimáticas automáticas de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, nos ha proporcionado la serie de datos meteorológicos del ciclo del cultivo en estudio.

Tabla 4. Datos referenciales de la Estación Meteorológica del IFAPA Centro Las Torres-Tomejil.

Sistema de Referencia	EPSG:WGS 84 / UTM zone 30N
Coordenada X	238.016,0000
Coordenada Y	4.155.860,0000
Latitud	37° 30´ 45" N
Longitud	5° 57´ 50" W
Altitud	11 m
Referencia SIGPAC	
Provincia	41
Municipio	5
Polígono	7
Parcela	16
Recinto	3

Nota. Fuente de datos del SIGPAC. Elaboración propia.

La Estación Meteorológica mencionada y cuyos datos referenciales se puede observar en la anterior Tabla 4, registra cada diez minutos los datos de las variables agrometeorológicas (temperatura, humedad relativa, radiación, velocidad y dirección del viento, y pluviometría), quedando registrados en un datalogger Campbell Scientific modelo CD 10X. Los datos de pluviometría y de ET_0 , calculada a partir de las medidas meteorológicas realizadas por la estación con la ecuación Penman-Monteith (Allen et al., 1998), las hemos utilizados como base para el cálculo de los diferentes tratamientos de riego, como son desarrollados en el apartado correspondiente. Dicha Estación se encuentra situada a una distancia del ensayo de 320,21 metros.

3.2.2 El clima.

Se ha realizado un estudio climático exhaustivo de la zona en donde se ha desarrollado el ensayo (ver ANEXO I). Para tal estudio, se ha tomado como base los datos registrados en la Estación Meteorológica de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) situada en el Aeropuerto de Sevilla, durante un periodo de tiempo de 30 años (1981-2010). Del estudio se deduce lo siguiente.

3.2.2.1 Índices climáticos.

A través del estudio de los diversos índices climáticos, se puede caracterizar de manera simple el clima de la región del cultivo, mediante el uso de las variables temperatura y precipitación. Atendiendo a estos índices, la clasificación climática es la siguiente:

a) Índice de pluviosidad de Lang (I_L): **zona árida**.

b) Índice de aridez de “De Martonne” (I_M).

b.1 Índice de aridez de “De Martonne” (I_M) anual: **zona seca mediterránea, semiárido**.

b.2 Índice de aridez de “De Martonne” (I_M) mensual.

- I_M (enero): **húmedo**.
- I_M (febrero): **subhúmedo**.
- I_M (marzo): **semiárido**.
- I_M (abril): **subhúmedo**.
- I_M (mayo): **árido**.
- I_M (junio): **desierto**.
- I_M (julio): **desierto**.
- I_M (agosto): **desierto**.
- I_M (septiembre): **árido**.
- I_M (octubre): **subhúmedo**.
- I_M (noviembre): **húmedo**.
- I_M (diciembre): **húmedo**.

c) Índice termopluviométrico de Dantin y Revenga: **zona semiárida**.

d) Cociente pluviométrico de Emberger: **Clima Semiárido**.

3.2.2.2 Clasificación climática.

Según Thornthwaite, nos encontramos en una zona con un régimen hídrico semiárido (**D**) y un moderado exceso de precipitación en invierno (**s**), con clima Mesotérmico (**B'4**) y una moderada concentración térmica en verano (**b'4**). Por lo tanto, atendiendo a las siglas, nos encontramos en una zona con una clasificación climática del tipo **D, s, B'4, b'4**.

Según la clasificación bioclimática de UNESCO-FAO (Gausson), nos encontramos ante un tipo climático **Mediterráneo** con un subtipo climático **Termomediterráneo atenuado**, estando en la región del olivo o eumediterránea.

Según la clasificación climática de Köppen, estamos situado en una zona con un clima húmedo templado y cálido o mesotérmico (**C**), un clima templado húmedo con verano seco Mediterráneo (**Cs**) y verano caluroso (**a**). Atendiendo a sus siglas, nos ubicamos en una zona cuya clasificación climática es del tipo **C, Cs, a**.

Según Papadakis, la clasificación climática es:

- Invierno **Citrus citrus (Ci)**. Con inviernos suficientemente suave para el cultivo de cítricos, pero no libre de heladas. Sin dificultades de vernalización para el trigo.
- Verano **Gossypium cálido (G)**. Verano suficientemente largo y cálido para el cultivo del algodón.
- Régimen térmico **Subtropical cálido (SU)**.
- Régimen hídrico **Mediterráneo seco (Me)**.
- Unidad climática **Mediterráneo**.

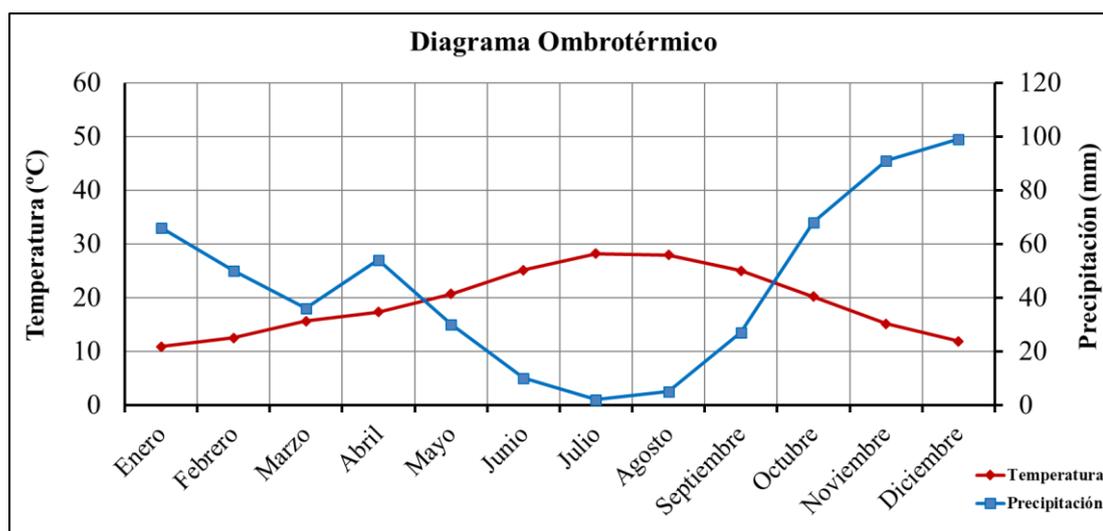


Figura 18. Diagrama Ombrotérmico o climograma de Gausson.

Fuente: datos de la AEMET. Elaboración propia.

En la anterior Figura 18 se presenta el **diagrama ombrotérmico o climograma de Gausson** de la zona, donde se puede visualizar el **periodo seco**, comprendido **entre la primera semana de mayo y la última semana de septiembre**. La ET_0 media anual es de 1.221 mm y la precipitación media anual de 538 mm.

3.3 Estudio edafológico.

El objetivo del estudio edafológico es obtener determinados valores de parámetros tanto físicos como químicos del suelo mediante el análisis del mismo, interpretarlos y poder establecer las propiedades físicas y químicas que definen su aptitud productiva.

El análisis del suelo de la parcela experimental ha sido realizado por el Centro de Investigación, Tecnología e Innovación de la Universidad de Sevilla (CITIUS), situado en la Carretera de Utrera km. 1 y con código postal 41013 de Sevilla (España).

Las muestras del suelo, tomadas de 0 cm a 60 cm de profundidad, fueron recibidas por el citado CITIUS el 13 de junio de 2014, haciendo un total de seis muestras.

A las muestras del suelo se le realizaron unos tratamientos de secados, molienda y tamizado, previo a los análisis.

Los equipos utilizados para realizar los análisis físicos y químicos considerados fueron un Autoanalizador CSN LECO, un Espectrofotómetro UV-Visible y un espectrofotómetro de Absorción Atómica Unicam de Thermo.

La metodología utilizada para realizar los respectivos análisis y tratamientos, fueron:

- Secado, molienda y tamizado del suelo (Porta, 1986).
- Determinación de pH y C.E. en extractos 1/5 (p/v) de suelos (Porta, 1986).
- Determinación de carbono orgánico oxidable mediante el método de Walkley y Black. (Walkley & Black, 1934).
- Determinación de C, S y N total por el método Dumas (Dumas, 1848), haciendo uso del autoanalizador elemental CNS-2000 de LECO, (2002) LECO Corporation.
- Extracción de P asimilable (Olsen, Cole, Dean & Watanabe, 1954).
- Determinación de fosfato (Murphy & Riley, 1962).
- Determinación de nitratos en suelos, mediante el Reflectómetro RQflex plus y tiras analíticas reflectoquant de nitratos de Merck.
- Determinación de amonio en suelos (Mulvaney, 1996), utilizándose el espectrofotómetro UV-Visible Lambda 35 Perkin Elmer.
- Extracción de cationes de cambio y determinación de la capacidad de intercambio catiónico (Tucker, 1954).
- Determinación de metales en disolución mediante espectrofotometría de absorción y emisión atómica, haciendo uso del espectrofotómetro de absorción atómica UNCAM de Thermo.
- Determinación de carbonatos totales mediante calcimetría de Bernard (Porta, 1986).
- Determinación de la caliza activa (Drouineau, 1942).

- Extracción de oligoelementos disponibles en suelos con DTPA/TEA/CaCl₂ (Lindsay & Norwell, 1978).
- Análisis granulométrico en suelos (Gee & Bauder, 1986).

Tanto en la Tabla 5 como en la Tabla 6 que se pueden observar a continuación, obtenidas del informe de resultados del análisis de suelo realizado por el CITIUS, se refleja el valor promedio de las 6 muestras (X-1, X-8, X-17, X-32, X-57, X-59), y a partir de ellos se obtienen las respectivas conclusiones.

Tabla 5. Resultados del análisis granulométrico en la fracción del suelo inferior a 2 mm.

Fracción de suelo	limo (%)	arcilla (%)	arena (%)
Suelo X-1	41,11	25,98	32,91
Suelo X-8	43,96	26,61	29,43
Suelo X-17	40,82	21,58	37,60
Suelo X-32	44,52	22,23	33,25
Suelo X-57	35,09	19,72	45,19
Suelo X-59	46,88	22,38	30,74
Promedio	42,06	23,08	34,85

Nota. Diferentes muestras de suelo (X-1, X-8, X-17, X-32, X-57, X-59) proporcionados por el CITIUS, y su valor promedio. Elaboración propia.

De los datos reflejados en la presente Tabla 5, y centrándonos en los valores promedios de la fracción de suelo en tanto por ciento de limo (42,06), arcilla (23,08) y arena (34,85), y haciendo uso del **triángulo textural** para la clasificación del suelo según la clasificación U.S.D.A, el suelo de la parcela de ensayo presenta una **textura franca**.

Tabla 6. Resultados del análisis fisicoquímico del suelo del ensayo de patatas, y su valor promedio.

	Promedio	X-1	X-8	X-17	X-32	X-57	X-59
pH	8,35	8,38	8,22	8,58	8,22	8,35	8,37
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	228,5	239,0	290,0	198,2	251,0	145,6	247,0
P (mg/Kg)	9,228	12,914	14,999	2,284	4,613	4,890	15,666
C total (%)	4,014	3,980	4,145	3,868	4,072	3,966	4,051
S Total (%)	0,019	0,011	0,021	0,020	0,019	0,022	0,022
N Total (%)	0,055	0,068	0,075	0,043	0,048	0,030	0,067
C orgánico (%)	0,321	0,371	0,511	0,242	0,328	0,102	0,371
M.O. (%)	0,552	0,638	0,878	0,416	0,564	0,176	0,638
Carbonatos (%)	22,711	22,273	23,312	21,918	23,357	22,376	23,031
Caliza activa (%)	5,325	5,025	5,625	4,725	5,775	4,725	6,075
NO_3^- (mg/Kg)	73	105	115	55	75	40	50
NH_4^+ (mg/Kg)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
K (cmol_c/Kg)	0,270	0,356	0,362	0,143	0,131	0,134	0,493
Na (cmol_c/Kg)	0,059	0,045	0,080	0,058	0,058	0,031	0,084
Mg (cmol_c/Kg)	1,649	1,618	1,763	1,503	2,055	1,451	1,506
Ca (cmol_c/Kg)	7,670	8,238	8,208	6,776	8,261	6,531	8,005
Ca estimado* (cmol_c/Kg)	4,336	6,748	5,600	3,755	4,188	3,133	2,590
CIC (cmol_c/Kg)	6,314	8,767	7,805	5,459	6,432	4,748	4,674
Fe (mg/Kg)	11,454	10,112	11,094	10,056	15,504	10,900	11,054
Mn (mg/Kg)	7,651	7,741	9,184	6,135	7,976	6,043	8,825
Cu (mg/Kg)	1,771	1,948	2,464	1,120	1,692	1,238	2,166
Zn (mg/Kg)	0,6977	0,7472	0,9920	0,4396	0,7376	0,3772	0,8928

Nota. Leyenda. Diferentes muestras del suelo (X-1, X-8, X-17, X-32, X-57, X-59). Datos proporcionados por el CITIUS. n.d.: no detectable. Límite detección método: 0,015 mg/L. *Ca calculado como la diferencia entre el valor de CIC y la suma de K, Na y Mg. Elaboración propia.

Atendiendo a los resultados arrojados en la Tabla 6, se obtiene una amplia y detallada información edafológica tanto física como química del suelo del ensayo, la cual se interpreta a continuación.

El dato en materia orgánica (0,552 %) ofrecido por el análisis del suelo, corresponde a la materia orgánica oxidable (M.O. oxidable). El valor de la M.O. oxidable, se obtiene al dividir el carbono orgánico oxidable (0,321 %) por 0,58. Para obtener el valor de la **materia orgánica total** (M.O. total), se divide el valor de M.O. oxidable por 0,77, obteniéndose una cantidad de M.O. total de 0,717 %. Atendiendo a este valor de M.O. total, se deduce el bajo contenido en materia orgánica del suelo. Estamos ante un cultivo en regadío, por lo que el N.C. (nivel crítico) de M.O. total debiera de estar entre el 1,5 % y 2 %, siendo estos los mínimos contenidos requeridos

en materia orgánica que nos asegurarían unas buenas condiciones edafológicas, tanto físicas como químicas.

Es un suelo básico, marcado por el valor de **pH** de 8,35. Sin embargo, aun siendo la patata un cultivo acidófilo, su cultivo se adapta a estas condiciones obteniéndose buenos rendimientos. Este nivel básico de pH suele ir asociado con un rango de disponibilidad de nutrientes bajo para hierro, manganeso, boro, zinc y cobre. El bajo contenido en manganeso, hierro y zinc podría conllevar a la aparición de clorosis férrica, la cual no estuvo presente durante el ensayo.

En cuanto a la **conductividad eléctrica** del suelo, el valor de 228,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0,2285 dS/m), considerado en el extracto 1/5 (p/v) de suelo (C.E. en suspensión suelo:agua 1:5) y teniendo en cuenta que estamos en la prueba previa de sales, nos indica un diagnóstico de la salinidad del suelo que podría ser salino, al ser mayor a 0,2 dS/m, por lo que se encuentra algo superior al límite entre la no salinidad y la posibilidad de ser salino. Atendiendo al valor del pH (8,35), sabemos que los suelos salinos suelen tener un pH mayor de 7 y menor a 8,5. La posibilidad de una cierta salinidad se ve reforzada al encontrarnos muy próximo del límite superior. Habría que estudiarlo mediante el análisis del extracto de saturación (análisis de pasta saturada). No obstante, la patata es un cultivo que tolera una salinidad del suelo clasificada como "moderadamente sensible" (Maas, 1986).

El valor del Na de cambio es de 0,059 me/100 g o cmol_c/kg . El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es menor al 1%, obtenido de la relación $([\text{Na}^+] / \text{CIC}) * 100$. Es de utilidad para el estudio de la posible **sodicidad** del suelo, caso no factible en nuestro ensayo por su valor menor al 15%. Asimismo, los suelos sódicos poseen un pH entre 8,5 y 10. El concepto de sodicidad se entiende como el contenido de sodio adsorbido al complejo de cambio.

En relación con el contenido del suelo en **carbonatos** (22,771 %) y de **caliza activa** (5,325 %), el contenido en carbonato superior al 20 % (entendiendo estos como carbonatos totales) nos indica la presencia de un suelo calizo o calcáreo, donde es apreciable el contenido en carbonato cálcico, teniendo una valoración media en cuanto al contenido de carbonatos. Estos suelos tienen unos pH definidos en un rango determinado ($7 < \text{pH} < 8,5$), dentro del cual se incluye el pH (8,35) del suelo del ensayo. La caliza activa es la fracción de carbonatos con un tamaño inferior a 50 μm , dándonos una estimación del carbonato cálcico reactivo, e informándonos de posibles efectos negativos en la nutrición del cultivo y de la posibilidad de clorosis férrica, la cual no apareció en nuestro ensayo, como ya se ha comentado anteriormente. Según el contenido de caliza activa de nuestro suelo, presenta una valoración media (Urbina, 2015), sin mostrar problema alguno aparente durante el cultivo.

La capacidad de intercambio catiónico (**CIC**), con un valor de 6,314 cmol_c/kg o me/100 g, nos informa de la cantidad total de cationes adsorbidos al complejo de cambio, el cual depende del contenido en arcillas y materia orgánica del suelo. Nos mide la fertilidad química del suelo, es decir, la cuantía de cationes intercambiables que puede retener el suelo. El valor aportado por el análisis es bajo, partiendo de la textura franca del suelo del ensayo, pero acorde a los suelos agrícolas de nuestra zona, y atendiendo, además, al bajo contenido de materia orgánica. El rango de oscilación de la CIC en los suelos agrícolas es de 5 a 30 me/100 g. (Material docente de la asignatura de Principio de la Producción Vegetal de la ETSIA, Universidad de Sevilla, 2015).

El porcentaje de saturación de bases (**PSB**) es el porcentaje de cationes de carácter básico del complejo de cambio que intervienen en el intercambio con la solución del suelo. Los cationes que en él intervienen son el Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ . Con sus respectivos valores y el de la CIC, se obtiene un PSB del 100%, es decir, un complejo de cambio saturado de bases. Esta saturación de bases está acorde con el pH de carácter básico del suelo, ya que existe una relación directa entre el pH del suelo y el PSB, la cual nos dice que, con un alto valor de pH, existe un alto valor de PSB. Con un PSB superior al 80%, ya existe una saturación del complejo de cambio, y es una situación frecuente en los suelos de nuestra zona, en los cuales abunda la caliza. (Material docente de la asignatura de Principio de la Producción Vegetal de la ETSIA, Universidad de Sevilla, 2015). En esta situación, el Ca^{2+} es el catión dominante, circunstancia que se cumple para nuestro suelo. Atendiendo a las relaciones $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ y $\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}$, no representan problemas ni para el magnesio ni para el potasio.

El **nitrógeno asimilable** por la planta en kg/ha, lo obtenemos a partir de los 73 mg/kg o ppm de NO_3^- y del valor de la densidad aparente (d_a) $1,33 \text{ g/cm}^3$ o Tn/m^3 , tomado este como valor medio de los tres bloques en los primeros 30 cm de profundidad, como se refleja en la siguiente Tabla 7. Realizando los cálculos correspondientes, detallado a continuación, se obtienen 76,04 kg/ha de nitrógeno asimilable. (Cálculos: $10^4 \text{ m}^2/\text{ha} \times 0,3 \text{ m} \times 1.000 \text{ kg/1 Tn} \times 1,43 \text{ Tn/m}^3 \times 73 \text{ mg/kg} \times 14 \text{ mg N/62 mg NO}_3^- \times 1 \text{ kg N/10}^6 \text{ mg N}$).

El **nitrógeno total** (N total) del suelo, cuyo valor de análisis es de 0,055 %, es el que se encuentra mayormente en forma orgánica, es decir, no asimilable por la planta. Normalmente, más del 95 % del nitrógeno presente en el suelo, se encuentra de esta forma. Su valor se encuentra relacionado con el de la M.O del suelo. Este N total, no es un índice que nos sea de utilidad para estimar los requerimientos de fertilizante nitrogenado, sino que nos permite observar el estado de humificación de la M.O. del suelo (Material docente de la asignatura de Principio de la Producción Vegetal de la ETSIA, Universidad de Sevilla, 2015). Según Urbina (2015), atendiendo al contenido de nitrógeno elemental total en el suelo, que en nuestro suelo es del 0,055 %, se valora con un contenido bajo.

Se estudia la relación carbono/nitrógeno (**C/N**) como un índice de calidad, el cual nos permite conocer el estado de humificación de la M.O. presente en el suelo. Este valor no nos lo proporciona directamente el informe del análisis del suelo, pero lo podemos deducir sabiendo, como ya hemos estudiado, que tenemos un nivel muy bajo en materia orgánica, encontrándose esta M.O. muy mineralizada. Ante esta información, es presumible deducir que estamos ante una relación C/N menor al 7 u 8 %, lo cual se verifica atendiendo a los valores de C orgánico (0,321) y de N total (0,055), siendo la relación C/N de 5,84. Este valor nos indica que la M.O. está muy mineralizada y acompañada de un nivel muy bajo de M.O., por lo que en esta circunstancia podría estar recomendado realizar una enmienda de corrección.

Para la interpretación de la fertilidad del suelo en fósforo (**P**) y potasio (**K**), nos basamos en un nivel crítico (N.C.) fundamentado en una cuantía, a partir de la cual no existe una respuesta relevante al abonado. Para el P de valor 9,228 mg/kg o ppm, y atendiendo a la textura franca, el nivel de fósforo se encuentra por debajo del N.C. tabulado (10 - 12) ppm, lo cual nos informa de una cierta deficiencia de este nutriente. El valor de K dado en el análisis, y una vez transformado a la unidad correspondiente de

mg/kg o ppm, obteniéndose 105,56 ppm ($0,270 \text{ me K}^+/100 \text{ g} \times 39,098 \text{ mg/1 me K}^+ \times 1.000 \text{ g/1 kg} = 105,56 \text{ ppm}$), nos indica que estamos muy por debajo del N.C. tabulado (150 - 175) ppm para el suelo de textura franca del ensayo, por lo que existe deficiencia en este nutriente.

Paralelamente a los anteriores análisis fisicoquímicos y granulométricos realizados por el CITIUS, en el IFAPA Centro Las Torres-Tomejil se llevó a cabo la obtención de distintas muestras de suelo y su posterior tratamiento, con el objetivo de determinar la densidad aparente del suelo en estudio.

En cada bloque del ensayo (Bloque I, Bloque II y Bloque III), se recogieron muestras de suelo, mediante el uso de una barrena, a distintas profundidades (10, 20, 30, 40, 50 y 60 cm de profundidad). Posteriormente, en el laboratorio del Departamento de Horticultura del citado IFAPA, se procedió a la pesada de cada muestra en sus respectivas profundidades, obteniéndose un valor de peso fresco por cada muestra y profundidad. A partir de este, se determinó el valor del peso seco, sometiéndolas a un proceso de secado en la estufa de ventilación forzada de aire durante un periodo de 48 horas y a una temperatura de 105 °C. Con los datos de este peso seco menos la tara del recipiente de cristal que contiene la muestra y dividido por el volumen de la muestra, se calculó las distintas densidades aparentes para cada profundidad y por cada bloque, obteniéndose un valor medio por bloque y un valor final promedio de los tres bloques, siendo este valor promedio final de la **densidad aparente de 1,44 g/cm³ o t/m³**, como se puede observar a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7. Valores calculados de la densidad aparente (d_a) por cada bloque y a distintas profundidades, valor medio por cada bloque y valor promedio de los tres bloques (Bloque I, Bloque II y Bloque III).

Atributo	Bloque I (BI)	Bloque II (BII)	Bloque III (BIII)
profundidad 10 cm	1,477	1,393	1,338
profundidad 20 cm	1,621	1,606	1,527
profundidad 30 cm	1,283	1,303	1,417
profundidad 40 cm	1,482	1,383	1,681
profundidad 50 cm	1,303	1,383	1,671
profundidad 60 cm	1,393	1,547	1,194
d_a (g/cm ³) valor medio por Bloque	1,43	1,44	1,47
d_a (g/cm³) promedio BI-BII-BIII	1,44		

Mediante la siguiente Tabla 8 (Propiedades Físicas de los Suelos de Israelsen y Hasen de 1962, citada por la FAO en 1979) una vez obtenida la textura de nuestro suelo, podríamos deducir varios parámetros, entre ellos la densidad aparente, siendo su valor el perteneciente al rango entre 1,35 y 1,50 g/cm³, situándose en este rango el valor de la densidad aparente realizada y calculada en el IFAPA ($d_a = 1,44 \text{ g/cm}^3$), quedando de esta manera, más verificado su valor.

Tabla 8. Propiedades físicas de los suelos (Israelsen & Hansen, 1962; FAO, 1979).

Textura	Infiltración y permeabilidad (cm/h)	Porosidad total (%)	Densidad aparente (d _a)	Capacidad de campo (%)	Punto de marchitez (%)	Humedad total disponible		
						Peso (%)	Volumen (%)	cm/m
Arena	5 (2,5 - 25)	38 (32 - 42)	1,65 (1,55 - 1,80)	9 (6 - 12)	4 (2 - 6)	5 (4 - 6)	8 (6 - 10)	8 (6 - 10)
Franco arenoso	2,5 (1,3 - 7,6)	43 (40 - 47)	1,50 (1,40 - 1,60)	14 (10 - 18)	6 (4 - 8)	8 (6 - 10)	12 (9 - 15)	12 (9 - 15)
Franco	1,3 (0,8 - 2,0)	47 (43 - 49)	1,40 (1,35 - 1,50)	22 (18 - 26)	10 (8 - 12)	12 (10 - 14)	17 (14 - 20)	17 (14 - 20)
Franco arcilloso	0,8 (0,25 - 1,5)	49 (47 - 51)	1,35 (1,30 - 1,40)	27 (23 - 31)	13 (11 - 15)	14 (12 - 16)	19 (16 - 22)	19 (17 - 22)
Arcilloso limoso	0,25 (0,03 - 0,5)	51 (49 - 53)	1,30 (1,30 - 1,40)	31 (27 - 35)	15 (13 - 17)	16 (14 - 18)	21 (18 - 23)	21 (18 - 23)
Arcilloso	0,05 (0,01 - 0,1)	53 (51 - 55)	1,25 (1,20 - 1,30)	35 (31 - 39)	17 (15 - 19)	18 (16 - 20)	23 (20 - 25)	23 (20 - 25)

Nota. Fuente: Material de la asignatura de Principios de la Producción Vegetal de la ETSIA (Universidad de Sevilla, 2015). Elaboración propia.

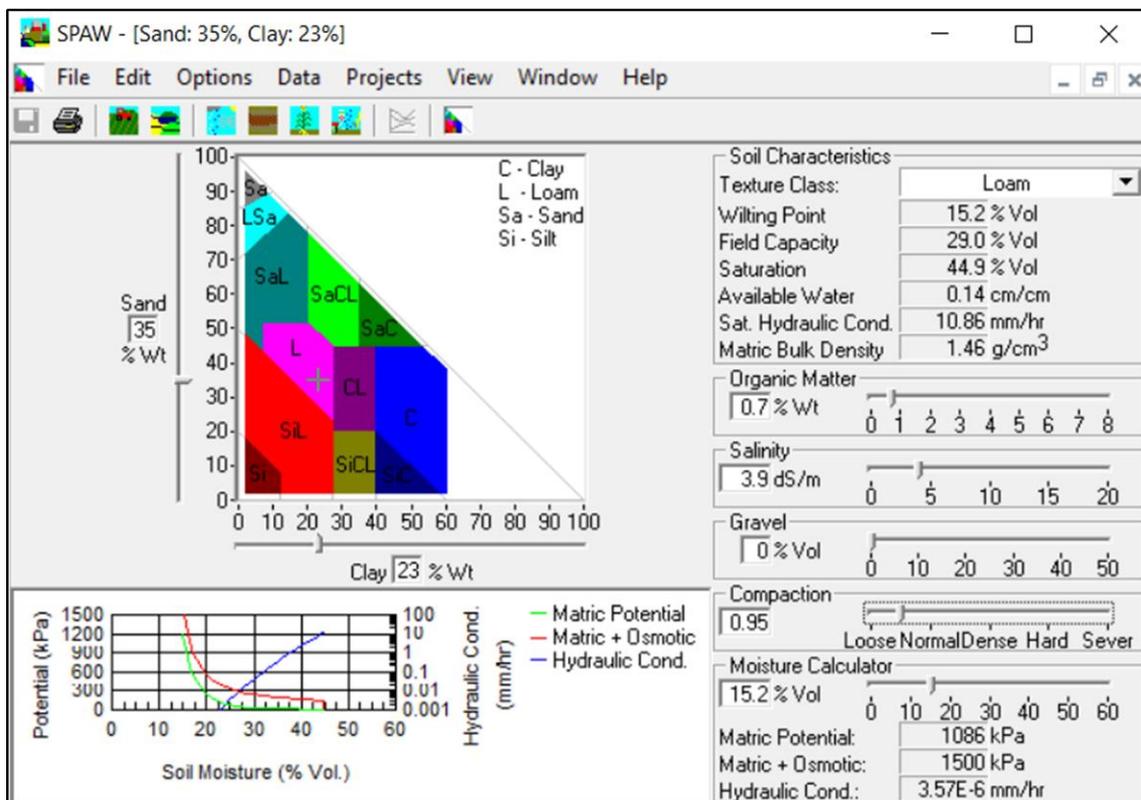


Figura 19. Propiedades físicas y químicas del suelo de la parcela de ensayo.

Fuente: Programa informático SPAW Hydrology Model for Water Budgets (Saxton & Rawls, 2006).

El programa SPAW de la Universidad de Washington, reflejado en la anterior Figura 19, también nos permite estimar (a partir de los valores de la textura, de la materia orgánica, de la salinidad del suelo, de la compactación, etc.) otras propiedades físicas de nuestro suelo, como podrían ser las curvas de conductividad hidráulica y de retención de humedad. La densidad aparente estimada ($1,46 \text{ g/cm}^3$) es muy parecida a la obtenida anteriormente ($1,44 \text{ g/cm}^3$) en el IFAPA y mediante la tabla de las propiedades físicas de los suelos de Israelsen y Hansen (1962) y la FAO (1979), anteriormente estudiada.

Del estudio edafológico realizado, se obtiene los resultados e interpretación de las características analizadas, reflejadas a modo de resumen en la siguiente Tabla 9.

Tabla 9. Resultados e interpretación de las propiedades del suelo analizado.

Parámetro	Resultado	Rango	Interpretación
Características físicas			
Textura	Franca		
$d_a \text{ (g/cm}^3\text{)}$	1,44	(1,35-1,50)	Textura Franca
Características químicas			
pH	8,35	(7,5-8,5)	Suelo básico
% M.O. total	0,717	N.C. (1,5 -2)	Bajo contenido
CE (dS/cm) 1:5 p/v	0,228	0,2	Podría ser salino
PSI (%)	0,93	< 1	No sódico
Carbonatos totales (%)	22,711	> 20	Calizo o calcáreo
Caliza activa (%)	5,325	(5-8)	Valoración media
CIC (cmolc/kg o me/100)	6,314	(5-10)	Bajo
PSB (%)	100	> 80	Saturación Complejo de Cambio
$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$	2,629	(2-10)	Sin problema
$\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}$	0,164	(0,1-0,5)	Sin problema
N total (%)	0,055	(0,05-0,10)	Bajo
C/N	5,84	< (7-8)	M.O. muy mineralizada
P (mg/kg o ppm)	9,228	N.C. (10-12)	Deficiencia
K (mg/kg o ppm)	105,56	N.C. (105-175)	Deficiencia

3.4 Estudio del agua de riego.

El agua aplicada durante el riego y fertirriego (riego y abonado) en el ensayo, proviene de un pozo situado en el recinto del IFAPA Centro Las Torres-Tomejil.

El análisis químico de esta agua, proporcionado por el personal del IFAPA, se refleja en la siguiente Tabla 10, en la cual se muestra la concentración en miliequivalentes por litro (me/L) de los aniones y cationes, la conductividad eléctrica (CE) y su valor de pH.

A partir de los datos mostrados en esta Tabla 10, se ha evaluado e interpretado la calidad de dicha agua para el riego (y fertirriego), siguiendo las directrices de las Normas FAO Water quality for agriculture (FAO, 1987) y el material docente de la asignatura de Principios de la Producción Vegetal de la ETSIA de Sevilla (Universidad de Sevilla, 2015).

Tabla 10. Análisis químico del agua de riego.

Aniones	me/L	Pe	mg/L	Cationes	me/L	Pe	mg/L
HCO ₃ ⁻	2,55	61	155,55	Ca ²⁺	4,02	20	80,4
Cl ⁻	2,66	35	93,1	Mg ²⁺	2,33	12	27,96
NO ₃ ⁻	0,31	62	19,22	Na ²⁺	3,39	23	77,97
SO ₄ ⁻	4,39	48	210,72	K ⁺	0,12	39	4,68
Sumatorio	9,91		478,59		9,86		191,01
CE (mS/cm)	1,05						
pH	7,5						

Nota. Los valores del sumatorio se han realizados *a posteriori* para facilitar la evaluación del agua. La conductividad eléctrica (CE o CE_a) del agua es a la temperatura de 25°C (en la unidad mS/cm = mmhos/cm = dS/m). Elaboración propia.

a) Comprobaciones previas:

Se realiza la igualdad entre el sumatorio de los aniones (Σ Aniones) y de los cationes (Σ Cationes), con un error admisible de ± 10 %.

Σ Aniones (9,91 me/L) \approx Σ Cationes (9,86 me/L), siendo el error menor al ± 10 %, por lo que es correcto.

b) Salinidad:

Nuestro análisis aporta el dato de la conductividad eléctrica del agua (CE = 1,05 mS/cm). No obstante, lo comprobamos mediante la igualdad que se muestra a continuación:

$$\text{Sales totales (g/L)} = 0,64 \times \text{CE (dS/m)}$$

$$\text{Sales totales} = 478,59 + 191,01 = 669,6 \text{ mg/L} \times 1 \text{ g/1000 mg} = 0,6696 \text{ g/L}$$

$$0,6696 \text{ (g/L)} = 0,64 \times \text{CE (dS/m)}$$

CE = 1,05 (dS/m), coincidiendo con el valor de partida reflejado en la Tabla 10.

A partir del valor de la CE = (CE_a) = **1,05 (dS/m)** del agua de riego y al problema potencial de riego de la salinidad, atendiendo a la Tabla 12 mostrada posteriormente, el **grado de restricción de uso es de ligero a moderado**, coincidiendo si se evalúa también a partir del Total de Sólidos en Solución (TSS = **669,6 mg/L**).

c) Infiltración (Sodicidad):

Los problemas derivados de la sodicidad están relacionados con la estabilidad estructural del suelo. Si se aplica el riego con aguas que contienen un elevado contenido de sodio, este elemento se concentra en los primeros centímetros del suelo, y se eleva el porcentaje de sodio intercambiable del suelo (PSI), lo cual conlleva a una dispersión de los agregados y de las partículas de arcillas, y a una pérdida de la estructura del suelo. Las consecuencias de este fenómeno negativo para los cultivos en general son una baja infiltración, encharcamiento y asfixia radicular debido a la falta de oxígeno, escorrentía y erosión, etc.

Los cationes Ca²⁺ y Mg²⁺ junto con las sales de la solución del suelo, producen un efecto floculante, el cual es opuesto al efecto dispersante del Na⁺, favoreciendo esa floculación a la estructuración del suelo.

Para la evaluación de la sodicidad del suelo, se utiliza el RAS⁰ (relación de adsorción de sodio corregida), en el cual hay que estimar previamente la concentración corregida de calcio (Ca⁰).

$$\text{RAS}^0 = \frac{\text{Na}}{[(\text{Ca}^0 + \text{Mg})/2]^{\frac{1}{2}}}$$

El valor de la concentración corregida de calcio (Ca⁰) en me/L en el agua de riego, se estima partiendo del valor de la conductividad eléctrica (CE_a = 1,05 mS/cm) y del valor de la relación de los contenidos en HCO₃⁻ (2,55 me/L) y Ca²⁺ (4,02 me/L) del agua (2,55 / 4,02 = 0,63). Introduciendo ambos valores (1,05 mS/cm y 0,63) en la siguiente Tabla 11, obtenemos el valor estimado del Ca⁰ realizando las apropiadas interpolaciones necesarias.

Este Ca⁰ = **2,88 me/L** estimado es el utilizado para obtener el RAS⁰ (relación de adsorción de sodio corregida).

$$\text{RAS}^0 = \frac{\text{Na}}{[(\text{Ca}^0 + \text{Mg})/2]^{\frac{1}{2}}} = \frac{3,39 \left(\frac{\text{me}}{\text{L}}\right)}{[(2,88 \frac{\text{me}}{\text{L}} + 2,33 \frac{\text{me}}{\text{L}})/2]^{\frac{1}{2}}} = \mathbf{1,49}$$

Tabla 11. Concentración de calcio corregida (Ca^0) en el agua del suelo.

		Salinidad del agua de riego aplicada (CE_a) en dS/m = mmhos/cm = mS/cm											
		0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
Valor de HCO_3^- / Ca^{2+}	0,05	13,20	13,61	13,92	14,40	14,79	15,26	15,91	16,43	17,28	17,97	19,07	19,94
	0,10	8,31	8,57	8,77	9,07	9,31	9,62	10,02	10,35	10,89	11,32	12,01	12,56
	0,15	6,34	6,54	6,69	6,92	7,11	7,34	7,65	7,90	8,31	8,64	9,17	9,58
	0,20	5,24	5,40	5,52	5,71	5,87	6,06	6,31	6,52	6,86	7,13	7,57	7,91
	0,25	4,51	4,65	4,76	4,92	5,06	5,22	5,44	5,62	5,91	6,15	6,52	6,82
	0,30	4,00	4,12	4,21	4,36	4,48	4,62	4,82	4,98	5,24	5,44	5,77	6,04
	0,04	3,61	3,72	3,80	3,94	4,04	4,17	4,35	4,49	4,72	4,91	5,21	5,45
	0,40	3,30	3,40	3,48	3,60	3,70	3,82	3,98	4,11	4,32	4,49	4,77	4,98
	0,45	3,05	3,14	3,22	3,33	3,42	3,53	3,68	3,80	4,00	4,15	4,41	4,61
	0,50	2,84	2,93	3,00	3,10	3,19	3,29	3,43	3,54	3,72	3,87	4,11	4,30
	0,75	2,17	2,24	2,29	2,37	2,43	2,51	2,62	2,70	2,84	2,95	3,14	3,28
	1,00	1,79	1,85	1,89	1,96	2,01	2,09	2,16	2,23	2,35	2,44	2,59	2,71

Nota. Supone una fuente de calcio del suelo a partir de la caliza ($CaCO_3$) o silicatos, ninguna precipitación de magnesio, y la presión parcial de CO_2 cerca de la superficie del suelo (P_{CO_2}) es de 0,0007 atmósferas. Fuente de datos: Water quality for agriculture. Table 11. (FAO, 1987). Elaboración propia.

Mediante la Tabla 12 (Directrices para interpretar la calidad de las aguas para el riego) mostrada posteriormente, utilizando los valores de CE_a (**1,05 dS/m**) y del RAS^0 (**1,49**), no se obtiene **ninguna restricción de uso** del agua del riego en relación con la **sodicidad (infiltración)**.

d) Toxicidad.

El riego utilizado en nuestro ensayo ha sido localizado por goteo, por lo que atendiendo a la información dada en la Tabla 12, y a los aniones y cationes de partida de nuestro análisis de agua reflejado en la Tabla 10, no aparece **ningún grado de restricción de uso** del agua de riego en relación con la **toxicidad** que pudiera causar.

e) Problemas varios:

Basándonos en los datos de partida de la Tabla 10, realizamos los cálculos correspondientes y sus respectivas interpretaciones para cada uno de los problemas (nitrógeno nítrico, bicarbonato y pH) que se pudieran presentar mediante la utilización del agua de riego analizada.

(e.1) Nitrógeno nítrico ($N-NO_3^-$).

$19,22 \text{ mg/L de } NO_3^- \times (14 \text{ mg N} / 62 \text{ mg } NO_3^-) = \mathbf{4,34 \text{ mg de } (N-NO_3^-) / L}$. Partiendo de este valor y utilizando la siguiente Tabla 12 (Directrices para interpretar la calidad de las aguas para el riego), no aparece **ningún grado de restricción de uso**.

(e.2) Bicarbonato (HCO_3^-).

Solo evaluado para el riego por aspersión.

(e.3) pH.

Nuestro **pH (7,5)** nos indica **un valor normal** perteneciente al rango (6,5 - 8,4) para las aguas de riego. Valores anormales podrían generar desequilibrios nutricionales, contener iones tóxicos y deteriorar el sistema de riego.

Tabla 12. Directrices para interpretar la calidad de las aguas para el riego.

Problema potencial de riego	Unidades	Grado de restricción de uso (Nota *1)				
		Ninguno	Ligero a Moderado	Severo		
Salinidad	CE_a	dS/m	< 0,7	0,7 - 3	> 3	
	TSS	mg/L	< 450	450 - 2.000	> 2.000	
Infiltración	$\text{RAS}^0 =$	0 - 3	$\text{CE}_a =$	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
		3 - 6		> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
		6 - 12		> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
		12 - 20		> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
		20 - 40		> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
Toxicidad	Sodio	Riego por superficie	RAS^0	< 3	3 - 9	> 9
		Riego por aspersión	me/L	< 3	> 3	
	Cloro	Riego por superficie	me/L	< 4	4 - 10	> 10
		Riego por aspersión	me/L	< 3	> 3	
	Boro		mg/L	< 0,7	0,7 - 3	> 3
	Oligoelementos		mg/L	(Nota *2)	(Nota *2)	(Nota *2)
	Varios	Nitrógeno (N-NO_3^-)	mg/L	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonato (HCO_3^-)						
		Solo por aspersión	me/L	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
pH			Valor normal perteneciente al rango (6,5 - 8,4)			

Nota. Leyenda: TSS es el total de sólidos en solución, a partir del cual se evalúa el contenido total de sales del agua medido. CE_a es la conductividad eléctrica del agua. Nota *1: Aclaraciones a los grados de restricción del uso del agua. Ninguna restricción: no se presentan problemas en los cultivos o en el suelo. Restricción ligera a moderada: se requiere un cuidado en la selección de los cultivos y el manejo para alcanzar el potencial máximo de rendimiento. Restricción severa: implica la aparición de problemas de suelo y de cultivo y la necesidad de contar, para lograr unos rendimientos aceptables, con un manejo hábil y efectivo. Nota *2: Concentraciones máximas recomendadas de oligoelementos y metales pesados en el agua de riego. Fuente de la Nota *1: material docente de la asignatura de Principios de la Producción Vegetal de la ETSIA (Universidad de Sevilla, 2015). Fuente de la Nota *2: Water quality for agriculture. Table 21. (FAO, 1987). Elaboración propia.

f) Dureza.

Los efectos de la dureza se reflejan en las incrustaciones que se producen en los elementos del sistema de riego, por lo que su estudio es a considerar para determinar el tipo de agua que se utiliza en el riego.

Tabla 13. Interpretación del tipo de agua (dureza).

Tipo de agua	⁰ F
muy dulce	< 7
dulce	7 - 14
medianamente dulce	14 - 22
medianamente dura	22 - 32
dura	32 - 54
muy dura	> 54

Nota. Fuente de datos: material docente de la asignatura de Principios de la Producción Vegetal de la ETSIA (Universidad de Sevilla, 2015). Elaboración propia.

Para su evaluación se utiliza los grados hidrotimétricos franceses (⁰F), como se puede observar a continuación, y según el valor obtenido se interpreta tomando como referencia la anterior Tabla 13.

Grados hidrotimétricos franceses (⁰F) = 5 x (me/L de Ca²⁺ + Mg²⁺) = 5 x (4,02 de Ca²⁺ + 2,33 de Mg²⁺) = 31,75 ⁰F.

Su interpretación nos indica que es un **tipo de agua medianamente dura**.

g) Índice de saturación de Langelier (Is).

Se utiliza para evaluar el riesgo de la obturación de los emisores en el riego localizado, debido a la precipitación de los carbonatos de calcio o magnesio que puedan formarse debido al agua de riego.

Los aniones, cationes y el valor del pH, necesarios para el cálculo de este índice, se obtienen de la Tabla 10, donde se muestran los datos del análisis químico del agua de riego. Las siguientes Tabla 14 y Tabla 15 se requieren para su cálculo e interpretación.

Tabla 14. Interpretación del Índice de saturación de Langelier (Is).

Is	Riesgo
Negativo	Ninguno
0	Pequeño
0 - 0,5	Medio
0,5 - 1	Alto
> 1	Muy alto

Nota. Fuente de datos: material docente de la asignatura de Principios de la Producción Vegetal de la ETSIA (Universidad de Sevilla, 2015). Elaboración propia

Tabla 15. Procedimiento para calcular el pHc del agua de riego.

Concentración (me/L)	pK ₂ - pKc	p(Ca)	p(Alk)
0,05	2,00	4,60	4,30
0,10	2,00	4,30	4,00
0,15	2,00	4,10	3,80
0,20	2,00	4,00	3,70
0,25	2,00	3,90	3,60
0,30	2,00	3,80	3,50
0,40	2,00	3,70	3,40
0,50	2,10	3,60	3,30
0,75	2,10	3,40	3,10
1,00	2,10	3,30	3,00
1,25	2,10	3,20	2,90
1,50	2,10	3,10	2,80
2,00	2,20	3,00	2,70
2,50	2,20	2,90	2,60
3,00	2,20	2,80	2,50
4,00	2,20	2,70	2,40
5,00	2,20	2,60	2,30
6,00	2,20	2,50	2,20
8,00	2,30	2,40	2,10
10,00	2,30	2,30	2,00
12,50	2,30	2,20	1,90
15,00	2,30	2,10	1,80
20,00	2,40	2,00	1,70
30,00	2,40	1,80	1,50
50,00	2,50	1,60	1,30
80,00	2,50	1,40	1,10

Nota. Fuente de datos: Water quality for agriculture. Table 25. (FAO, 1987). Elaboración propia.

El procedimiento e interpretación del resultado se reflejan a continuación:

- $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ = 4,02 \text{ me/L} + 2,33 \text{ me/L} + 3,39 \text{ me/L} = 9,74 \text{ me/L}$
- En la columna Concentración (me/L) de la Tabla 15 (procedimiento para calcular el pHc del agua de riego), se introduce el anterior valor calculado (9,74 me/L), obteniéndose $\text{pK}_2 - \text{pKc} = 2,30$
- Al igual que en el paso anterior, mediante el valor de Ca^{2+} (4,02 me/L) en este caso y utilizando también la Tabla 15, se obtiene $\text{p(Ca)} = 2,70$
- $\text{Alk} = \text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^- = 0 \text{ me/L} + 2,55 \text{ me/L} = 2,55 \text{ me/L}$
- Igualmente, con el valor anterior Alk (2,55 me/L) y la misma Tabla 15, se obtiene $\text{p(Alk)} = 2,60$
- $\text{pHc} = (\text{pK}_2 - \text{pKc}) + \text{p(Ca)} + \text{p(Alk)} = 2,30 + 2,70 + 2,60 = 7,60$
- $\text{Is} = \text{pH} - \text{pHc} = 7,5 - 7,6 = - 0,10$ (Negativo), el cual interpretado mediante la Tabla 14 nos indica de **ningún riesgo de obturación de los emisores (goteros)**.

Del estudio del agua de riego, se obtienen los resultados evaluados e interpretados en relación con su calidad para el uso de riego, como se puede observar a modo de resumen en la Tabla 16 presentada a continuación.

Tabla 16. Resumen de la evaluación e interpretación de la calidad del agua de riego, según las directrices de la FAO (1987).

Atributo	Interpretación
Salinidad ($CE_a = 1,05$ dS/m)	Grado de restricción de uso: Ligeramente a Moderado
pH (7,5)	Rango normal
Sodicidad (Infiltración) RAS ⁰ (1,49) y CE_a (1,05 dS/m)	Grado de restricción de uso: Ninguno
Toxicidad (en goteo)	Grado de restricción de uso: Ninguno
Bicarbonato (HCO_3^-)	(No para goteo)
Nitrógeno nítrico ($N-NO_3^- = 4,34$ mg/L)	Grado de restricción de uso: Ninguno
Dureza ($31,75$ °F)	Tipo de agua medianamente dura
Índice de saturación de Langelier ($Is = - 0,10$)	Ningún riesgo de obturación de los goteros

Nota. Agua de pozo del IFAPA Centro Las Torres – Tomejil. (Alcalá del Río, Sevilla, año 2014).
Fuente: Elaboración propia.

3.5 Material vegetal utilizado. Características del tubérculo de patata de la variedad Spunta.

En el ensayo experimental realizado, la patata empleada ha sido de la variedad Spunta, pudiéndose observar muestras en la Foto 1 y Foto 2. Se clasifica, según el criterio agronómico del ciclo de cultivo (entendiéndose como ciclo de cultivo, el número de días que discurren desde la siembra hasta la recolección, siendo este entre 90 y 120 días) como una variedad de media estación o semitemprana (García, 2014).

En base a la climatología de la Comunidad Autónoma Andaluza, la variedad Spunta se siembra entre los meses de febrero y marzo, recolectándose entre junio y julio (Junta de Andalucía, 2015).

El material vegetal utilizado para la siembra es de procedencia holandesa, el cual estaba oficialmente autorizado, certificado y en posesión del correspondiente Pasaporte Fitosanitario para la venta del citado material (BOJA N.º 125, pg. 17.619, 2001).

La patata de la variedad Spunta, ha sido utilizada anteriormente por el IFAPA en los ensayos experimentales de la RAEA de la Red de Patata en diferentes localidades de Andalucía (ver ANEXO III), presentado a modo de resumen en la Tabla 70 del citado anexo.

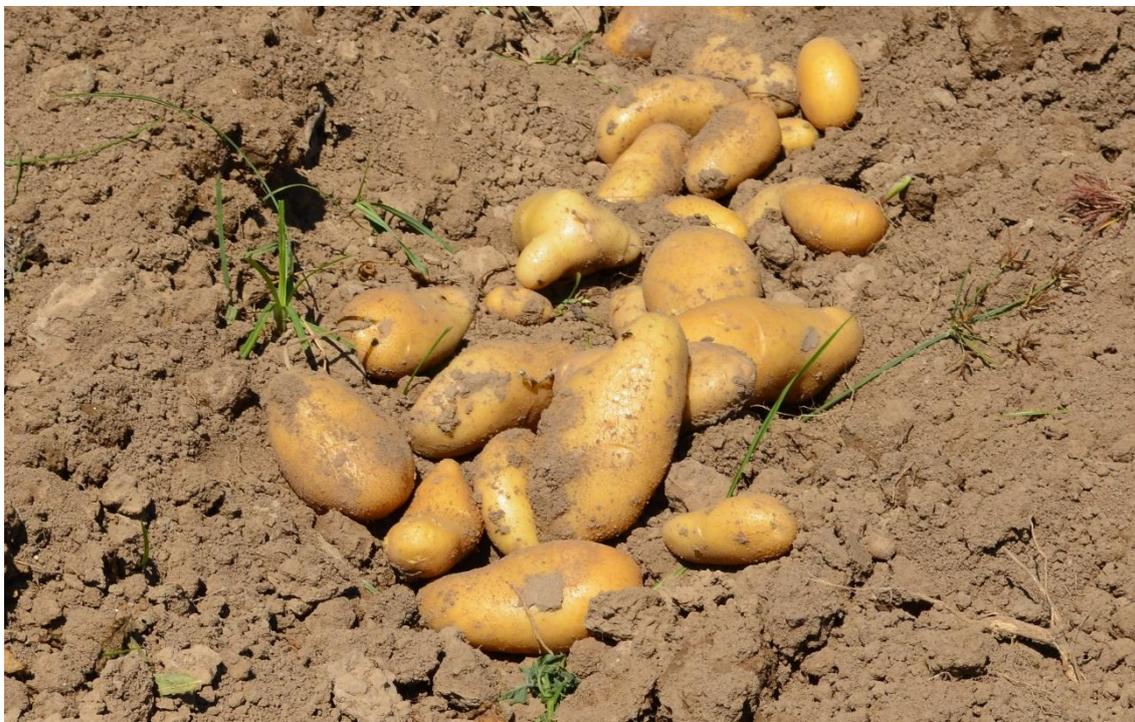


Foto 1. Patata de la variedad Spunta en el momento de la recolección.
Fuente: Elaboración propia.

Se puede visualizar en la Foto 1, diversos tubérculos de patata de la variedad Spunta en la fecha de la recolección, perteneciente al ensayo experimental realizado en el IFAPA Centro las Torres-Tomejil, el cual se desarrolla en el presente TFG de investigación.

En la siguiente Foto 2 que se presenta a continuación, se puede observar una muestra de la planta de patata variedad Spunta de manera íntegra en el laboratorio, donde se visualiza la parte subterránea (los tubérculos, las raíces y los rizomas o estolones) y la parte aérea (el tallo y las hojas). También se puede contemplar el tubérculo madre, utilizado para la plantación, cortado longitudinalmente y los tamaños de los tubérculos de consumo, siendo el de mayor tamaño longitudinal de aproximadamente 9 centímetros. Se percibe la parte del tallo subterráneo, el cual estaría en el campo a una profundidad cercana a los 15 centímetros.



Foto 2. Planta de patata de la variedad Spunta en el laboratorio.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente Tabla 17 (elaboración propia), se reflejan las características más importantes de la planta de patata y del tubérculo variedad Spunta (The European Cultivated Potato Database, 2011).

Tabla 17. Características de la planta de patata y del tubérculo variedad Spunta.

Atributo	Descripción
Taxonomía y Generalidades	
Taxón más alto	<i>Solanaceae</i>
Género	<i>Solanum tuberosum</i> L. cv. Spunta
Pedigree	Bea x USDA X 96 56
Obtentor	J. Oldenburger, Assem, Holland.
Derecho de obtentor	Si.
Administración	
País de origen	Países Bajos.
Características de la planta	
Bayas	Sin bayas. Muy raro.
Color de la flor	Blanca.
Frecuencia de flores	Raras. Raras a ocasionales.
Cubierta foliar	Buena. Buena a densa.
Hábito de crecimiento	Erecto. Extendido a semi erecto.
Color del brote	Azul.
Madurez	Intermedia. Temprana.
Características del tubérculo	
Color primario de la pulpa o carne	Amarillo claro. Amarillo.
Color de los ojos o yemas	Amarillo.
Profundidad ojo	Superficial. Muy superficial a poco profundo. Muy superficial.
Forma	Oval. Largo a oval. Muy largo.
Color de la piel	Blanco a amarillo.
Textura de la piel	Suave a intermedio. Suave.
Características de la tuberización	
Potencial de rendimiento	Medio. Alto. Alto a muy alto. Muy alto.
Potencial de rendimiento de cosecha temprana	Muy alto.
Tasa de carga	Rápida.
Tubérculos por planta	Medio a muchos. Muchos.
Tamaño del tubérculo	Grande. Grande a muy grande. Muy grande.
Uniformidad de la forma del tubérculo	Medio a uniforme. Uniforme.
Crecimiento secundario	Bajo a medio.
Tendencia al corazón hueco	Medio.
Resistencia al daño externo	Moderado.
Resistencia a hematomas internos	Alta. Alta a muy alta.
Capacidad de almacenamiento	Deficiente a moderada.
Características de utilización	
Tipo de cocina	Multipropósito
Factores de estrés ambiental	
Resistencia a la sequía	Alta. Alta a muy alta.
Resistencia a las heladas	Media.

3.6 Labores de cultivo.

3.6.1 Labores preparatorias del cultivo: presiembra.

La parcela del ensayo se encontraba exenta de cultivo anterior alguno. Estuvo sometida a una rotación con barbechos y otros cultivos no solanáceos con un periodo mínimo de tres años previos a la siembra de la patata en la campaña 2014, como así lo exige la Orden correspondiente (BOJA N.º 125, pg. 17.623, 2001).

Los tipos y las diferentes cuantías del abonado de fondo aplicado se pueden observar en la siguiente Tabla 18 (abonado 1 o A1) y Tabla 19 (abonado 2 o A2)

Tabla 18. Tipo de abonado de fondo o sementera y cuantía aportado, para el abonado 1 (A1).

Tipo de abono	kg/ha
Compuesto (15-15-15)	373,33
Superfosfato de cal (18 % P ₂ O ₅)	244,44
Sulfato potásico (48 % K ₂ O)	202,08
Total	819,85

Tabla 19. Tipo de abonado de fondo o sementera y cuantía aportado, para el abonado 2 (A2).

Tipo de abono	kg/ha
Compuesto (15-15-15)	556,00
Superfosfato de cal (18 % P ₂ O ₅)	92,22
Sulfato potásico (48 % K ₂ O)	145,00
Total	793,22

Posterior a la aplicación del abonado de fondo, se procedió a la labranza del terreno haciendo uso del apero agrícola rotovator, dejando el terreno adecuadamente mezclado. A continuación, mediante el apero conformador, se realizaron los lomos sobre los cuales se procedió a la siembra de la patata en los líneas correspondientes.

3.6.2 Labores de siembra.

La siembra de la patata se realizó de forma manual con fecha el 5 de marzo de 2014. Se realizó con el suelo en estado de tempero, inferior al 80 % de la capacidad de campo, como así lo marca la obligatoriedad de la Orden correspondiente (BOJA N.º 125, pg. 17.619, 2001). La profundidad de siembra estuvo en torno a los 15 centímetros, siguiendo las recomendaciones de la Producción Integrada de patata en Andalucía (BOJA N.º 125, pg. 17.619, 2001).

Previo a la siembra o plantación, se troceó el tubérculo de siembra en dos porciones aproximadamente iguales, mediante un corte limpio en la dirección que une el eje del

tubérculo desde su punto de inserción (ombbligo) a la mata, hasta el polo opuesto o apical (corona), obteniéndose de esta forma dos porciones lo más semejante posible en cuanto a tamaño, ojos y yemas (Pastor, 1953).

La distancia entre plantas fue de 20 centímetros y entre líneas de 80 centímetros, por lo que el marco de siembra fue de 0,2 m x 0,8 m. De esta manera, a cada planta le corresponde una superficie de 0,16 m².

Los lomos de siembra se realizaron con la tierra muy suelta pero firme y bien aireada, siendo la altura mínima de 30 centímetros, siguiendo la obligatoriedad del Reglamento Específico de Producción Integrada de Patata publicado (BOJA N.º 125, pg. 17.619, 2001).

3.6.3 Tratamientos fitosanitarios.

Al ser un ensayo experimental y para evitar problemas debido a las posibles enfermedades y plagas que le pudieran afectar al cultivo de la patata, los tratamientos fitosanitarios aplicados han sido siempre preventivos, basándose en la experiencia y el muestreo visual realizado, con un umbral menor o igual a 1 en el caso de las plagas.

Estas enfermedades y plagas, con su respectiva época de aplicación y materia activa utilizada, se puede visualizar en la siguiente Tabla 20. De las plagas principales que le pudieran afectar al cultivo de la patata en la zona y fecha donde se ha realizado el ensayo (Alcalá del Río, Sevilla, año 2014), la rosquilla negra o prodenia (*Spodoptera littoralis*) es una plaga secundaria, y debido a su baja o nula incidencia no fue tratada.

Tabla 20. Tratamientos fitosanitarios realizados en el cultivo de la patata variedad Spunta.

Enfermedad & Plaga	Época de la aplicación	Materia activa
Enfermedad		
Alternaria (<i>Alternaria solani</i>)	04/04/2014	Folpet
Antracnosis (<i>Colletotrichum coccodes</i>)	04/04/2014	Folpet
Fusariosis (<i>Fusarium solani</i>)	04/04/2014	Folpet
Mildiu (<i>Phytophthora infestans</i>)	04/04/2014	Folpet
Alternaria (<i>Alternaria solani</i>)	25/04/2014	Captan
Mildiu (<i>Phytophthora infestans</i>)	25/04/2014	Captan
Alternaria (<i>Alternaria solani</i>)	23/05/2014	Clortalonil
Mildiu (<i>Phytophthora infestans</i>)	23/05/2014	Clortalonil
Plaga		
Palomilla de la patata (<i>Phthorimaea operculella</i>)	20/06/2014	Piretroide: Cipermetrina
Escarabajo de la patata (<i>Leptinotarsa decemlineata</i>)	Presiembra	Diazinon
Gusano de alambre (<i>Agriotes spp.</i>)	Presiembra	Diazinon
Rosquilla negra o Prodenia (<i>Spodoptera littoralis</i>)	-----	-----

Nota. Leyenda ----- (sin tratamiento).

3.7 Riego y fertirrigación.

3.7.1 Material de riego.

El material de riego y sus características se pueden visualizar en la Tabla 21 presentada a continuación, siendo el utilizado en el ensayo mediante el riego localizado por goteo.

Tabla 21. Material de riego utilizado durante el cultivo de la patata.

Material	Características	
Goteros	q = 2,2 L/h	Marco de riego = 0,33 m x 0,80 m
Laterales	PEBD 16 mm/4 atm.	
Portalaterales	PEAD 40 mm/6 atm.	
Red secundaria	PVC 75 mm/6 atm.	

Los goteros fueron alimentados mediante una tubería de PEBD de 16 mm de diámetro, con un timbraje de 4 atmósferas. Se dispusieron a lo largo del líneao del cultivo.

Los laterales se conectaron a los portalaterales de PEAD de 40 milímetros de diámetro y 6 atmósfera de timbraje. Próxima a la unión con la red secundaria, se situaron las llaves de apertura y cierre manual de 40 milímetros, como se puede observar en la siguiente Foto 3.

Finalmente, los portalaterales se conectaron a la red secundaria de PVC de 75 milímetros de diámetro y 6 atmósfera de timbraje.



Foto 3. Portalaterales y llaves de riego (manuales).

Fuente: Elaboración propia.

3.7.2 Fertirrigación.

Los fertilizantes o abonos utilizados durante el presente ensayo fueron aplicados de dos formas diferentes: de forma sólida y en disolución.

En primer lugar, se aplicó de forma sólida mediante el abonado de fondo o sembrera, y cuyo estudio se realizó anteriormente.

La segunda forma de aplicación fue en disolución mediante el fertirriego, siendo los tipos de fertilizantes utilizados los reflejados en la siguiente Tabla 22.

Tabla 22. Fertilizantes aplicados mediante fertirriego durante el cultivo de la patata.

Tipo	Riqueza	Método de aplicación
Nitrato amónico (NH_4NO_3)	33,5 % N	Fertirriego
Ácido fosfórico (H_3PO_4) 75 %	0 - 52 - 0	Fertirriego
Nitrato potásico (KNO_3)	13 - 0 - 46	Fertirriego

Las soluciones nutritivas aplicadas mediante el fertirriego fueron vertidas a un depósito único, y mediante el uso de una bomba de infusión tipo Venturi, se suministraba la cantidad imprescindible de fertilizante a la red de riego, cada vez que se realizaba tal técnica de fertirriego.

3.8 Diseño experimental y tratamientos.

3.8.1 Diseño experimental.

El diseño experimental observado en la siguiente Figura 20, fue de bloques al azar con tres repeticiones (3 bloques) por cada tratamiento. Cada parcela experimental o parcela elemental tenía un área de 48 m^2 y contenía tres líneas de cultivo con un marco de plantación de $0,2 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}$ por planta. Las tomas de medidas se realizaron en la línea central, evitándose de esta manera el efecto borde.

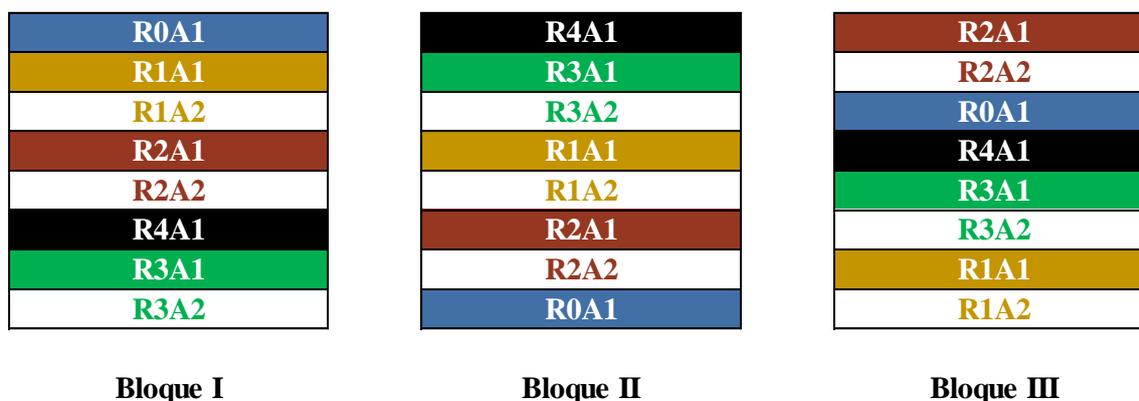


Figura 20. Croquis del diseño experimental de los diferentes tratamientos de riegos y abonados.

3.8.2 Tratamientos de riego y abonado en el ensayo.

Se diseñó un ensayo experimental factorial de dos factores, para estudiar los posibles efectos de las variables riego y abonado nitrogenado durante el desarrollo del cultivo de la patata.

El experimento factorial consistió en tres niveles de riego (R1, R2, R3) y dos niveles de abonado (A1, A2) e incluye 3 repeticiones (seis combinaciones posibles en cada bloque) como se puede observar en la anterior Figura 20.

Como también puede verse en el croquis de la Figura 20, adicionalmente al ensayo factorial descrito, se ensayaron con otros dos tratamientos extremos de riego (R0, R4), con el nivel de abonado A1 (recomendado por la UE), igualmente con tres repeticiones de cada tratamiento, con el fin de completar la función de producción del riego con este nivel de abonado.

Por lo tanto, cada uno de los bloques (Bloque I, Bloque II, Bloque III) incluye todos los niveles de riego con su respectivo nivel de abonado diseñado. Consecuentemente, cada bloque constituye una repetición.

Las dosis necesarias de riego del cultivo de la patata llamada dosis potencial (DP), se han estimado haciendo uso de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y el agua de lluvia o precipitación (P), obteniéndose la ecuación $DP = ET_c - P$. En función de estas necesidades de agua se ha programado el riego. Con esta programación se considera adecuada la capacidad de campo del suelo, el consumo de agua por la planta durante el ciclo de cultivo con los aportes pequeños y frecuentes (Thornton & Siczka, 1980) mediante el manejo del riego por goteo y, en definitiva, las necesidades de agua requeridas por la planta de la patata en las condiciones de cultivo del ensayo.

En la siguiente Tabla 23, se pueden observar los distintos niveles de riego aplicados durante el ensayo.

Tabla 23. Tratamientos de riego aplicados.

R0	R1	R2	R3	R4
Riego localizado				
60 % DP	80 % DP	100 % DP	120 % DP	140 % DP
313 mm	418 mm	524 mm	629 mm	735 mm

Nota. La dosis potencial (DP), entendida como la que proporciona la producción potencial del cultivo, fue calculada como $ET_c - P$. La ET_c es la evapotranspiración potencial del cultivo. La P es la precipitación debida a la lluvia.

En la Tabla 24 que se presenta a continuación, se puede observar los distintos niveles de abonado aplicados en el ensayo. Las cuantías de las unidades fertilizantes correspondientes a fósforo y potasio son las mismas para los dos tipos de abonado (A1, A2), y es de este modo porque uno de nuestros objetivos es minimizar la contaminación

debida a los nitratos. En Andalucía existen identificadas 24 Zonas Vulnerables (ZV) asociadas al mal uso y a la mala aplicación de los compuestos nitrogenados (BOJA N.º 157, pg. 48, 2009), y como ya se dijo anteriormente, nuestra parcela de ensayo se encuentra situada en tal nominación vulnerable.

Tabla 24. Tratamientos de abonado aplicados durante en el ensayo en kg/ha.

Unidad fertilizante	Dosis de abonado 1 (A1)	Dosis de abonado 2 (A2)
Nitrógeno	189	260
Fósforo	140	140
Potasio	301	301

La aplicación del abonado de fondo y la distribución del abonado de cobertera mediante la fertirrigación en los dos tratamientos de abonado (A1, A2), se realizó como aparece seguidamente en la Tablas 25 y Tabla 26, según la distribución en el tiempo recomendada por Oltra et al. (2006b).

La utilización de estas dosis de abonado se justifica para el cumplimiento de la Normativa de la Condicionalidad de la Unión Europea, en la cual se propone que, para 10 toneladas de producción estimada de tubérculos de patata, le corresponden 42 UFN por hectárea. La unidad UFN corresponde a 1 kg de nitrógeno. La producción media de patata cosechada en ensayos anteriores realizados por la RAEA ha sido de 45.000 kg/ha, por lo que la dosis máxima de nitrógeno necesaria es de 189 UFN por hectárea (45.000 kg/ha de producción media x 42 UFN/ha/10.000 kg de producción de patatas estimadas = 189 UFN/ha). Los productores consultados, aplicaron una media de 260 UFN por hectárea, tomándola como referencia para compararla con la máxima propuesta por la citada Condicionalidad.

Tabla 25. Datos y distribución del abonado 1 (A1).

Abonado 1 (A1)	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	
Total (Fondo total + Cobertera total)	189	140	301	
Fondo o Sementera total	56,0	100,0	153,0	
Cobertera total (∑Cobertera parcial)	133,0	40,0	148,0	
Fase fenológica	semana	Cobertera parcial		
Emergencia	(1-5)	24,0	30,0	0,0
Estolonización	(6-7)	12,0	10,0	0,0
Comienzo del tubérculo	(8-10)	63,0	0,0	64,0
Relleno del tubérculo	(11-13)	34,0	0,0	64,0
	(14-16)	0,0	0,0	20,0

Nota. El abonado de fondo o sementera debe ser menor al 30% del total de abonado (189 x 0,3 = 56,7), y en el ensayo se aplica 56,0 (BOJA N.º 40, pg. 28, 2009). Elaboración propia.

Tabla 26. Datos y distribución del abonado 2 (A2).

Abonado 2 (A2)		N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)
Total (Fondo total + Cobertera total)		260	140	301
Fondo o Sementera total		83,4	100,0	153,0
Cobertera total (Σ Cobertera parcial)		176,6	40,0	148,0

Fase fenológica	semana	Cobertera parcial		
Emergencia	(1-5)	31,5	30,0	0,0
Estolonización	(6-7)	10,4	10,0	0,0
Comienzo del tubérculo	(8-10)	87,6	0,0	64,0
Relleno del tubérculo	(11-13)	47,1	0,0	64,0
	(14-16)	0,0	0,0	20,0

Nota. Elaboración propia.

3.9 Medidas de la producción final y calibre del tubérculo.

3.9.1 Producción en la recolección.

La recolección se realizó el día 3 de julio de 2014 y de forma semimanual. Se utilizó el apero agrícola cola de golondrina, para facilitar el desenterrado de los tubérculos que estuviesen más profundos.



Foto 4. Patatas desenterradas en recolección, de los tres lineos de la mitad de una parcela elemental.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la anterior Foto 4, de cada línea o lomo de cultivo, constituido por 16 m² (20 m x 0,8 m), se recolectó la mitad de su superficie (8 m²), siendo de esta forma la longitud del lomo recolectado de 10 metros, marcando el límite la etiqueta amarilla que se observa. Dicho de otra manera, de los tres líneas de cultivo (16 m² cada línea) que componen una parcela elemental o experimental (48 m²), se recolectó la mitad (8 m² de cada línea ó 24 m² de la parcela elemental).

Se realizó de esta manera porque se diseñó cada lomo de tal forma que la mitad de la longitud del línea fuese para la toma de las muestras y medidas correspondientes, y la otra mitad destinada exclusivamente a la recolección, evitándose de este modo tanto el pisoteo del terreno durante las tomas de medidas y por parte del personal de campo, como de los posibles daños que se pudieran ocasionar en las plantas de la patata.

3.9.2 Recolección y clasificación de los tubérculos.

Una vez que los tubérculos fueron desenterrados, se procedió a su recogida y clasificado, según cada tratamiento de riego y abonado, en sacos adecuadamente identificados, como se puede visualizar en la siguiente Foto 5.



Foto 5. Sacos clasificados de patata en la recolección.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se transportaron los sacos de patatas a la nave destinada al desvío, limpieza, pesaje y calibrado, con los correspondientes materiales y recursos humanos propios del IFAPA Centro Las Torres-Tomejil.

3.10 Medidas realizadas durante el cultivo.

3.10.1 Medida del contenido volumétrico de agua en el suelo

En el tratamiento R2A1 del bloque I perteneciente a la parcela experimental del ensayo, se instalaron tres sensores de contenido volumétrico de agua (θ), que realizaban medidas cada 20 minutos a las profundidades de 0,2 metros, 0,4 metros y 0,6 metros en el bulbo de riego, con el fin de observar la dinámica del agua en la zona radicular. Los sensores eran de tipo capacitivo (Sonda EC-5, Decagon Devices Inc, Pullman, WA, USA) y las medidas eran almacenadas en un datalogger (Datalogger Em50, Decagon Devices Inc, Pullman WA, USA).

3.10.2 Medidas de crecimiento y desarrollo.

Las medidas se realizaron en el periodo comprendido desde el día 4 de junio que corresponde a 91 días después de la plantación (DDP 91), al día 2 de Julio o 119 días después de la plantación (DDP 119), siendo esta última fecha 3 días antes de la recolección.

Estas medidas se llevaron a cabo tomando dos plantas de la línea central de las parcelas experimentales en las fechas DDP estudiadas (DDP 91, DDP 98, DDP 105, DDP 112 y DDP 119). En estas plantas se realizaron las medidas de crecimiento y desarrollo que se detallan en los siguientes apartados.

3.10.2.1 Altura de la planta.

La medida fue en los DDP 91, DDP 98 y DDP 112. Se realizó en el laboratorio, donde se llevaron las plantas una vez extraídas del campo y convenientemente etiquetadas, midiéndose desde el cuello de la planta hasta la última hoja con la planta extendida. Para medir la altura de planta se utilizó un flexómetro.

3.10.2.2 Número de tallos por planta.

Igual que en el caso anterior, la medida se determinó también en el laboratorio y asimismo en los DDP 91, DDP 98 y DDP 112.

3.10.2.3 Índice de Área Foliar (IAF).

Se realizó una medida por tratamiento del IAF los DDP 98 y DDP 112. Para ello, una vez que las plantas estaban en el laboratorio, se separaban las hojas. Posteriormente, haciendo uso del sistema de medición del área foliar WinDIAS (Delta-T Devices Ltd., 2012), se obtenía el área foliar en cm^2 de la planta correspondiente. A continuación, se procedió a los respectivos cálculos para obtener los m^2 de hojas por cada m^2 de suelo, atendiendo a la definición de índice de área foliar.

3.10.2.4 Número de tubérculos por hectárea.

Se determinó en el laboratorio, contabilizando el número de tubérculos por planta. Posteriormente, se transformó a la unidad de tubérculos por hectárea.

3.10.2.5 Peso medio del tubérculo.

Se determinó a partir del peso total y el número total de los tubérculos por plantas.

3.10.2.6 Rendimiento de patatas.

En relación con la evolución del rendimiento en el periodo estudiado, en cada DDP (DDP 91, DDP 98, DDP 105, DDP 112 y DDP 119) se contabilizó el peso de los tubérculos de patatas de 2 plantas por cada parcela experimental. El resultado se convirtió a la unidad de kilogramos por hectárea, teniendo en cuenta el marco de plantación de 0,16 m²/planta. Para la pesada, se utilizó una balanza electrónica de precisión.

3.10.2.7 Calibre promedio de los tubérculos.

Medido en el laboratorio mediante un calibre electrónico, y se realizó de todos los tubérculos obtenidos por cada planta. El calibre determinado fue siguiendo el criterio de la medida de la máxima anchura del tubérculo, cumpliéndose de este modo la normativa relativa al calibrado (BOE N.º 21, pg. 8179, 2009).

3.10.2.8 Porcentaje de materia seca de los tubérculos.

A partir de los datos de las muestras de peso fresco y materia seca del tubérculo, se procedió mediante el cálculo correspondiente para obtener el porcentaje de la materia seca (MS %), y que a modo indicativo sería la cantidad en gramos de la materia seca de la muestra entre la cantidad en gramos del peso fresco de la muestra y su resultado multiplicado por 100.

La patata de la variedad Spunta posee un contenido bajo-medio de materia seca (The European Cultivated Potato Database, 2011), estando para el caso de nuestro estudio en el rango comprendido entre el 14,88 % y el 23,92 %. Este rango queda prácticamente enmarcado dentro del de las variedades de patata destinadas a la alimentación humana (16 % a 27 %), dándose este contenido en la madurez (Mateo, 1999, p. 492).

3.10.2.9 Contenido porcentual de proteínas en el tubérculo.

Se determinó en el laboratorio del Departamento de Horticultura del IFAPA, a partir de las muestras de patata en fresco (es decir, sin ser sometida a ningún proceso de desecación alguno) mediante el método Kjeldahl (Association of Official Analytical Chemists, 1990), siendo el más utilizado actualmente.

La patata, al igual que el resto de alimentos, está formado por una compleja combinación de fracción nitrogenada no proteica y proteica, siendo la fracción proteica la analizada mediante este método, obteniéndose la cantidad de nitrógeno total, la cual se multiplica por el factor tabulado 6,25 (al considerarse el contenido promedio de nitrógeno en las proteínas de los alimentos del 16 %) para conseguir la cuantía de proteína objetivo (Besse, 1981). El resultado obtenido es una adecuada aproximación del contenido proteico de un alimento en fresco o crudo.

3.10.2.10 Contenidos en materia seca.

La materia seca es un parámetro indirecto que se obtiene a partir de los pesos frescos. Una vez recibidas las plantas en el laboratorio procedentes de la parcela del ensayo de campo, se separaban en sus diferentes partes (tubérculos, raíces, tallos, peciolo y hojas) y se distribuían en sus respectivas bandejas blancas de plástico, adecuadamente etiquetadas.

Primeramente, se determinó los pesos frescos de los tubérculos, las raíces, los tallos, los peciolo y las hojas. Se realizó la pesada mediante una balanza electrónica de precisión, obteniéndose los pesos frescos por planta.

A continuación, se procedió a la determinación de la materia seca, definiéndose esta como la cantidad de la fracción sólida que se obtiene después de eliminar la fracción húmeda mediante un proceso de secado. Para tal labor, se seleccionaron las correspondientes muestras de los pesos frescos obtenidos anteriormente, se introdujeron en sobres de papel adecuadamente identificados y se sometieron a un proceso de secado a una temperatura de 65 °C durante 72 horas en la estufa de ventilación forzada. Los resultados obtenidos en la unidad gramos por planta, se transformaron posteriormente a kilogramos por hectárea.

Es de gran importancia e interés el contenido de materia seca de los tubérculos, debido a que entre el 75 % y el 80 % de la materia seca producida por la planta de patata, se acumula en los tubérculos (Ivins & Bremmer, 1965).

3.10.3 Medidas de las relaciones hídricas del cultivo.

Las medidas se realizaron a las 8 horas de la mañana y a las 12 horas del mediodía en cada parcela experimental, comenzándose el registro de las diferentes medidas en el DDP 91 y finalizando en el DDP 119.

Se emplearon diferentes indicadores del estado hídrico de la planta, como son el porcentaje de humedad, temperatura por radiación infrarroja, radiación NIR y potencial hídrico. Las medidas de esta índole estudiadas se describen a continuación.

3.10.3.1 Porcentaje de humedad.

Este parámetro indirecto se determinó para las raíces, los tallos, los peciolo y las hojas de una planta por cada hora de medida (8 y 12 horas) en cada parcela experimental. Se calculó por diferencia basándonos en el peso fresco y la materia seca obtenida.

3.10.3.2 Temperatura en las hojas y en la cubierta, mediante termometría.

En la termometría se utilizó dos tipos de tecnologías distintas: el termómetro infrarrojo (comúnmente y de manera errónea llamado “láser”) y la cámara termográfica (termografía). Mediante su utilización se midió la temperatura en el haz de las hojas y en la cubierta de la planta.

Para la termografía se utilizó la cámara termográfica de la marca testo (modelo 885) que se observa en la siguiente Foto 6, mientras que el termómetro infrarrojo utilizado fue de la marca Raytek (modelo Raynger, serie MX) presentado en la posterior Foto 7.



Foto 6. Cámara termográfica testo.
Fuente: Elaboración propia.



Foto 7. Termómetro infrarrojo Raytek.
Fuente: Elaboración propia.

En ambas tecnologías, el fundamento es la medida de la radiación infrarroja emitida, variando la obtención de los datos de temperaturas registrados.

Para la medida de la temperatura de las hojas con ambas tecnologías, se seleccionaron tres hojas por cada planta, escogiéndose una planta por cada parcela experimental y hora. Las hojas estaban orientadas al sur, siguiendo el criterio de una hoja base, una hoja media y una hoja superior. Las hojas seleccionadas eran siempre las mismas para la medición con las dos tecnologías, marcadas previamente con el correspondiente etiquetado.

En el caso de la cámara termográfica (termografía), una vez tomada en campo la imagen térmica correspondiente de toda la hoja como la de la siguiente Figura 21, se procedía en gabinete mediante el programa informático de la casa testó, al marcaje de la superficie de tres folíolos alternos del lado derecho de cada hoja, como se puede observar en la Figura 22, donde se refleja la elección de un folíolo. Posteriormente, mediante una integral térmica nos arrojaba el valor medio, un valor mínimo y un valor máximo de temperatura buscado, reflejado en el histograma correspondiente, como se puede observar en la posterior Figura 23, anotándolos en la hoja de cálculo diseñada. A continuación, partiendo del valor medio de cada folíolo, se obtuvo el valor promedio de las tres hojas de cada planta y el valor promedio final de cada planta estudiada.

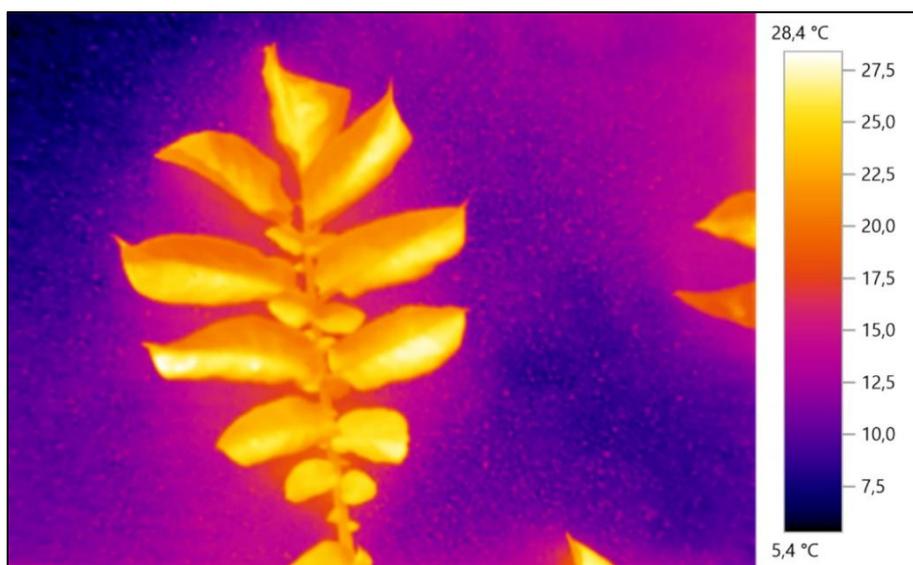


Figura 21. Imagen térmica de la hoja de la patata.
Fuente: Elaboración propia.

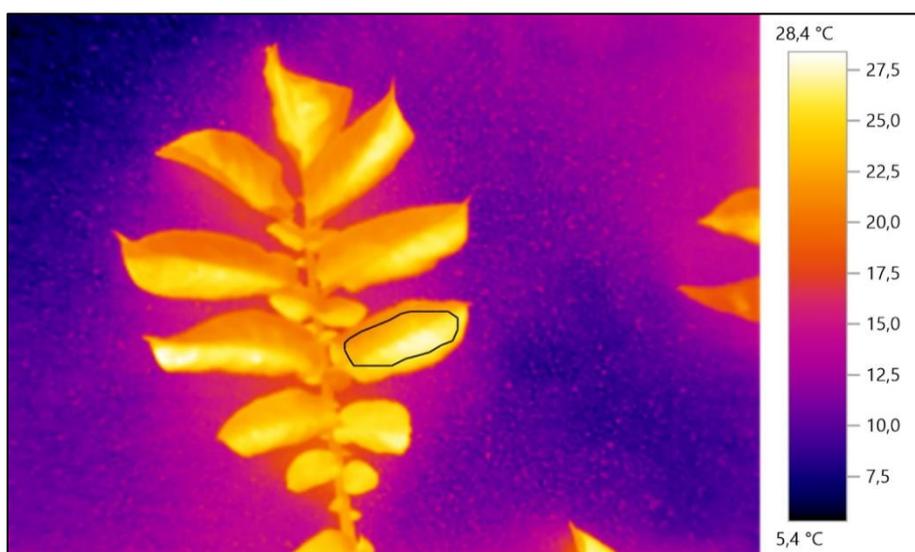


Figura 22. Selección en la imagen térmica, de un folíolo de la hoja de patata.
Fuente: Elaboración propia.

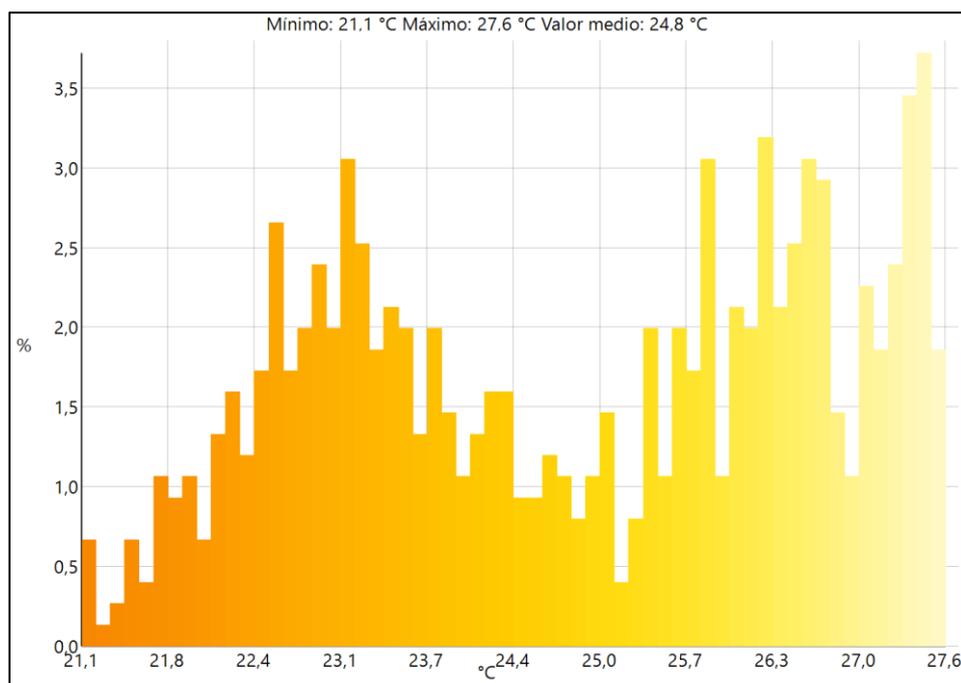


Figura 23. Histograma obtenido de la imagen térmica.
Fuente: Elaboración propia.

También para el caso del termómetro infrarrojo (“láser”), de cada hoja se midió la temperatura de los mismos tres folíolos alternos del lado derecho, como en el caso de la anterior tecnología, anotándose en el cuaderno de campo correspondiente y en la posterior hoja de cálculo informatizada. Se obtuvo el valor medio de la temperatura de los tres folíolos de cada hoja, el promedio de la temperatura de las tres hojas por cada planta y el valor promedio de temperatura final de cada planta medida, al igual como se obtuvo en el caso anterior.

Para la temperatura de la cubierta, tomada con ambas tecnologías, se eligió las mismas plantas de las que se obtuvo la temperatura de las hojas. Se realizó en campo una medida de cada planta en cada parcela experimental a las mismas horas (8 y 12) en cada DDP establecida, situándonos a una distancia de la cubierta de unos 0,5 metros.

A modo de excepción, y debida a la disponibilidad que tuvimos en relación con la cámara termográfica, es de interés resaltar que las medidas solamente pudieron ser tomadas para los dos últimos DDP, siendo estos los DDP 112 y DDP 119.

En la siguiente imagen térmica de la cubierta de la planta de patata, representada en la siguiente Figura 24, se puede observar la utilidad de poder seleccionar la parte vegetal de la planta de interés para la temperatura deseada, despreciando otras que podrían intervenir negativamente en el registro deseado, la cual se visualiza marcada, como por ejemplo pudiera ser una inflorescencia. Igualmente, como en el caso de las hojas, se obtendría el histograma correspondiente, donde se registra el valor medio, el máximo y el mínimo de temperatura, como queda reflejado en la posterior Figura 25.

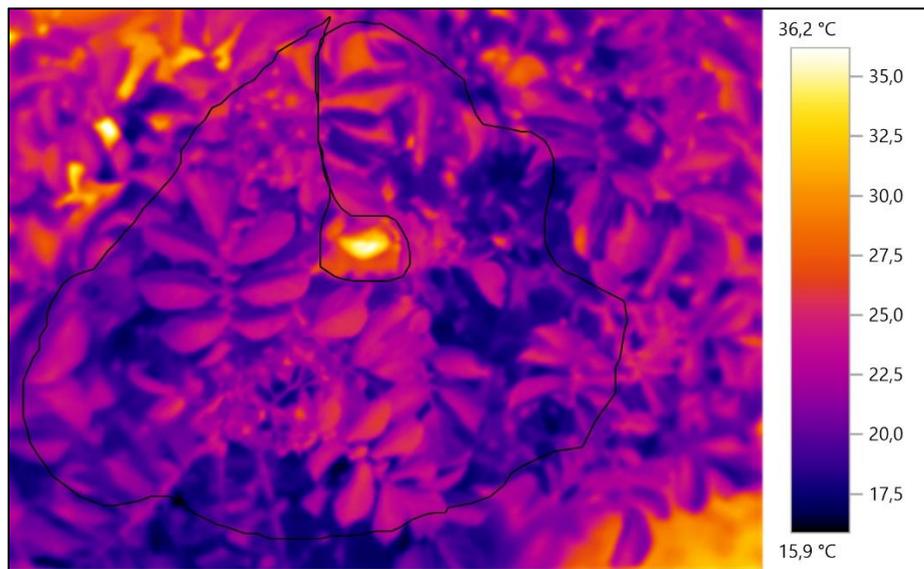


Figura 24. Selección en la imagen térmica, de la zona de la cubierta deseada de la planta de patata.
Fuente: Elaboración propia.

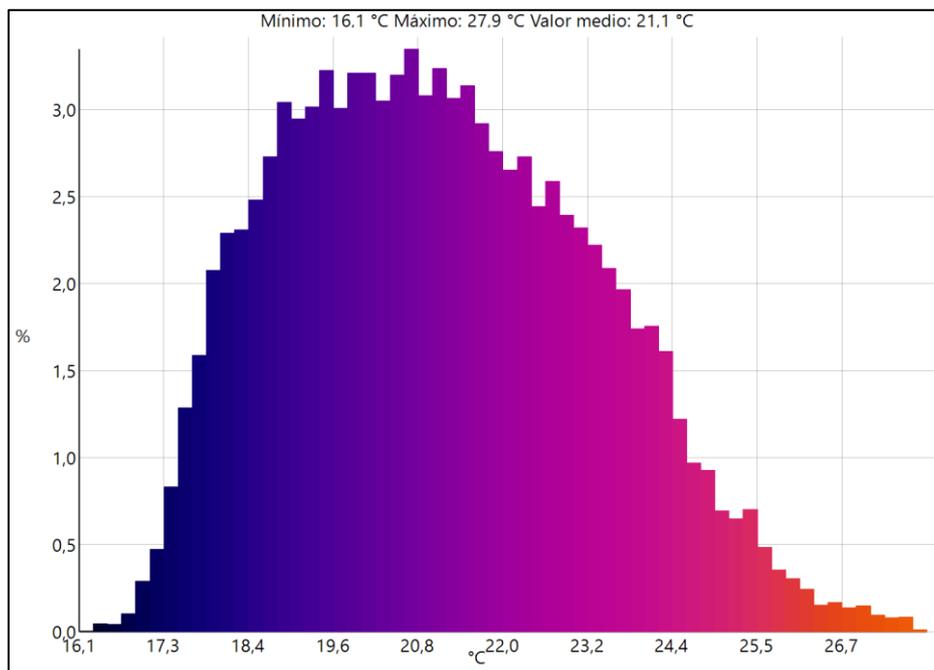


Figura 25. Histograma obtenido de la imagen térmica de la cubierta de la planta de patata.
Fuente: Elaboración propia.

3.10.3.3 Medición con Espectroscopía en Infrarrojo Cercano (NIRS).

Se utilizó el instrumento analizador de infrarrojo cercano de mano de la marca Polychromix modelo Phazir, que se puede visualizar en las siguientes Foto 8 y Foto 9. Pertenece a Producciones Animales del Departamento de Ciencias Agroforestales de la ETSIA de la Universidad de Sevilla.



Foto 8. Instrumento de medida NIRS portátil.
Fuente: Elaboración propia.



Foto 9. Detalle del lector NIR portátil.
Fuente: Elaboración propia.

El rango espectral de medida NIR del modelo utilizado es de 1.600 a 2.400 nm, tomándose la media cada 8 nm. En la anterior Foto 9, se puede observar el lector del instrumento, teniendo una fuente de luz de lampara de tungsteno no dañina.

La medición NIRS (la cual es una medida no destructiva del material vegetal a analizar) y su posterior estudio, se hizo en las mismas hojas (en el haz) utilizadas para la medida de la temperatura (termómetro infrarrojo y cámara termográfica), siendo estas de las mismas plantas sobre las que se efectuó posteriormente la medida del potencial hídrico.

Se realizó en los mismos folíolos seleccionados para la medida de la temperatura con el termómetro infrarrojo y la cámara termográfica, con la diferencia que para el caso NIRS que nos lleva, por cada folíolo se tomó dos medidas NIRS, una a cada lado del nervio central del folíolo de la forma más simétrica posible, como se puede visualizar en la siguiente Figura 26, observándose los puntos (en color rojo) aproximados de medida. Por lo tanto, por cada hoja de la planta de patata se realizaron 6 medidas NIRS, haciendo un total de 18 medidas NIRS por cada planta (3 hojas por cada planta) y hora (8 y 12 hora) en cada parcela elemental. Un detalle de la medida NIRS portátil, realizada en el campo de ensayo sobre un folíolo de la hoja de la patata, se puede visualizar en la posterior Foto 10.



Figura 26. Detalle de la medición NIRS en los folíolos de la hoja de patata.
Fuente: Elaboración propia.



Foto 10. Detalle de la medida en el folíolo de la hoja de patata con el lector NIRS portátil.
Fuente: Elaboración propia.

Como se podrá observar en el correspondiente apartado (resultados y discusión), el análisis posterior en gabinete de las medidas NIRS obtenidas, se ha realizado de forma cuantitativa, es decir, de forma conjunta contabilizando los 5 tratamientos de fertirriego con el abonado 1 (A1) en las cinco fechas DDP (DDP 91, DDP 98, DDP 105, DDP 112, DDP 119) del periodo examinado, estudiando la correlación entre este tipo de medida y los otros indicadores del estado hídrico estudiados.

La idea básica de la tecnología NIRS, se puede observar en la siguiente Figura 27, tomando como ejemplo el parámetro de la temperatura en la hoja de la patata mediante el termómetro infrarrojo, el cual ha sido utilizado en el ensayo de este TFG.

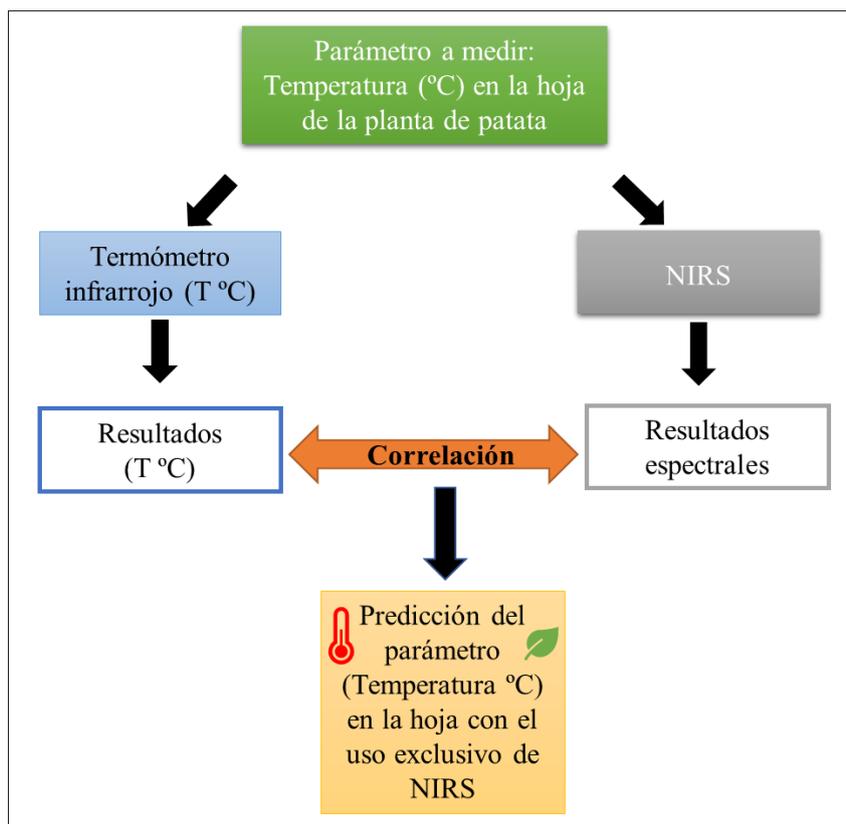


Figura 27. Diagrama del proceso del análisis con NIRS.

Fuente: Elaboración propia.

3.10.3.4 Potencial hídrico xilemático. Cámara de Scholander.

El instrumento utilizado ha sido una cámara de presión Scholander (modelo 3000, Soil Moisture Equipment Corporation, Santa Barbara, California, EE. UU.), pudiéndose observar en la siguiente Foto 11, situada en la parcela del ensayo.

Para su estudio se tomaron 3 hojas por cada planta (una hoja base, una hoja media y una hoja superior), de la misma planta seleccionada para la termometría y NIRS, e igualmente a las 8 horas de la mañana y 12 horas del mediodía, y estando orientada al

norte para facilitar su máximo sombreado (Comunicación personal). La medida de este parámetro fue la última realizada en campo, debido a su carácter destructivo.

Para realizar la medida lo más correctamente posible, se procedió a un corte basal del peciolo y su posterior introducción en la cámara de presión, en el menor tiempo posible. El peciolo de la hoja es la parte visible que queda exterior a la cámara de presión y sobre la cual se visualiza con atención para anotar la medición de la presión en la unidad correspondiente. A continuación, se va aumentando lenta y progresivamente la presión en el interior de la cámara herméticamente cerrada, teniendo en cuenta las recomendaciones de Turner (1981), hasta observarse mediante una lupa en la zona visible del peciolo previamente seccionado, la aparición de una capa húmeda y un pequeño burbujeo, momento en el cual se cierra la válvula de presión y se anota la medida en el estadillo de campo. Este instante corresponde al equilibrio potencial entre la presión interior y exterior de la hoja.

Excepcionalmente y debido a problemas técnicos, esta medida solo pudo registrarse en el DDP 91 y el DDP 119. Hubiera sido de gran interés poder disponer de las medidas en todos los DDP, para poder proponer criterios de riego más fundamentado, basándose en el estrés hídrico en la planta durante el periodo estudiado.



Foto 11. Cámara de Scholander en la parcela de ensayo de patatas, en el IFAPA Las Torres-Tomejil.
Fuente: Elaboración propia.

3.11 Análisis Estadístico.

El análisis estadístico empleado para el estudio de los parámetros medidos en el ensayo se ha realizado mediante el programa informático de estadística Statistix 8 (versión 8.0), aplicando un ANOVA para cada parámetro, seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Climatología.

En la Tabla 27 que se presenta a continuación, se pueden observar los valores mensuales de las variables agroclimáticas, obtenidas en la Estación Meteorológica del IFAPA Centro Las Torres-Tomejil de Alcalá del Río (Sevilla) durante el ensayo.

Tabla 27. Variables y valores agroclimáticos registrados durante los meses del ensayo de la patata.

	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Temperatura Max. media (°C)	21,5	25,8	30,0	31,6	29,8
HH:MM Temp. Máx. media	14:20:13	15:29:20	15:23:10	14:48:08	14:44:00
Temperatura min. media (°C)	6,8	11,1	13,0	15,5	13,7
HH:MM Temp. Mín. media	6:09:20	6:49:28	5:53:17	5:13:16	5:20:00
Temperatura media (°C)	13,5	18,0	21,4	23,4	21,8
Humedad Relativa Max. (%)	95,0	98,7	90,0	91,8	90,9
Humedad Relativa mín. (%)	35,2	39,3	25,0	28,9	31,1
Humedad Relativa media (%)	68,9	73,0	54,1	58,9	60,4
Velocidad viento media (m/s)	1,4	1,1	1,4	1,3	1,3
Dirección viento media (°)	157,5	176,3	211,2	213,0	254,2
Radiación solar (MJ/m ²)	17,7	20,2	27,6	27,5	25,6
Pluviometría (mm)	2,1	1,2	0,4	0,2	0,0
ET ₀ (mm)	3,1	3,8	5,7	5,9	5,4

Nota. Son valores medios mensuales. El registro de las variables en el mes de julio fue de los tres primeros días del mes, siendo el día 3 de ese mes de julio la fecha cuando se realizó la recolección. Fuente de datos: Estación Meteorológica (código de estación 19) del IFAPA Centro Las Torres-Tomejil. (Alcalá del Río, Sevilla, año 2014). Elaboración propia.

Atendiendo a la siguiente Figura 28, donde se representa la evolución de las temperaturas (máximas, medias y mínimas) durante el ciclo del cultivo desde su plantación (5 de marzo de 2014) hasta el día previo a la recolección (2 de julio de 2014), se observa una tendencia generalizada al aumento de la temperatura durante el ciclo del cultivo.

La máxima de las temperaturas máximas se obtiene el día 14 de junio (40,8 °C) y la mínima de las temperaturas mínimas el día 24 de marzo (3,2 °C). En este rango de temperaturas (40,8 °C y 3,2 °C) se ha desarrollado el cultivo de la patata del ensayo experimental.

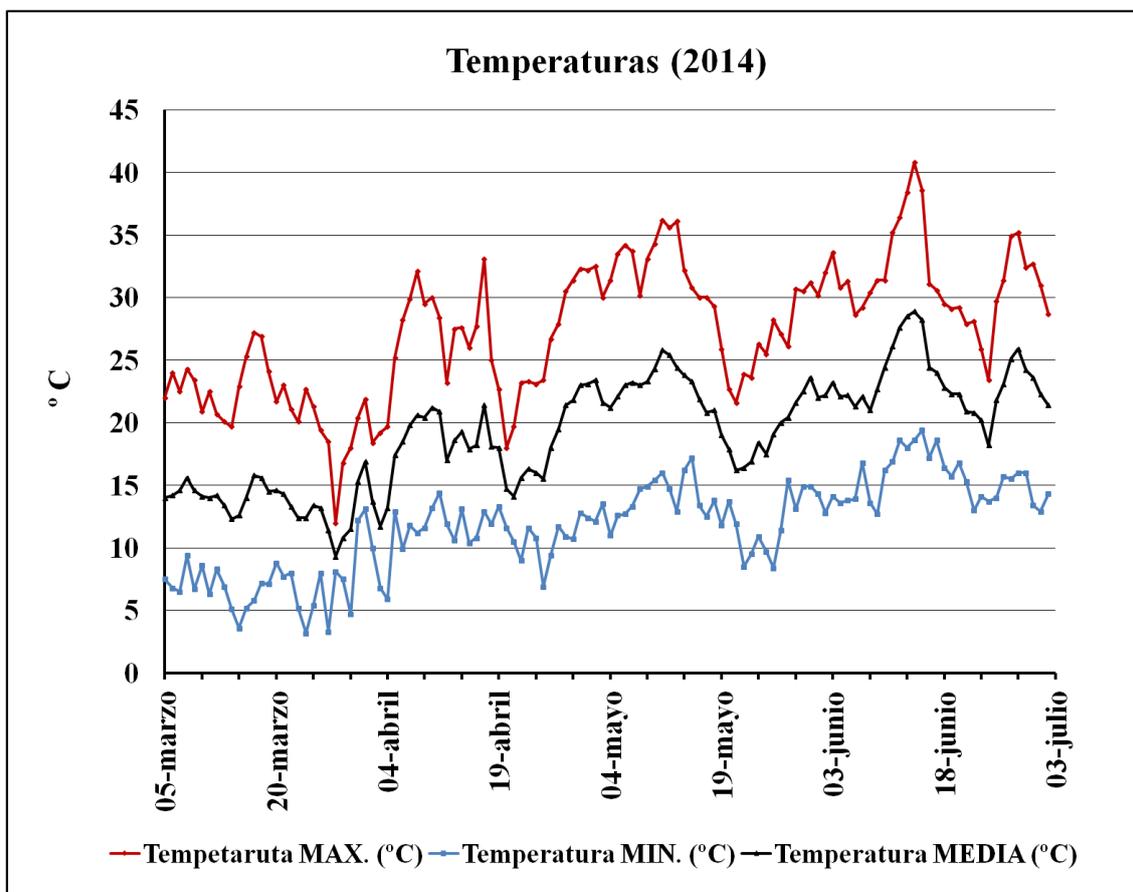


Figura 28. Temperaturas registradas diariamente durante el ciclo del cultivo de la patata.

Fuente: datos del IFAPA. Elaboración propia.

Las temperaturas (máximas, medias y mínimas) alcanzadas a mediados del mes de mayo, fueron muy similares a las reflejadas entre el final de junio y principios de julio (próximo a la recolección).

Las temperaturas (máximas, medias y mínimas) más bajas se dieron en el mes de marzo (mes de la plantación).

El momento del ciclo del cultivo cuando se registraron las máximas de las temperaturas (máximas, medias y mínimas), fue justamente a mediados del mes de junio, con una temperatura máxima de 40,8 °C, una temperatura media de 28,9 °C y una temperatura mínima de 19,4 °C.

En la siguiente Figura 29, se representa la evolución de la humedad relativa (máxima, media y mínima) durante el ciclo del cultivo de la patata (5 de marzo la plantación y 3 de julio la recolección). En ella se observa una tendencia general a disminuir el valor de forma leve durante el rango de tiempo estudiado.

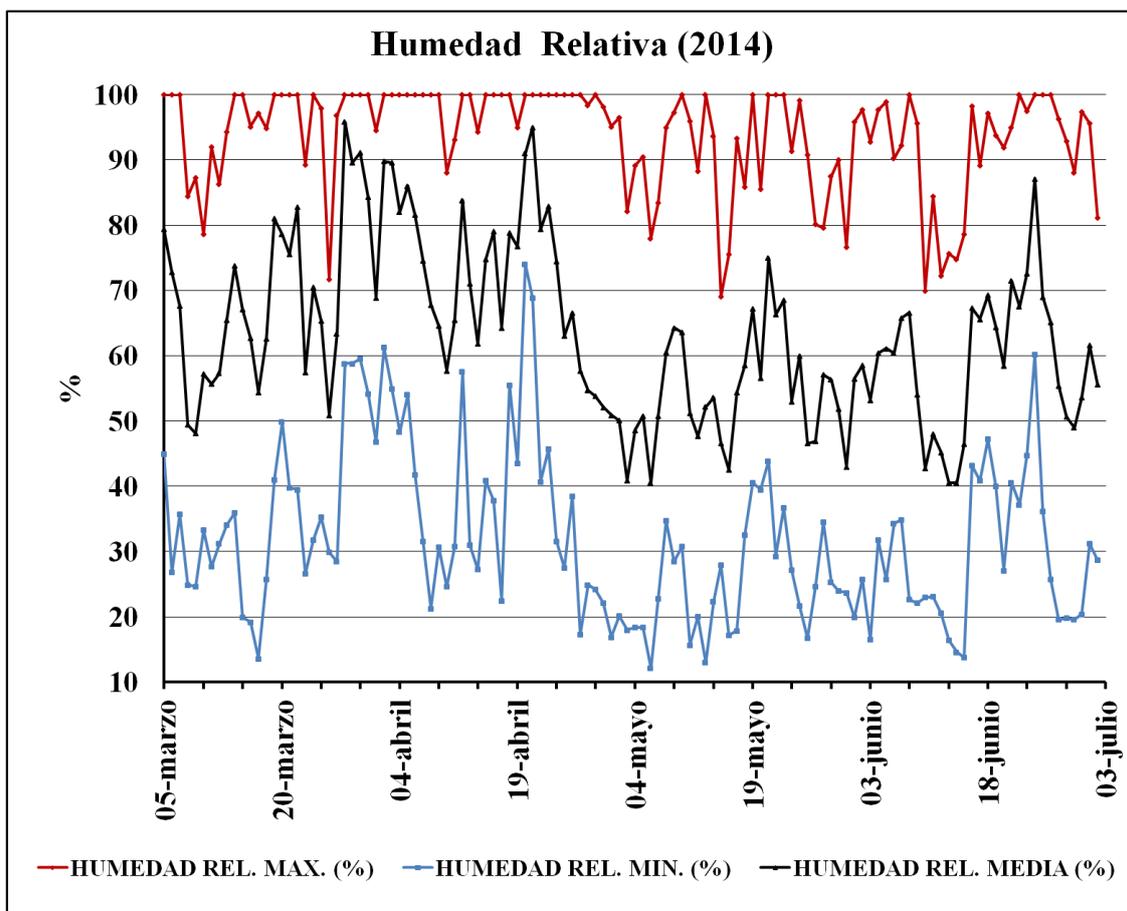


Figura 29. Humedad relativa registrada diariamente durante el ciclo del cultivo de la patata.

Fuente de datos del IFAPA. Elaboración propia.

Es notable la gran cantidad de días (48 días) donde los máximos de la humedad relativa máxima alcanzaron el valor de 100 %, registrándose mayormente en la primera mitad del ciclo del cultivo (meses de marzo y abril). La mínima de la humedad relativa máxima fue el día 15 de mayo (69,1 %). La media de la humedad relativa máxima durante el ciclo fue del 93,7 %.

La máxima de la humedad relativa media se registró el día 28 de marzo (95,8 %), mientras que la mínima de la humedad relativa media fue en los días 13 y 14 de junio (40,5 %). El valor medio durante el ciclo del cultivo de la humedad relativa media fue del 63,4 %.

En relación con la humedad relativa mínima, la máxima humedad relativa mínima se anotó el día 20 de abril (74 %), mientras que la mínima de la humedad relativa mínima se registró el día 6 de mayo (12,1 %). La media de la humedad relativa mínima fue del 31,8 %.

Observando la Figura 30 presentada a continuación, se puede apreciar la evolución de la ET_0 y los valores de la pluviometría registrados durante el ciclo del cultivo de la patata, realizándose la plantación el día 5 de marzo de 2014 y recolectándose el día 3 de julio del mismo año.

La evapotranspiración de referencia (ET_0) evoluciona de manera muy similar a la evolución que siguen las temperaturas, mostrada previamente en la Figura 28.

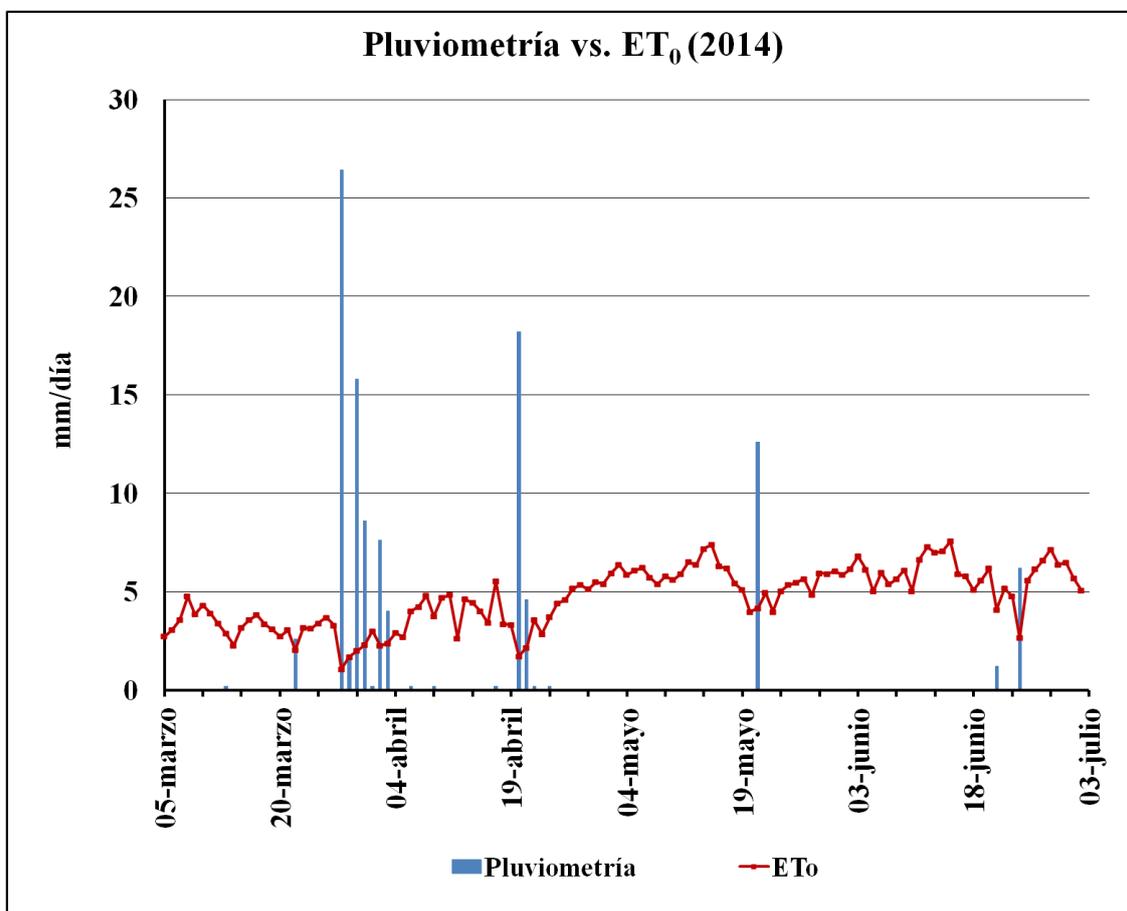


Figura 30. Pluviometría y evapotranspiración de referencia (ET_0) registradas diariamente durante el ciclo del cultivo de la patata.

Fuente: datos del IFAPA. Elaboración propia.

El máximo valor de la pluviosidad se registra el 28 de marzo (26,40 mm/día), fecha coincidente con el mínimo valor de la ET_0 . La mayoría de los días del ciclo del cultivo la precipitación es mínima (0,00 mm/día), dándose la mayoría de las precipitaciones en la primavera, y sobre todo a finales de marzo y principios de abril. La pluviosidad media datada durante este ciclo de la patata fue de 0,93 mm/día, siendo la pluviosidad acumulada de 111,00 mm.

En relación con la evapotranspiración de referencia (ET_0), el máximo valor fue fechado el día 15 de junio (7,55 mm/día), mientras que el mínimo se registró el 28 de marzo (1,07 mm/día). El valor medio de la ET_0 anotado durante el ciclo estudiado fue de 4,68 mm/día, siendo la ET_0 acumulada de 561,45 mm.

La demanda evapotranspirativa acumulada (561,45 mm) es 5 veces superior a la pluviosidad acumulada (111,00 mm) en el ciclo de la patata variedad Spunta ensayada.

4.2 Datos de producción del ensayo.

4.2.1 Rendimientos obtenidos para los tubérculos de calibre mayor de 30 mm con los abonados A1 y A2.

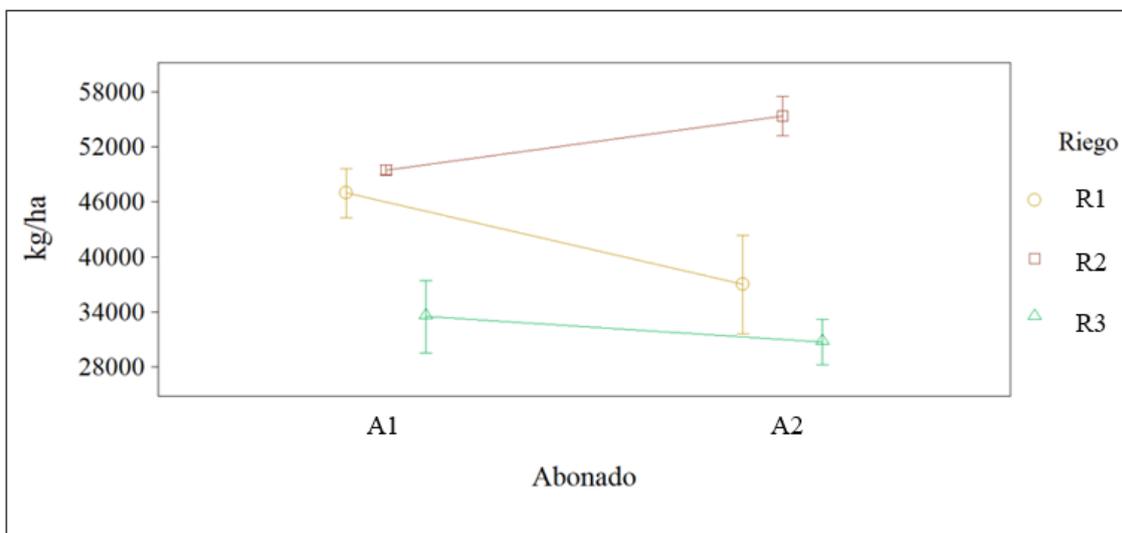


Figura 31. Rendimientos medios (kg/ha) en recolección para los tubérculos de calibre mayor a 30 mm, mediante los tratamientos de riegos (R1, R2, R3) con los abonados (A1, A2), y el error estándar.

Tratamientos de riegos (R1 = 80% DP; R2 = 100% DP; R3 = 120% DP). Tratamiento de abonado 1 (A1 = 189 kg N/ha) y abonado 2 (A2 = 260 kg N/ha). La dosis potencial (DP) fue calculada como ETc-P.

En relación con la Figura 31, los resultados estadísticos realizados con el programa estadístico "Statistix 8.0", son los observados en las siguientes Figura 32, Figura 33 y Figura 34.

Analysis of Variance Table for RtoM30						
Source	DF	SS	MS	F	P	
Bloque	2	6.687E+07	3.344E+07			
Riego	2	1.239E+09	6.197E+08	27.59	0.0046	
Error Bloque*Riego	4	8.984E+07	2.246E+07			
Abonado	1	2.336E+07	2.336E+07	0.65	0.4523	
Riego*Abonado	2	1.894E+08	9.469E+07	2.62	0.1524	
Error Bloque*Riego*Abonado	6	2.171E+08	3.619E+07			
Total	17	1.826E+09				
Grand Mean 42165						
CV(Bloque*Riego) 11.24						
CV(Bloque*Riego*Abonado) 14.27						

Figura 32. Resultados estadísticos del ANOVA correspondiente a la Figura 31.

Atendiendo a la Figura 31, se observa una mayor producción cuando se hace uso del riego R2 con las dos dosis de abonado utilizadas (A1 y A2), existiendo separación entre las líneas, lo cual nos está indicando un efecto de la variable riego. En los resultados estadísticos reflejados en la Figura 32, podemos observar como la variable riego produce un efecto significativo ($P = 0.0046 < 0.05$). El abonado por su parte no

produce ningún efecto significativo ($P = 0.4523 > 0.05$), apreciándose en el gráfico una mayor producción con el R2A2 respecto al R2A1. Por último, en conjunto, la combinación riego y abonado tampoco resulta significativa en función del valor P arrojado ($P = 0.1524 > 0.05$).

Analizando solamente el efecto del riego (factor significativo) sobre los rendimientos medios de patata en recolección (kg/ha), obtenemos la Figura 33 siguiente, donde se observa que en este ensayo mediante la aplicación del riego R2 es para el que se obtendría mayor rendimiento (52.422 kg/ha) independientemente del abonado utilizado, es decir utilizando el riego R2 y un abonado intermedio entre A1 y el A2.

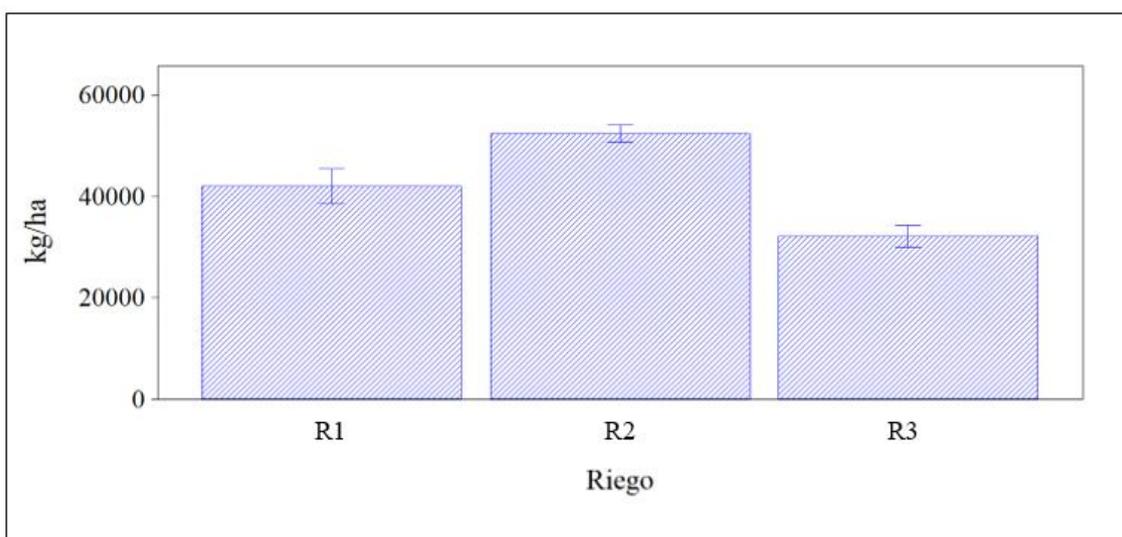


Figura 33. Rendimientos medios (kg/ha) en recolección para los tubérculos de calibre mayor a 30 mm, mediante los tratamientos de riegos (R1, R2, R3) con un abonado intermedio (A1 A2), y el error estándar. Tratamientos de riegos (R1 = 80% dosis potencial; R2 = 100% dosis potencial; R3 = 120% dosis potencial). La dosis potencial fue calculada como $ETc-P$.

En el test de Tukey realizado para los rendimientos de patata con calibre mayor a 30 milímetros (en relación con los riegos R2, R1 y R3, y entre los cuales si se ha observado diferencias significativas) reflejado en la siguiente Figura 34, nos muestra los tres grupos homogéneos distintos (A, B, C) y su media correspondiente (52.422 kg/ha, 41.976 kg/ha, 32.098 kg/ha). La diferencia significativa lo marca el valor crítico de comparación de 9.756,6 kg/ha.

Según estos ensayos, el riego R3 (de mayor cantidad) resultó excesivo con ambos niveles de fertilización, produciendo los menores rendimientos. Esto podría deberse al lavado de nitrógeno o por efectos del exceso de riego sobre la aireación del suelo. El riego R1 (de menor cantidad) resultó perjudicado por un abonado superior. En este sentido, algunos autores han encontrado que un exceso de nitrógeno puede aumentar el número de pequeños tubérculos, no comerciales (Kleinkopf et al., 1981). El aumento de abonado no puede compensar en este caso el déficit de riego.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of RtoM30 for Riego			
Riego	Mean	Homogeneous Groups	
2	52422	A	
1	41976	B	
3	32098	C	
Alpha	0.05	Standard Error for Comparison	2736.2
Critical Q Value	5.043	Critical Value for Comparison	9756.6
Error term used: Bloque*Riego, 4 DF			
All 3 means are significantly different from one another.			

Figura 34. Resultados estadísticos del test de Tukey, en relación con los riegos R1, R2 y R3, correspondiente a la Figura 31.

En el caso de riego óptimo, la mayor fertilización supuso una mayor producción. Sería necesario tener en cuenta los costes de producción y los posibles perjuicios medioambientales para determinar si en condiciones de riego óptimo sería más conveniente aumentar la fertilización. Recordamos que la dosis de abonado A1 es la recomendada por la Condicionalidad de la Unión Europea.

4.2.2 Rendimientos obtenidos para los tubérculos de calibre mayor de 45 mm con los abonados A1 y A2.

Los mismos resultados estadísticos, en cuanto a la existencia o no de diferencias significativas, se obtuvieron al hacer el análisis para los tubérculos de calibre mayor a 45 mm, como está recogido en el ANEXO IV, para evitar reiteración de los comentarios.

4.3 Predicción del rendimiento en recolección en función del riego y abonado 1 (A1).

El anterior ensayo nos indicaba que no se producía ningún aumento del rendimiento con el nivel de abonado 2 (A2), excepto con el nivel de riego R2. Seguidamente, se realizó un estudio de todas las dosis de riego (R0, R1, R2, R3, R4) ensayadas con el nivel de abonado 1 (A1) en los diferentes parámetros, al ser el abonado 1 (A1) el exigido por la Condicionalidad de la Unión Europea. Esta Condicionalidad está recogida en la Directiva 91/676/CEE del Consejo de 12 de diciembre 1991, modificada y rectificada posteriormente (BOJA N.º 157, 2009), así misma recogida en una Orden anterior (BOJA N.º 4, pg. 39, 2009) y corregida posteriormente (BOJA N.º 40, pg. 26, 2009).

A partir de los datos obtenidos del rendimiento de patatas en recolección para calibre mayor a 30 milímetros y el respectivo fertirriego aplicado en el ciclo del cultivo, se ha representado de forma gráfica y analítica en la siguiente Figura 35, la función de producción del fertirriego aplicado frente al rendimiento, es decir, la curva de predicción del rendimiento (kg/ha) de patatas en recolección fundamentado en el riego (mm) aplicado con el abonado 1 (A1).

En la presente Figura 35, las características principales a tenerse en cuenta son el rendimiento óptimo, el rendimiento máximo y el decrecimiento del rendimiento frente al fertirriego aplicado. Mediante la ecuación de regresión reflejada, se puede obtener de forma directa el rendimiento de patatas en función de los niveles estacionales de fertirriego aplicado, considerándose el coeficiente de determinación.

Se puede observar un máximo del rendimiento de patatas en recolección entre los tratamientos R1A1 y R2A1, y a partir de este máximo el rendimiento comienza a decrecer, siendo para R3A1 y R4A1, los decrecimientos más acusados. El riego excesivo puede interferir con el desarrollo de los tubérculos a causa de la reducida aireación del suelo. Los tubérculos necesitan grandes cantidades de oxígeno que absorben durante su desarrollo a través de las lenticelas. Esta es una de las causas por la que los suelos de textura gruesa producen tubérculos de mejor calidad que los de textura fina. Basándonos en una primera observación, los tratamientos que presentan un interés eficiente son el R0A1, R1A1 y R2A1, aun sabiendo del leve decrecimiento de la producción para el R2A1.

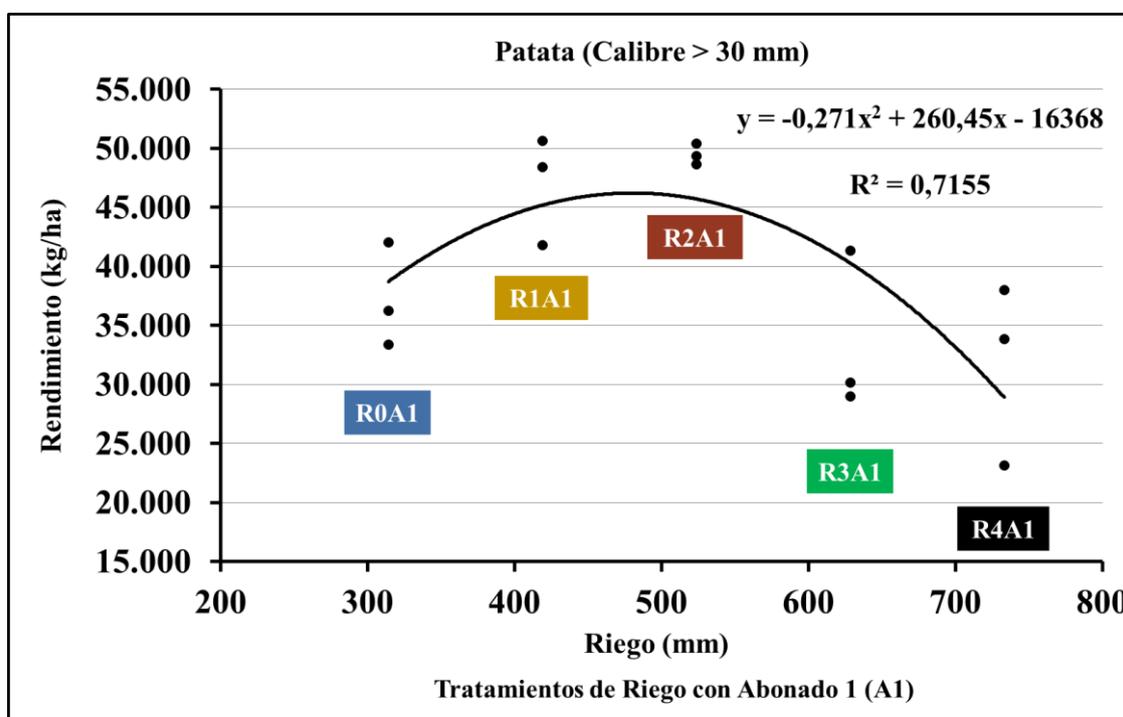


Figura 35. Curva predictiva del rendimiento en recolección en función del riego y abonado. Evaluado para calibre de tubérculos de patata mayor a 30 mm, en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1). El eje de abscisa representa el riego en milímetros. El tipo de tendencia de la curva es polinómica. R2 es el coeficiente de determinación.

Atendiendo a la presente Figura 35 y su correspondiente Tabla 28 presentada a continuación, se puede observar uno de los resultados de importancia, perseguido como objetivo en el ensayo del presente Trabajo Fin de Grado (TFG), siendo tal objetivo la predicción del rendimiento en recolección en función de los niveles de riego y abonado aportado durante el ciclo de cultivo de la patata variedad Spunta.

Mediante el tratamiento R2A1 es donde se obtiene mayor producción (49.465 kg/ha), aplicándose 523,78 mm de riego en el ciclo de cultivo. Sin embargo, para el tratamiento R1A1 la producción sería de 46.952 kg/ha (aproximadamente 500 kg/ha menos) pero a costa de un menor aporte de agua o riego, siendo este riego de 419,02 mm (104,76 mm menos). Lo mismo ocurriría con el tratamiento R0A1, con sus cuantías correspondientes. Esto conllevaría a un ahorro en el riego que podría dar lugar a un mayor beneficio económico, así como a una menor contaminación por nitratos.

Tabla 28. Riego total aportado (en milímetros y en metros cúbicos por hectárea) en el ciclo de cultivo de la patata variedad Spunta, y su correspondiente rendimiento medio obtenido en kilogramos por hectárea.

Riego con Abonado 1	Riego total aportado en el ciclo de cultivo		Rendimiento medio
	mm	(m ³ /ha)	(kg/ha)
R0A1	314,27	3.142,68	37.208
R1A1	419,02	4.190,24	46.952
R2A1	523,78	5.237,80	49.465
R3A1	628,54	6.285,36	33.496
R4A1	733,29	7.332,92	31.665

Nota. Datos pertenecientes a la Figura 35.

La elección de los tratamientos R0A1 y R1A1 se vería reforzada con el análisis estadístico correspondiente, el cual nos informa de la existencia de diferencias no significativas entre los tratamientos R0A1, R1A1 y R2A1 en recolección, como se puede observar a continuación en la Tabla 29.

Tabla 29. Resultados estadísticos del rendimiento en recolección en kilogramos por hectárea.

CV (%)	14,24
Tukey HSD	15.939
R0A1	37.208 ab
R1A1	46.952 ab
R2A1	49.465 a
R3A1	33.496 b
R4A1	31.665 b

Nota. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa en recolección, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 35.

Por lo tanto, con menor de aporte de riego (correspondiendo al R0A1 y R1A1), se obtendrían resultados muy similares al R2A1, y con las consiguientes ventajas económicas y medioambientales para la producción de patata en nuestra zona de ensayo. Se tendrían que analizar y estudiar para cada campaña, el precio de mercado para la producción de patata, tanto en la lonja como para los productores. Es decir, habría que tenerse en cuenta los respectivos beneficios de venta en la lonja y para los productores en relación con los costes de producción (agua, energía y mano de obra).

Con relación a la predicción de la producción de patatas en función de los niveles de riegos y su respectivo abonado 1 (A1) que se puede observar en la Figura 35 presentada anteriormente, y atendiendo al valor 0,7155 de R^2 (significando R^2 la proporción de la variación de la variable a predecir “y”, debida a la variación de la variable predictora o explicativa “x”), nos informa que para el 71,55 % de la variación del rendimiento predictivo en recolección es explicado por la variación de la variable riego. Este coeficiente de determinación R^2 , transformado al coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0,8459$), nos informa de una correlación positiva alta entre los aportes de fertirriego y el rendimiento obtenido.

Por lo tanto, el resultado logrado nos proporciona una honesta y manejable información para poder realizar una predicción de la recolección de patatas en función de las cuantías de riegos aplicado con su respectivo abonado. Son de interés los resultados obtenidos, entendiéndolo como una representación en la relación de los conceptos de fertirriego y producción. No obstante, es necesario seguir con la experimentación durante otras campañas para contrastar los resultados.

4.4 Medidas realizadas durante el cultivo.

4.4.1 Medida del contenido volumétrico de agua en el suelo.

El tratamiento de riego 2 con su respectivo abonado 1 (R2A1), fue el único que se instrumentó para estudiar la dinámica del agua en el suelo. Recordemos que el tratamiento de riego R2 corresponde al 100 % de la dosis potencial y el abonado A1 es el exigido por la Condicionalidad de la Unión Europea.

En la siguiente Figura 36, se observa como el contenido volumétrico en las dos primeras profundidades (20 y 40 centímetros) reaccionan inmediatamente a los riegos aplicados. Se regó entre los lunes y los viernes de cada semana. Los fines de semana no se aplicó riego alguno, lo que se refleja en bajadas más acusadas de la humedad del suelo durante los mismos. A la profundidad de 60 centímetros la medida permanece bastante constante durante el periodo monitorizado, indicando que las estimaciones de los consumos previamente consideradas fueron suficientemente ajustadas para este tratamiento R2A1, aunque finalmente se puede apreciar un leve aumento en los últimos días del ciclo analizado, lo que pudiera significar que se estuvo aplicando una mayor cantidad de agua de la consumida por el cultivo.

La posibilidad de monitorizar el contenido volumétrico del agua en el suelo puede resultar muy beneficioso para un mayor control de la dinámica del agua en el suelo durante el ciclo del cultivo, lo que nos aportaría información complementaria para las

tomas de las decisiones correspondientes, aunque habría que considerar también el factor económico.

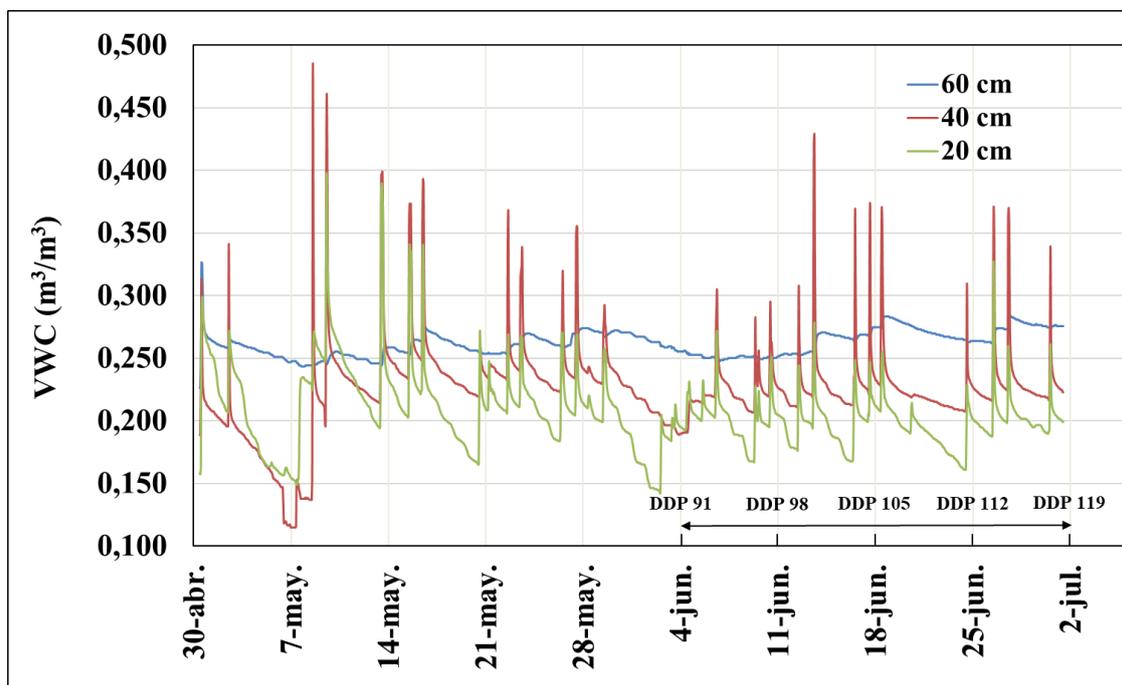


Figura 36. Dinámica del contenido volumétrico del agua en el suelo (m^3/m^3).

Estudiado a las profundidades de 20, 40 y 60 centímetros, durante el periodo del ciclo del cultivo de patata.

4.4.2 Medidas de crecimiento y desarrollo.

Su estudio ha consistido en la medida, evolución y estadística de una serie de parámetros a lo largo del periodo de cultivo, iniciándose a los 91 días después de la plantación (DDP 91) y finalizando día 119 después de la plantación (DDP 119), este último a 3 días antes de la recolección, periodo que se corresponde prácticamente con la senescencia del cultivo según la Figura 11 vista en la introducción.

4.4.2.1 Evolución de la altura de la planta.

En la siguiente Figura 37 y su respectiva Tabla 30, se representa la evolución de la altura de la planta en la fase final del cultivo (desde el DDP 91 hasta el DDP 112) para los distintos tratamientos de riego con el abonado 1 (A1). En ellas se destaca la considerable altura de las plantas de patata obtenida con el R4A1 (riego con un 140 % de las necesidades) con respecto a los demás en el DDP 91, confirmando el estudio estadístico que este tratamiento era al comienzo del periodo estudiado significativamente diferente a los tratamientos R0A1, R2A1 y R1A1. A lo largo del periodo las diferencias en altura fueron disminuyendo, mostrando diferencias no significativas en el resto de las fechas DDP.

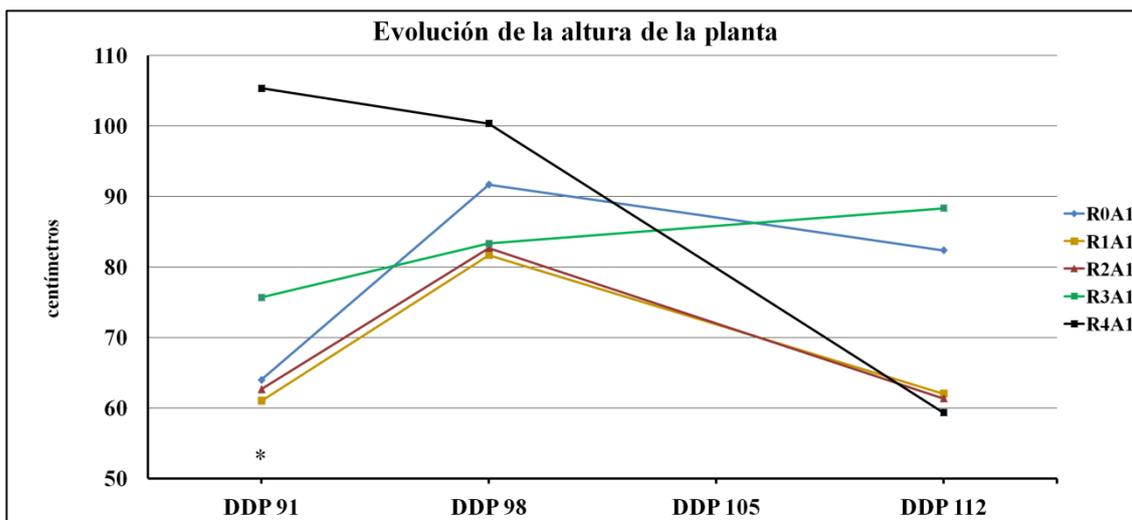


Figura 37. Evolución de la altura de la planta de patata en centímetros.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. Los asteriscos indican la aparición de diferencia significativa en la fecha DDP señalada, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 30. Resultados estadísticos de la evolución de la altura de la planta de patata en centímetros.

	DDP 91	DDP 98	DDP 112
CV (%)	16,06	12,56	33,39
Tukey HSD	33,344	31,107	66,446
R0A1	64,000 b	91,667 a	82,333 a
R1A1	61,000 b	81,667 a	62,000 a
R2A1	62,667 b	82,667 a	61,333 a
R3A1	75,667 ab	83,333 a	88,333 a
R4A1	105,333 a	100,333 a	59,333 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa en esa DDP, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). A las 8 horas de la mañana. Datos pertenecientes a la Figura 37.

La tendencia generalizada de los tratamientos durante el periodo estudiado es a disminuir su altura, aunque de forma leve. Se observa un descenso generalizado de la altura de los tratamientos a partir del DDP 98, debido al inicio la senescencia de la planta, continuando la translocación de los fotoasimilados desde los tallos, las hojas y los peciolo hacia los tubérculos. Para los R0A1, R2A1 y R1A1 la evolución de la altura de la planta ha sido similar, incrementando sus respectivas alturas entre el DDP 91 y el DDP 98, e iniciando posteriormente la disminución de la misma hasta el final del

periodo. El tratamiento R4A1 desciende desde el DDP 91 inicial hasta el DDP 112, por lo que parece que el efecto de este tratamiento fue adelantar la senescencia, lo que finalmente, pudo afectar a su producción.

4.4.2.2 Evolución del número de tallos por planta.

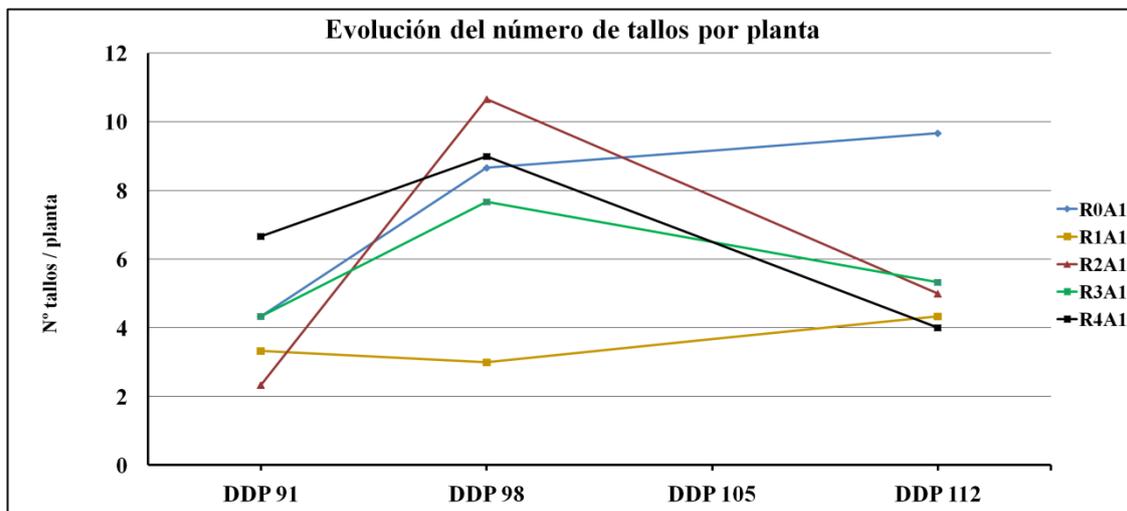


Figura 38. Evolución del número de tallos por planta de patata.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 31. Resultados estadísticos de la evolución del número de tallos por planta de patata.

	DDP 91	DDP 98	DDP 112
CV (%)	38,14	52,00	38,19
Tukey HSD	4,5111	11,4200	6,0936
R0A1	4,3333 a	8,6667 a	9,6667 a
R1A1	3,3333 a	3,0000 a	4,3333 a
R2A1	2,3333 a	10,6667 a	5,0000 a
R3A1	4,3333 a	7,6667 a	5,3333 a
R4A1	6,6667 a	9,0000 a	4,0000 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indicarían diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 38.

En este caso se contabilizaron los tallos principales y secundarios, así como los brotes laterales. El número osciló entre 2 y 11, reflejándose diferencias no significativas entre los tratamientos estudiados en el periodo establecido, como se contempla en la anterior Figura 38 y su respectiva Tabla 31.

4.4.2.3 Evolución del Índice de Área Foliar (IAF).

Solamente se realizó su estudio para los días después de la plantación que se observa en la siguiente Figura 39, es decir, el DDP 98 y DDP 112. No se realizaron tratamientos estadísticos al no disponerse del número mínimo para realizar el análisis correspondiente (se realizó una medida por tratamiento).

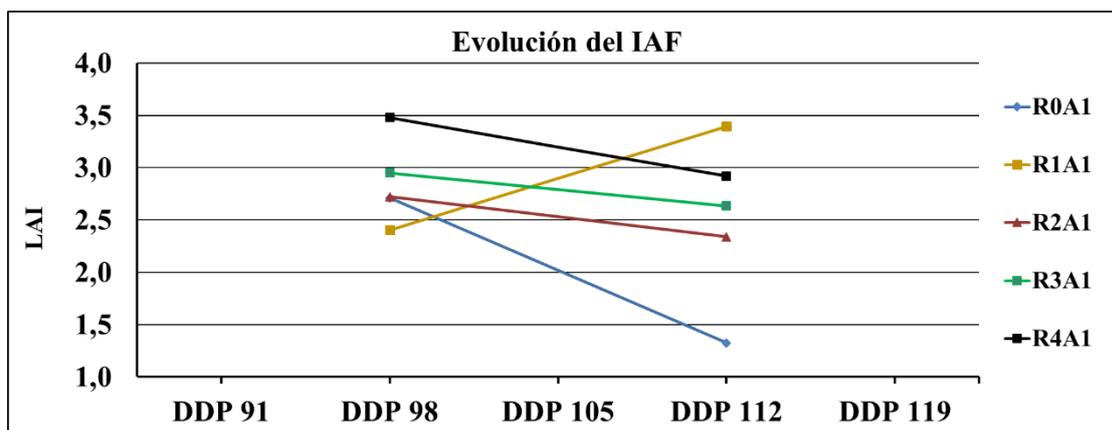


Figura 39. Evolución del IAF (Índice de Área Foliar) de la planta de patata.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados.

Se observa un descenso del IAF para todos los tratamientos excepto para el R1A1. Los tratamientos R4A1, R3A1 y R2A1 tienen una evolución descendente y paralela. La tendencia generalizada de los tratamientos ha sido al descenso del IAF, presentando los tratamientos con riegos mayores, valores superiores de IAF.

En el DDP 112 se percibe los valores adimensionales del IAF, donde el tratamiento R1A1 obtiene el mayor valor. A excepción del R0A1, para el resto de los tratamientos los valores se consideran dentro del rango normal para el cultivo de la patata en estas fechas (Wright & Stark, 1990), que a modo de comparación se puede observar en la Figura 11 que se refleja en la introducción del presente TFG, en donde se contrastan las etapas del crecimiento y desarrollo del tubérculo de patata con la distribución de la materia seca y el IAF o LAI, observándose en ella también como el IAF de nuestro ensayo pertenece al final de la etapa (III) e inicio de la etapa (IV). El valor final obtenido para el R0A1 se asimila más al que se obtiene al final de la etapa (IV).

4.4.2.4 Evolución del número de tubérculos por hectárea.

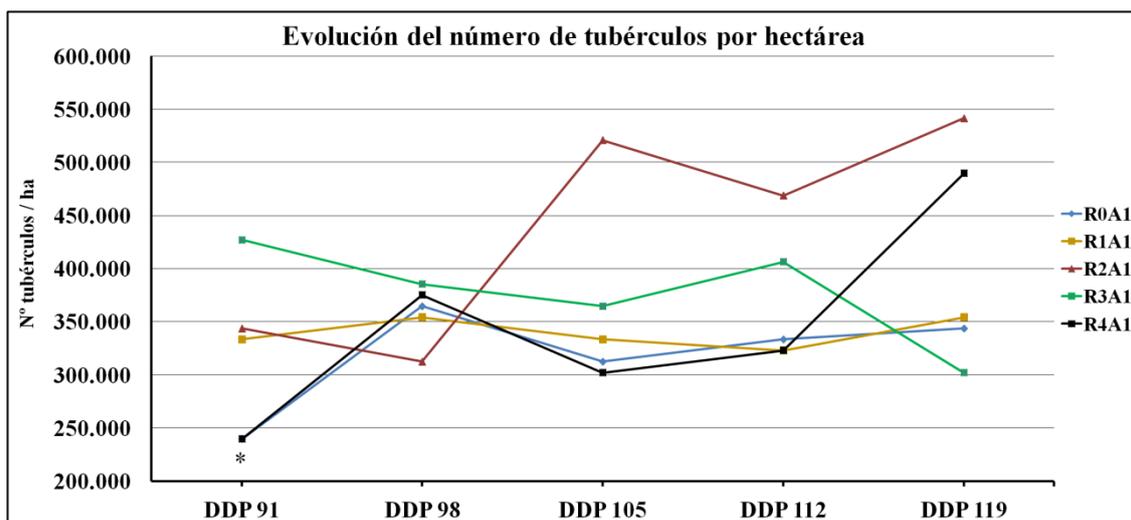


Figura 40. Evolución del número de tubérculos de patata por hectárea.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. Los asteriscos indican la aparición de diferencia significativa en la fecha DDP señalada, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 32. Resultados estadísticos de la evolución del número de tubérculos de patata por hectárea.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	16,41	9,88	22,90	34,11	33,65
Tukey HSD	146.361	99.682	236.382	356.162	384.894
R0A1	239.583 b	364.583 a	312.500 a	333.333 a	343.750 a
R1A1	333.333 ab	354.167 a	333.333 a	322.917 a	354.167 a
R2A1	343.750 ab	312.500 a	520.833 a	468.750 a	541.667 a
R3A1	427.083 a	385.417 a	364.583 a	406.250 a	302.083 a
R4A1	239.583 b	375.000 a	302.083 a	322.917 a	489.583 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 40.

Atendiendo al número de tubérculos por hectárea reflejado anteriormente en la Figura 40 y sus respectivos resultados estadísticos de la Tabla 32, se observa la existencia de diferencia significativa solo al inicio del periodo estudiado (DDP 91), donde el tratamiento R3A1 es significativamente mayor que los tratamientos extremos R4A1 y R0A1, diferencias que desaparecen durante el periodo estudiado. Los tratamientos han tenido una tendencia generalizada al aumento de su valor.

4.4.2.5 Evolución del peso medio del tubérculo.

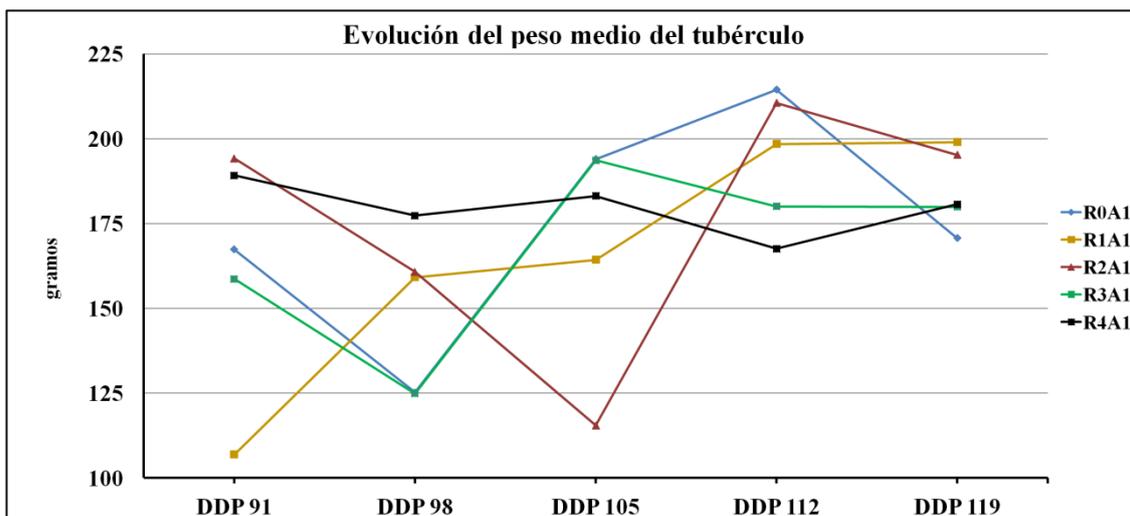


Figura 41. Evolución del peso medio del tubérculo de patata en gramos.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 33. Resultados estadísticos del peso medio del tubérculo en gramos.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	33,06	22,09	19,59	29,26	42,93
Tukey HSD	152,01	92,97	93,84	160,01	223,77
R0A1	167,37 a	125,21 a	193,96 a	214,44 a	170,75 a
R1A1	106,93 a	159,14 a	164,33 a	198,44 a	199,03 a
R2A1	194,20 a	160,73 a	115,49 a	210,57 a	195,26 a
R3A1	158,65 a	124,92 a	193,61 a	180,02 a	179,90 a
R4A1	189,19 a	177,31 a	183,10 a	167,61 a	180,65 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indicarían diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 41.

Las cuantías y evolución del peso medio del tubérculo en la unidad gramos que se observan en la anterior Figura 41 y su correspondiente Tabla 33, nos muestran diferencias no significativas entre los tratamientos y por cada fecha DDP durante el periodo analizado. La tendencia generalizada de los tratamientos ha sido en ascenso, con una evolución más estable para el R4A1.

4.4.2.6 Evolución del rendimiento.

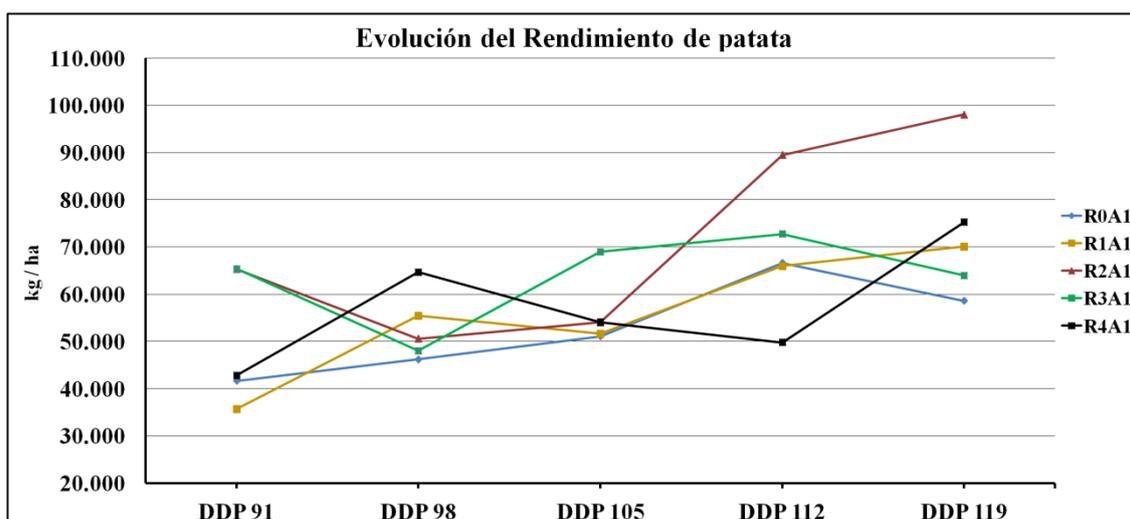


Figura 42. Evolución del rendimiento de patata en kilogramos por hectárea.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 34. Resultados estadísticos de la evolución del rendimiento de patatas en kilogramos por hectárea.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	34,59	24,33	18,30	30,79	36,11
Tukey HSD	48.848	36.280	28.825	59.751	74.411
R0A1	41.646 a	46.198 a	51.052 a	66.604 a	58.594 a
R1A1	35.667 a	55.438 a	51.635 a	65.969 a	70.052 a
R2A1	65.323 a	50.552 a	54.042 a	89.458 a	98.073 a
R3A1	65.365 a	47.990 a	68.958 a	72.740 a	63.948 a
R4A1	42.792 a	64.646 a	54.063 a	49.781 a	75.240 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indicarían diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 42.

En la evolución del rendimiento mostrado previamente en la Figura 42 y su respectiva Tabla 34, se han tenido en cuenta todos los tubérculos sanos y todos los calibres obtenidos. Se observan diferencias no significativas, que unido al elevado crecimiento del R2A1 desde el inicio de la senescencia (DDP 105) hasta el final del ciclo, es lo más notable en su estudio. El tratamiento que ha seguido una evolución más estable ha sido el R0A1, mientras que para el R2A1 fue de manera menos estable.

La evolución general de los tratamientos ha seguido una tendencia ascendente y han ido agrupados en un rango poco variable (salvo el comentado R2A1), observándose un mayor agrupamiento en el DDP 105 (a excepción del R3A1). En el DDP 119 final,

destaca el máximo valor obtenido por el R2A1, y más distanciado se encuentra el resto de los tratamientos, obteniéndose el menor rendimiento para el R0A1.

Para la fecha más próxima a la cosecha (DDP 119), si comparamos las cuantías de estos rendimientos con los obtenidos en la recolección (día 3 de julio) que se puede observar en el apartado correspondiente y su respectiva Tabla 29, se distingue un cierto desfase de los valores obtenidos para los tratamientos estudiados. Las causas que justifican estas discrepancias son varias y se detallan a continuación:

- El muestreo de sólo 2 plantas en cada parcela experimental por cada fecha DDP durante el estudio evolutivo.
- La elección de todos los calibres (con un promedio de calibres para cada tratamiento) de los tubérculos de patata durante la evolución, mientras que en la recolección se realizó un triaje descartando los menores a 30 mm.
- Posibles tubérculos dejados en el campo en la recolección, realizándose de forma semimanual. En el estudio de la evolución, al ser solamente de 6 plantas por cada tratamiento y fecha DDP, fue bastante menos laborioso asegurarse de no dejar restos de tubérculos en la parcela del ensayo.
- Cantidad de tubérculos podridos obtenidos de valor promedio: 6.246 kg/ha (durante la evolución) y 13.299 kg/ha (en la fecha de recolección).
- En cierta medida la existencia de un rango de 3 días desde el DDP 119 hasta la fecha de la recolección.

Las diferencias no significativas entre los tratamientos R0A1, R1A1 y R2A1 tanto en la evolución (centrándonos en el DDP 119 cercano a la cosecha) como en la recolección (día 3 de julio), nos avalan la unificación de los resultados obtenidos para ambas fechas (próxima a la recolección durante la evolución y de la recolección final), por lo que la elección de estos tratamientos para obtener una recolección rentable estaría honestamente justificada.

Los tratamientos R3A1 y R4A1, presentan unas marcadas divergencias entre los valores obtenidos en la fecha próxima a la recolección (DDP 119) durante el estudio evolutivo y los obtenidos en la recolección final (día de 3 de julio), pero su descarte como tratamientos rentables para la cosecha final, se justifica por lo siguiente:

- Al aplicarse un exceso de riego según sus necesidades.
- Al obtenerse menores rendimientos, sobre todo en la fecha de la recolección final (día de 3 de julio).
- Al existir diferencias significativas con el resto de los tratamientos en la recolección final (día de 3 de julio) y no presentarse diferencias significativas en la fecha final de la evolución (DDP 119).

4.4.2.7 Evolución del calibre promedio de los tubérculos.

Los valores y la evolución tanto gráfica como analítica del calibre promedio de los tubérculos reflejadas a continuación en la Figura 43 y su Tabla 35 correspondiente, nos muestran la existencia de diferencias no significativas entre los tratamientos y fechas DDP analizadas. Se observa una evolución con una tendencia generalizada al alza y un marcado agrupamiento en el DDP 105 (inicio de la senescencia), donde los tratamientos presentan una menor diferencia del calibre promedio. Cabe destacar que los

tratamientos de riegos mayores (R4A1 y R3A1), presentaron valores menores de calibre promedio, lo que pudiera explicar las diferencias en la recolección.

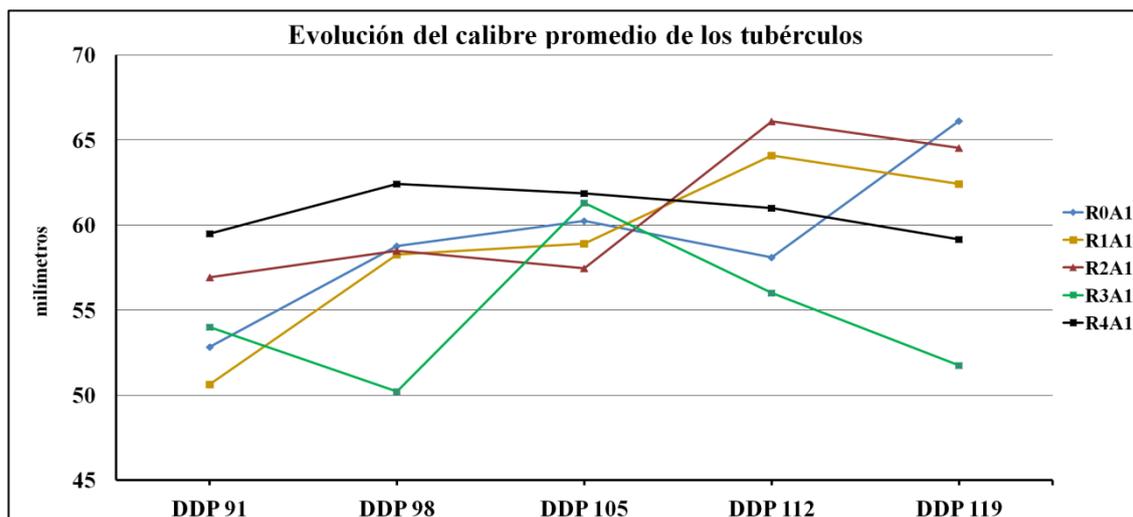


Figura 43. Evolución del calibre promedio del tubérculo de patata en milímetros.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 35. Resultados estadísticos del calibre promedio de los tubérculos de patata en milímetros.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	13,23	9,43	6,89	12,11	21,12
Tukey HSD	20,389	15,306	11,621	20,854	36,118
R0A1	52,819 a	58,750 a	60,236 a	58,083 a	66,125 a
R1A1	50,625 a	58,250 a	58,903 a	64,083 a	62,417 a
R2A1	56,917 a	58,472 a	57,458 a	66,083 a	64,542 a
R3A1	54,000 a	50,208 a	61,306 a	56,000 a	51,750 a
R4A1	59,486 a	62,417 a	61,847 a	60,986 a	59,167 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indicarían diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 43.

4.4.2.8 Evolución del porcentaje de materia seca de los tubérculos.

Observando la evolución del porcentaje de la materia seca de los tubérculos, reflejado en la siguiente Figura 44 y su correspondiente Tabla 36, lo más destacable a simple vista es la evolución agrupada de todos los tratamientos, el cierto paralelismo entre ellos y la existencia de diferencias no significativas en todos los DDP del periodo estudiado. La tendencia generalizada de todos los tratamientos es a disminuir su valor, siendo el R1A1 el que quizás haya evolucionado de manera más estable.

También es notable el pronunciado descenso que ocurre desde el DDP 91 hasta el DDP 105, a partir del cual se inicia un aumento para todos los tratamientos y finalizando el periodo en el DDP 119 con valores similares, situándose estos valores dentro del rango del porcentaje de la materia seca del tubérculo adecuado para poder ser destinadas al consumo humano, siendo este del 16 % al 27 % (Mateo, 1999, p. 492).

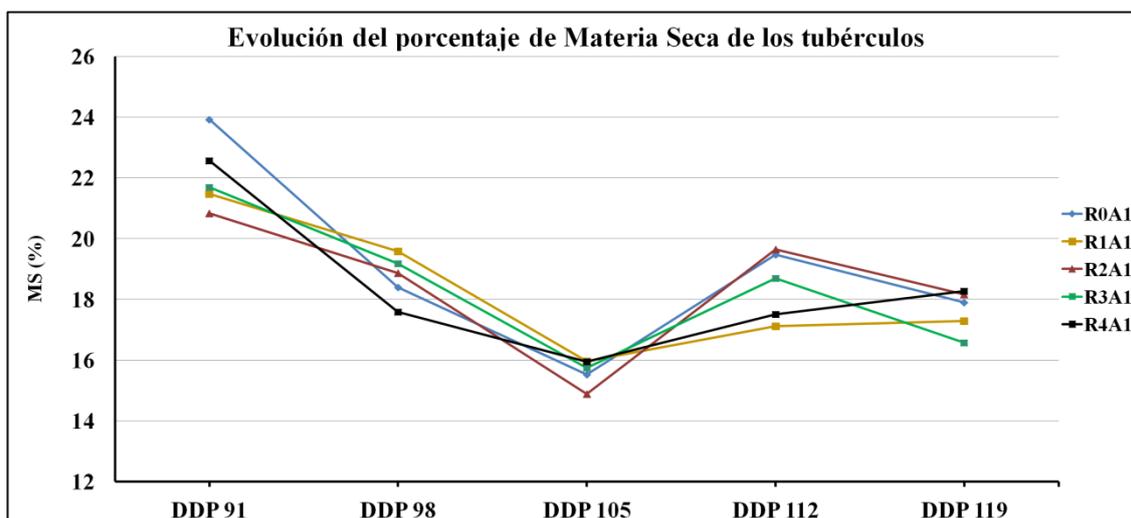


Figura 44. Evolución porcentual de la materia seca de los tubérculos de patata.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 36. Resultados estadísticos de la evolución porcentual de la materia seca de los tubérculos de patata.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	12,33	4,10	8,99	13,54	14,82
Tukey HSD	7,6698	2,1631	3,9526	7,0482	7,3580
R0A1	23,923 a	18,402 a	15,528 a	19,468 a	17,900 a
R1A1	21,472 a	19,584 a	15,967 a	17,116 a	17,290 a
R2A1	20,833 a	18,863 a	14,879 a	19,650 a	18,157 a
R3A1	21,694 a	19,179 a	15,738 a	18,698 a	16,573 a
R4A1	22,567 a	17,591 a	15,950 a	17,502 a	18,272 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indicarían diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 44.

Algunos autores (Kleinkopf, 1982) sugieren que el tubérculo puede actuar como una reserva de agua para la planta. Cuando se produce un déficit hídrico, el agua se mueve desde los tubérculos a los tallos y las hojas, reduciéndose o parándose el

crecimiento del tubérculo. Una vez acabado el déficit hídrico, el crecimiento volverá a producirse.

4.4.2.9 Evolución del contenido porcentual de proteínas en el tubérculo en fresco.

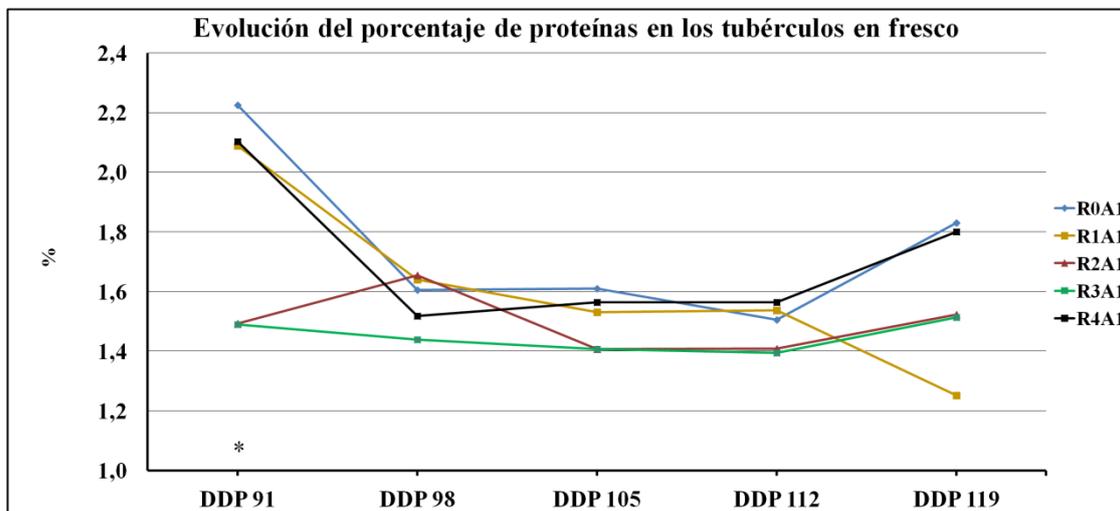


Figura 45. Evolución porcentual del contenido en proteínas en los tubérculos de patata. Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. Los asteriscos indican la aparición de diferencia significativa en la fecha DDP señalada, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 37. Resultados estadísticos de la evolución porcentual del contenido en proteínas en los tubérculos de patata.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	13,21	24,25	12,56	13,87	14,13
Tukey HSD	0,6292	1,1041	0,5318	0,5787	0,6303
R0A1	2,2251 a	1,6059 a	1,6104 a	1,5061 a	1,8311 a
R1A1	2,0893 ab	1,6406 a	1,5303 a	1,5364 a	1,2518 a
R2A1	1,4934 b	1,6544 a	1,4074 a	1,4083 a	1,5227 a
R3A1	1,4901 b	1,4380 a	1,4078 a	1,3943 a	1,5126 a
R4A1	2,1030 ab	1,5180 a	1,5647 a	1,5643 a	1,8009 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 45.

Atendiendo a la anterior Figura 45 y su respectiva Tabla 37, en el DDP 91 inicial se aprecia el único momento del periodo analizado donde existe diferencia significativa del porcentaje de proteínas de los tubérculos en fresco, marcándola el tratamiento R0A1 con respecto al R2A1 y R3A1. Los tratamientos evolucionan de manera similar, sobre

todo en el destacado valle que se puede apreciar entre el DDP 98 y el DDP 112, en donde los porcentajes se mantienen prácticamente constante. En el final del ciclo, los tratamientos de fertirriegos extremos (R1A1 y R4A1) presentan los mayores valores, estando muy igualados entre ellos.

4.4.2.10 La materia seca en kilogramos por hectárea.

Los resultados presentados a continuación del parámetro estudiado durante las fechas DDP señaladas, han sido de los tubérculos, las raíces, los tallos, los peciolo, las hojas y el sumatorio de todos ellos (llamado materia seca total).

4.4.2.10.1 Evolución de la materia seca de los tubérculos.

Observando la siguiente Figura 46 y su correspondiente Tabla 38, lo más destacable que se aprecia es la existencia de diferencias no significativas durante el periodo estudiado para la materia seca de los tubérculos en ningún tratamiento y fecha DDP señalada, junto con una perceptible cuantía final mayor para el R2A1. También se distingue el agrupamiento generalizado de los tratamientos en el inicio de la senescencia (DDP 105), a partir del cual se incrementa la materia seca de los tubérculos debido a la translocación de los nutrientes desde el resto de la planta hacia ellos como se comentó en la introducción (Wright & Stark, 1990).

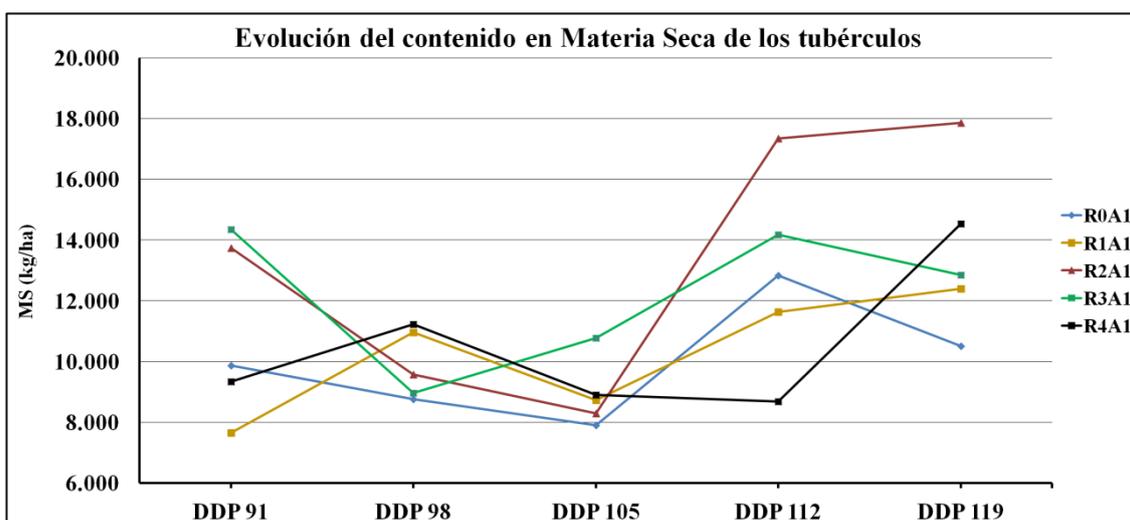


Figura 46. Evolución del contenido en materia seca de los tubérculos de patata en kilogramos por hectárea.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 38. Resultados estadísticos de la evolución del contenido en materia seca de los tubérculos de patata en kilogramos por hectárea.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	31,85	21,96	19,03	35,76	38,14
Tukey HSD	9.856,2	6.121,8	4.782,0	13.023,0	14.641,0
R0A1	9.863 a	8.761 a	7.910 a	12.839 a	10.511 a
R1A1	7.650 a	10.962 a	8.727 a	11.626 a	12.403 a
R2A1	13.746 a	9.574 a	8.301 a	17.337 a	17.863 a
R3A1	14.351 a	8.966 a	10.782 a	14.177 a	12.854 a
R4A1	9.347 a	11.229 a	8.909 a	8.691 a	14.537 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indicarían diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 46.

4.4.2.10.2 Evolución de la materia seca de la raíz.

El contenido de la materia seca de la raíz en kilogramos por hectárea, que se puede observar en la siguiente Figura 47 y su respectiva Tabla 39, muestran diferencias no significativas entre los tratamientos en el periodo analizado. La tendencia general es a ir decreciendo desde el inicio al fin del periodo estudiado, presentado una evolución más estable el R4A1, mientras que el R2A1 ha sido el menos estable. Los tratamientos se observan más agrupados en el inicio de la senescencia (DDP 105). En el DDP 119 final previo a la recolección, lo más notable es la cantidad de materia seca obtenida en el R2A1. Para el resto de tratamientos, las cuantías están muy equiparadas.

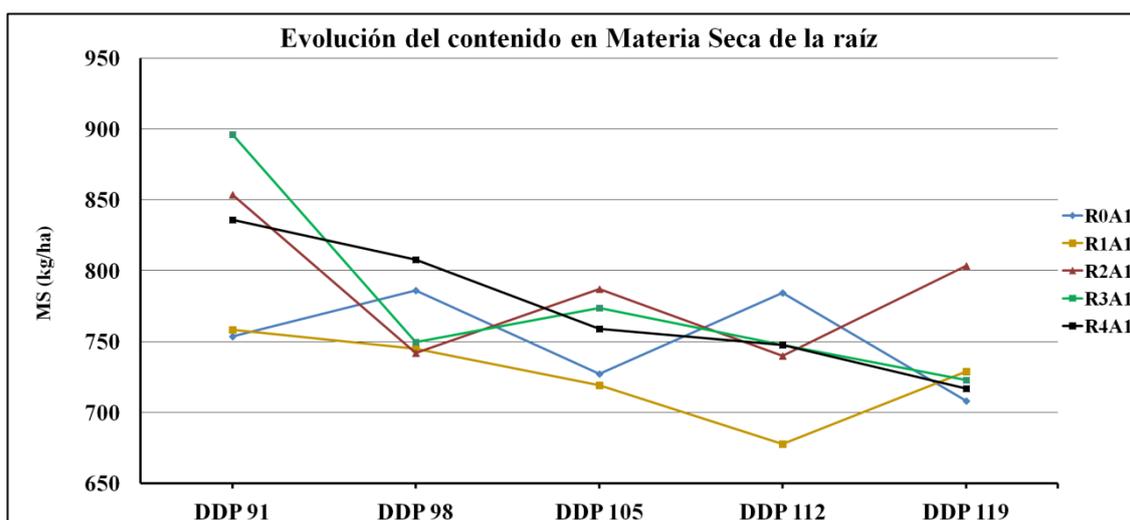


Figura 47. Evolución del contenido en materia seca de la raíz de la planta de patata en kilogramos por hectárea.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 39. Resultados estadísticos de la evolución del contenido en materia seca de la raíz de la planta de patata en kilogramos por hectárea.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	10,61	4,06	7,39	10,87	9,45
Tukey HSD	244,830	87,536	156,700	226,340	195,880
R0A1	753,75 a	786,04 a	727,08 a	784,38 a	708,13 a
R1A1	758,23 a	745,10 a	719,38 a	677,92 a	729,06 a
R2A1	853,75 a	741,88 a	786,98 a	739,79 a	803,54 a
R3A1	896,15 a	749,79 a	773,85 a	747,50 a	722,92 a
R4A1	835,73 a	807,81 a	758,96 a	747,71 a	716,88 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indicarían diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 47.

4.4.2.10.3 Evolución de la materia seca de los tallos.

Atendiendo a la siguiente Figura 48 y su respectiva Tabla 40, los contenidos de la materia seca de los tallos en kilogramos por hectárea presentaron diferencias no significativas entre los tratamientos en las fechas DDP estudiadas, con una tendencia generalizada al incremento.

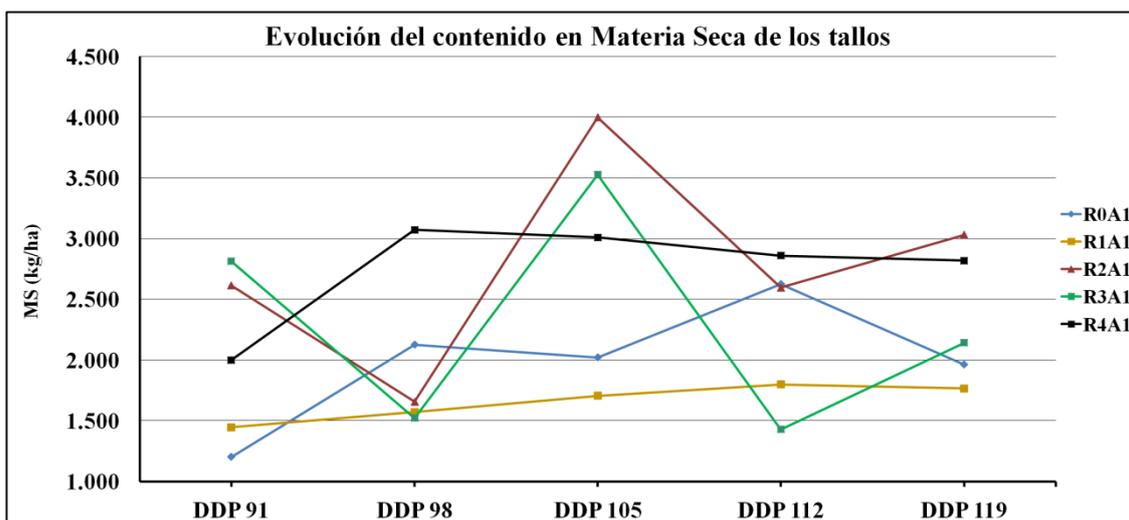


Figura 48. Evolución del contenido en materia seca de los tallos de la planta de patata en kilogramos por hectárea.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 40. Resultados estadísticos de la evolución del contenido en materia seca de los tallos de la planta de patata en kilogramos por hectárea.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	57,29	29,20	53,40	61,08	27,05
Tukey HSD	3.250,8	1.635,7	4.289,2	3.889,9	1.785,2
R0A1	1.201,9 a	2.125,6 a	2.021,4 a	2.626,1 a	1.962,6 a
R1A1	1.446,3 a	1.570,4 a	1.704,8 a	1.797,9 a	1.764,7 a
R2A1	2.614,0 a	1.657,2 a	3.998,1 a	2.596,2 a	3.030,9 a
R3A1	2.813,5 a	1.521,0 a	3.527,3 a	1.428,8 a	2.142,2 a
R4A1	1.999,4 a	3.072,4 a	3.010,3 a	2.859,2 a	2.818,4 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indicarían diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 48.

Se aprecia claramente dos grupos donde los tratamientos evolucionan de forma similar dentro de ellos. En un primer grupo se encuentra el R2A1 y el R3A1, presentando ambos la mayor inestabilidad, y observándose de manera más notable en ellos como la materia seca se ve claramente disminuida a partir del inicio de la senescencia en el DDP 105 (Wright & Stark, 1990). En un segundo grupo están el R4A1, R0A1 y R1A1, siendo este último tratamiento de fertirriego el que evolucionó de manera más estable y con valores muy parecidos durante todo el periodo estudiado.

4.4.2.10.4 Evolución de la materia seca de los peciolo.

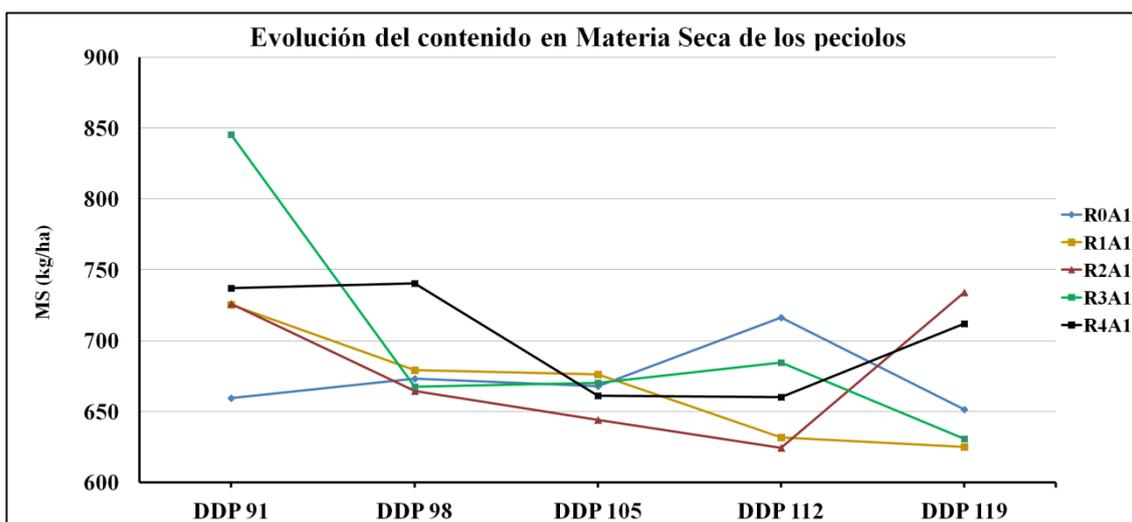


Figura 49. Evolución del contenido en materia seca de los peciolo de la planta de patata en kilogramos por hectárea.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 41. Resultados estadísticos de la evolución del contenido en materia seca de los peciolos de la planta de patata en kilogramos por hectárea.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	20,01	4,87	5,13	10,05	7,31
Tukey HSD	416,230	93,988	95,945	187,770	138,040
R0A1	659,48 a	673,23 a	667,81 a	716,35 a	651,56 a
R1A1	725,42 a	679,38 a	676,15 a	631,67 a	625,00 a
R2A1	725,94 a	664,38 a	644,17 a	624,38 a	734,17 a
R3A1	845,42 a	667,50 a	670,31 a	684,58 a	630,94 a
R4A1	736,98 a	740,31 a	661,25 a	660,31 a	711,88 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indicarían diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 49.

El estudio de la materia seca de los peciolos en kilogramos por hectárea mostró diferencias no significativas entre los tratamientos y las fechas analizadas, como se puede observar en la anterior Figura 49 y en su Tabla 41 correspondiente. La tendencia generalizada es a disminuir su valor desde el inicio al fin del periodo estudiado, apreciándose un mayor agrupamiento de todos los tratamientos en el inicio de la senescencia (DDP 105), y presentando la mayor estabilidad el R1A1. En el DDP 119 final (próximo a recolección), se aprecia dos grupos de tratamientos prácticamente iguales al obtenido anteriormente para los tallos.

4.4.2.10.5 Evolución de la materia seca de las hojas.

En relación con la cantidad de la materia seca de las hojas en kilogramos por hectárea obtenida en cada fecha DDP y tratamiento estudiado, reflejado en la siguiente Figura 50 y su respectiva Tabla 42, se aprecia una tendencia general al descenso entre el inicio y el fin del periodo, y en el que existe tres hechos destacables detallados a continuación.

En primer lugar, el punto de inflexión acentuado en el DDP 105 (inicio de la senescencia) a partir del cual comienza a disminuir la materia seca de las hojas hasta el final del ciclo, como se refleja en la etapa (IV) del crecimiento del tubérculo (Wright & Stark, 1990), ya estudiado en la introducción.

En segundo lugar, la presencia de diferencia significativa en el DDP 119 (final del periodo estudiado próximo a la recolección), marcándola el R2A1 con el R0A1, a pesar de mostrar diferencias no significativas entre tratamientos durante el resto del periodo. Esto podría ser debido a la diferencia de hojas retenidas en cada tratamiento en el momento del muestreo.

Y en tercer y último lugar, la presencia de dos grupos de tratamientos que evolucionan de manera similar dentro de cada grupo, estando en un primer grupo el R4A1, R3A1 y R2A1, y en un segundo grupo el R1A1 y el R0A1.

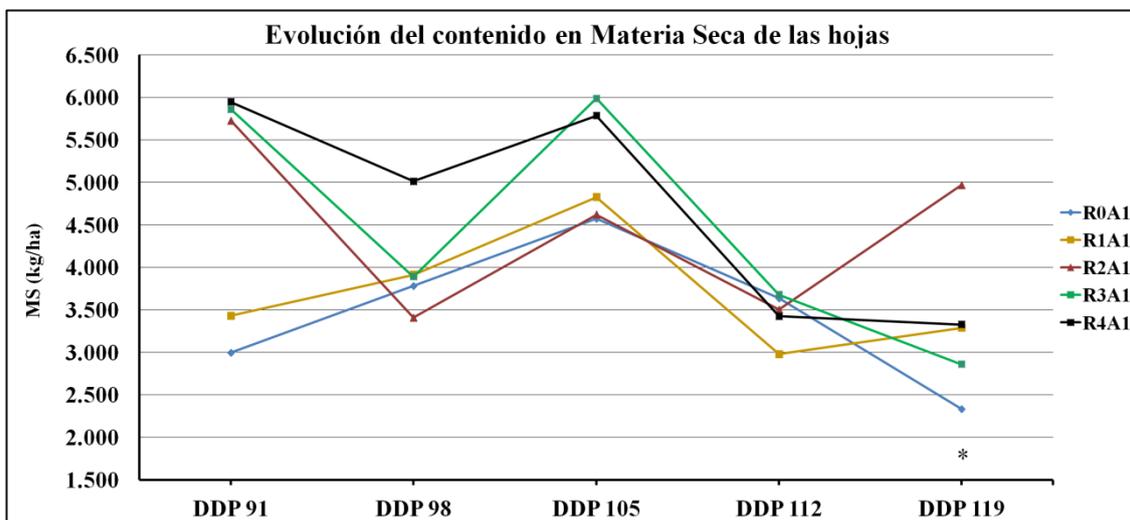


Figura 50. Evolución del contenido en materia seca de las hojas de la planta de patata en kilogramos por hectárea.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. Los asteriscos indican la aparición de diferencia significativa en la fecha DDP señalada, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 42. Resultados estadísticos de la evolución del contenido en materia seca de las hojas de la planta de patata en kilogramos por hectárea.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	46,69	20,97	31,69	38,89	22,40
Tukey HSD	6.298,50	2.362,00	4.601,60	3.771,00	2.115,30
R0A1	2.996,0 a	3.781,7 a	4.570,6 a	3.636,9 a	2.332,2 b
R1A1	3.430,8 a	3.911,5 a	4.826,1 a	2.976,9 a	3.286,4 ab
R2A1	5.725,3 a	3.407,9 a	4.618,5 a	3.502,5 a	4.966,9 a
R3A1	5.858,8 a	3.889,8 a	5.987,1 a	3.677,2 a	2.858,1 ab
R4A1	5.944,9 a	5.011,0 a	5.783,4 a	3.423,4 a	3.326,7 ab

Nota. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 50.

4.4.2.10.6 Evolución de la materia seca total.

La materia seca total corresponde al sumatorio de la materia seca de los tubérculos, las raíces, los tallos, los peciolo y las hojas.

Lo más evidente es la diferencia no significativa de la materia seca total lo largo del periodo estudiado, como se puede visualizar en la siguiente Figura 51 y su respectiva Tabla 43. La tendencia general de los tratamientos es al aumento desde el inicio al fin del periodo. El R1A1 es el que ha evolucionado de forma más estable e incrementando su valor casi de forma constante. Contrariamente, para el R2A1 fue de manera menos estable.

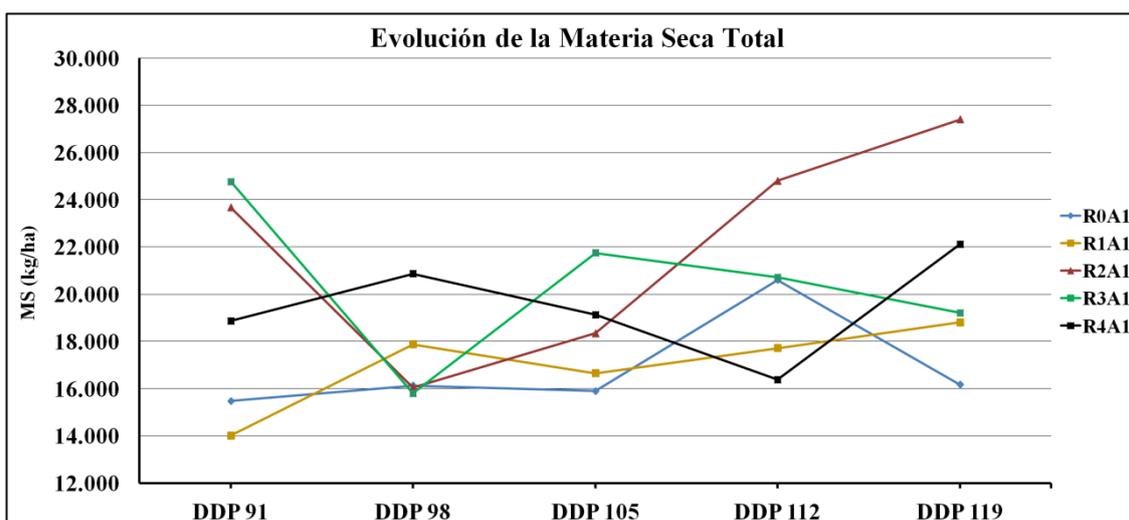


Figura 51. Evolución de la materia seca total de la planta de patata en kilogramos por hectárea. Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 43. Resultados estadísticos de la evolución de la materia seca total de la planta de patata en kilogramos por hectárea.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	31,33	17,43	20,48	27,79	26,70
Tukey HSD	17.073,0	8.510,6	10.581,0	15.683,0	15.592,0
R0A1	15.474 a	16.127 a	15.897 a	20.603 a	16.165 a
R1A1	14.011 a	17.868 a	16.653 a	17.710 a	18.808 a
R2A1	23.665 a	16.046 a	18.348 a	24.799 a	27.398 a
R3A1	24.765 a	15.794 a	21.741 a	20.715 a	19.208 a
R4A1	18.864 a	20.861 a	19.123 a	16.381 a	22.111 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indicarían diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Se entiende como materia seca total, al sumatorio de la materia seca de los tubérculos, raíz, tallos, peciolo y hojas. Datos pertenecientes a la Figura 51.

4.4.2.10.7 Evolución de la materia seca de los distintos órganos de la planta de patata.

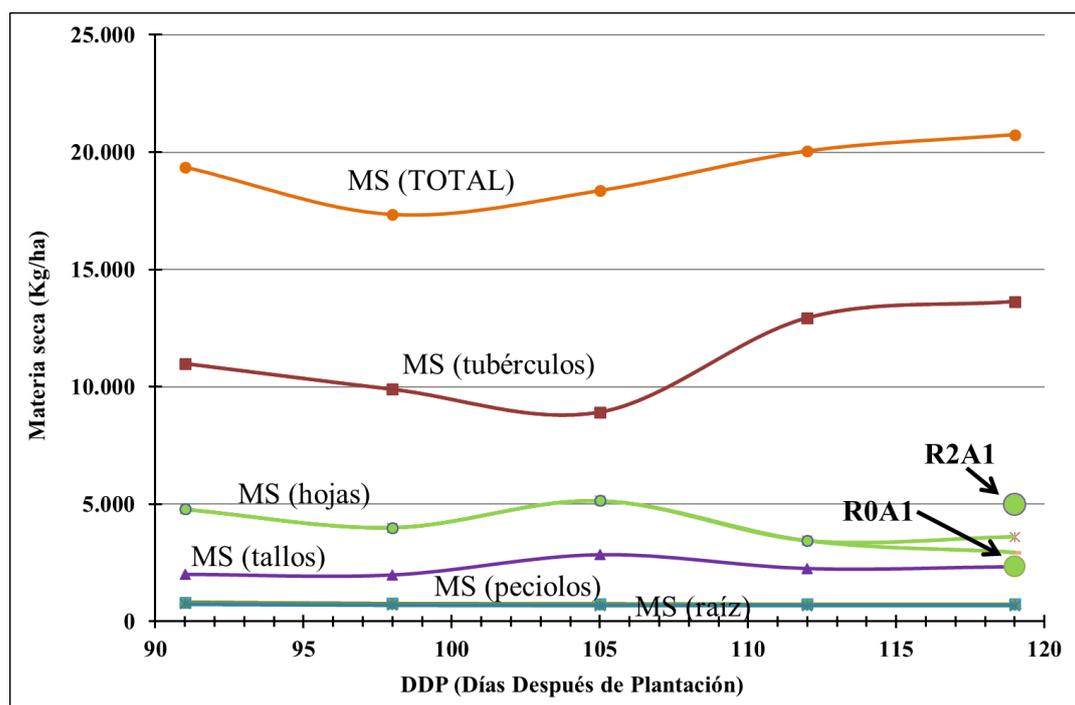


Figura 52. Evolución de la distribución de la materia seca entre los distintos órganos de la planta de patata.

A modo de resumen, se representa en la anterior Figura 52, la evolución de los distintos componentes de la materia seca de todos los tratamientos (riegos con abonado 1) durante la fase estudiada, donde se observa que el aumento de la materia seca total es debida al aumento de la materia seca de los tubérculos a costa de la pérdida de materia seca de las hojas, siendo en estas últimas donde únicamente se produjeron diferencias significativas al final de la estación entre el tratamiento de riego potencial (R2A1) y el tratamiento menos regado (R0A1).

4.5 Medidas de las relaciones hídricas del cultivo.

Se reflejan los resultados estudiados a lo largo del periodo para la humedad, la temperatura, el potencial hídrico xilemático mediante la cámara de Scholander y el NIRS, en las distintas partes de la planta de patata. El estudio y posterior análisis estadístico, se ha realizado para cada parámetro, fecha DDP y hora de medida (8 horas y 12 horas de la mañana) en el periodo indicado (comenzando en el DDP 91 y finalizando en el DDP 119).

4.5.1 El porcentaje de humedad.

Su estudio se ha analizado para la raíz, los tallos, los peciolas y las hojas de la planta de patata, a excepción de los tubérculos, cuyo análisis se ha realizado para la materia seca, como ya se ha visto anteriormente en el apartado correspondiente.

4.5.1.1 Evolución del porcentaje de humedad de la raíz.

La evolución del porcentaje de humedad obtenido en las raíces a las 8 horas de la mañana durante el periodo estudiado queda reflejada de forma gráfica y analítica en la siguiente Figura 53 y su correspondiente Tabla 44, mostrando el análisis estadístico diferencias no significativas, y con una tendencia generalizada de los tratamientos al incremento del valor. La evolución más estable ha sido del R4A1, y de manera contraria para el R1A1.

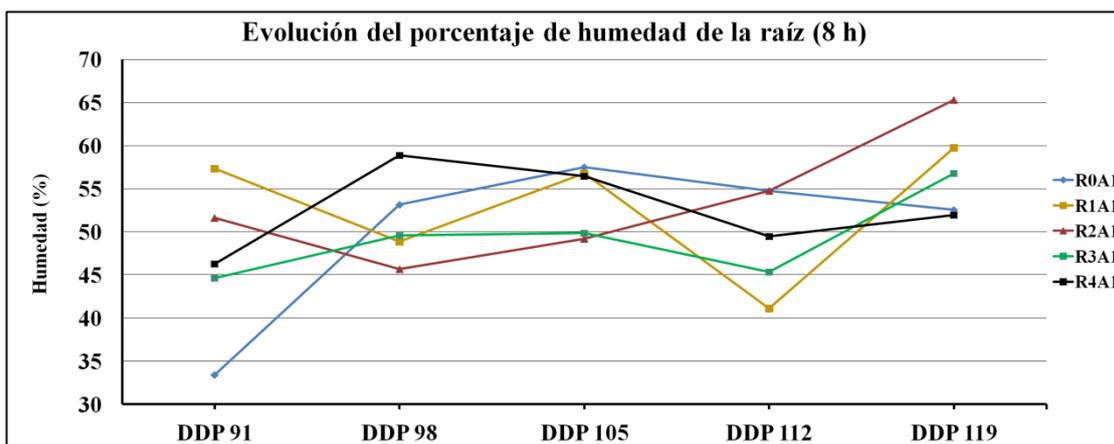


Figura 53. Evolución del porcentaje de humedad de la raíz de la planta de patata, muestreado a las 8 horas de la mañana.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 44. Resultados estadísticos de la evolución del porcentaje de humedad de la raíz de la planta de patata, a las 8 horas de la mañana.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	30,89	15,72	9,41	13,78	13,25
Tukey HSD	40,5810	22,6870	14,2970	19,0410	21,3700
R0A1	33,449 a	53,179 a	57,487 a	54,737 a	52,541 a
R1A1	57,334 a	48,895 a	56,802 a	41,127 a	59,752 a
R2A1	51,630 a	45,659 a	49,187 a	54,757 a	65,289 a
R3A1	44,621 a	49,591 a	49,855 a	45,368 a	56,814 a
R4A1	46,269 a	58,876 a	56,463 a	49,458 a	51,956 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indicarían diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 53.

En la Figura 54 y su respectiva Tabla 45 que se pueden observar a continuación, se muestra la evolución del porcentaje de la humedad de la raíz correspondiente a las 12 horas de la mañana. No aparecieron diferencias significativas durante su estudio y con una tendencia al incremento del valor para todos los tratamientos en el periodo estudiado, al igual que sucedió a primera hora de la mañana. El tratamiento que ha desarrollado una evolución más estable durante el periodo analizado a las 12 horas ha sido el R0A1, iniciando y finalizando el ciclo con un valor similar, y contrariamente (presentando la menor estabilidad) ocurrió para el R2A1. Se aprecian valores similares al inicio (DDP 91) y final del periodo (DDP 119) para el R1A1 y R2A1, siendo superiores en este final previo a la recolección.

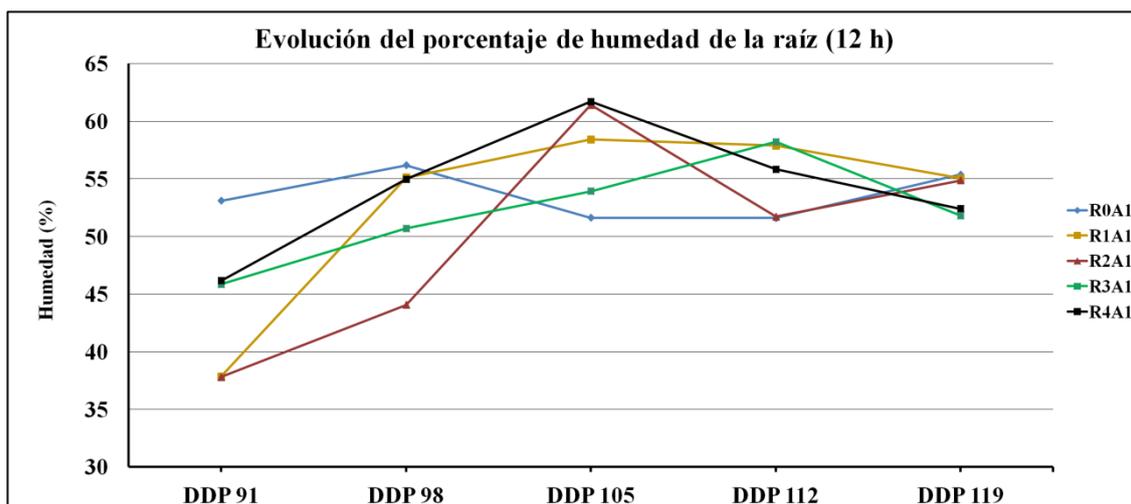


Figura 54. Evolución del porcentaje de humedad de la raíz de la planta de patata, muestreado a las 12 horas de la mañana.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 45. Resultados estadísticos de la evolución del porcentaje de humedad de la raíz de la planta de patata, a las 12 horas de la mañana.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	33,60	13,67	15,47	16,10	12,39
Tukey HSD	41,767	20,090	25,013	24,958	18,812
R0A1	53,102 a	56,181 a	51,615 a	51,588 a	55,388 a
R1A1	37,823 a	55,102 a	58,412 a	57,895 a	55,052 a
R2A1	37,790 a	44,052 a	61,426 a	51,725 a	54,862 a
R3A1	45,847 a	50,692 a	53,922 a	58,215 a	51,811 a
R4A1	46,153 a	54,963 a	61,710 a	55,826 a	52,391 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indicarían diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 54.

Comparando los resultados en término medio de todos los tratamientos durante la evolución del porcentaje de la humedad de la raíz a las 8 horas y 12 horas de la mañana, se evidencian valores similares durante el periodo analizado. Se aprecia un mayor agrupamiento de los tratamientos a las 12 horas de la mañana en la fecha cercana a la recolección (DDP 119). Recordemos que para ambas horas (8 y 12) el análisis estadístico presentó diferencias no significativas.

4.5.1.2 Evolución del porcentaje de humedad de los tallos.

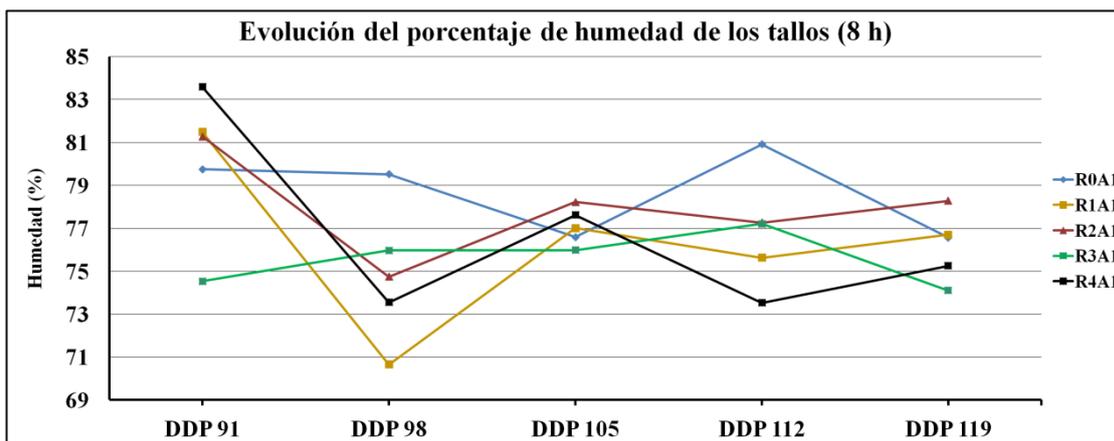


Figura 55. Evolución del porcentaje de humedad de los tallos de la planta de patata, muestreado a las 8 horas de la mañana.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 46. Resultados estadísticos de la evolución del porcentaje de humedad de los tallos de la planta de patata, a las 8 horas de la mañana.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	6,55	11,34	4,38	6,27	6,09
Tukey HSD	14,7820	23,9160	9,5028	13,5790	13,0570
R0A1	79,753 a	79,518 a	76,591 a	80,913 a	76,567 a
R1A1	81,488 a	70,650 a	77,005 a	75,623 a	76,702 a
R2A1	81,279 a	74,740 a	78,226 a	77,261 a	78,281 a
R3A1	74,536 a	75,976 a	75,982 a	77,210 a	74,104 a
R4A1	83,590 a	73,554 a	77,620 a	73,531 a	75,251 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indicarían diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 55.

En relación con el porcentaje de humedad de los tallos a las 8 horas de la mañana, reflejado en la anterior Figura 55 y su respectiva Tabla 46, se han observado diferencias no significativas en todas las fechas DDP y tratamientos durante el periodo estudiado, con una tendencia de todos los tratamientos a disminuir su valor.

Es destacable en el inicio de la senescencia (DDP 105), el agrupamiento para todos los tratamientos. La evolución más estable ha sido para el tratamiento R3A1, adquiriendo valores iniciales y finales muy igualados. Por el contrario, la menor estabilidad se ha presentado para el R4A1. Los tratamientos R1A1 y R2A1 han seguido un desarrollo muy similar.

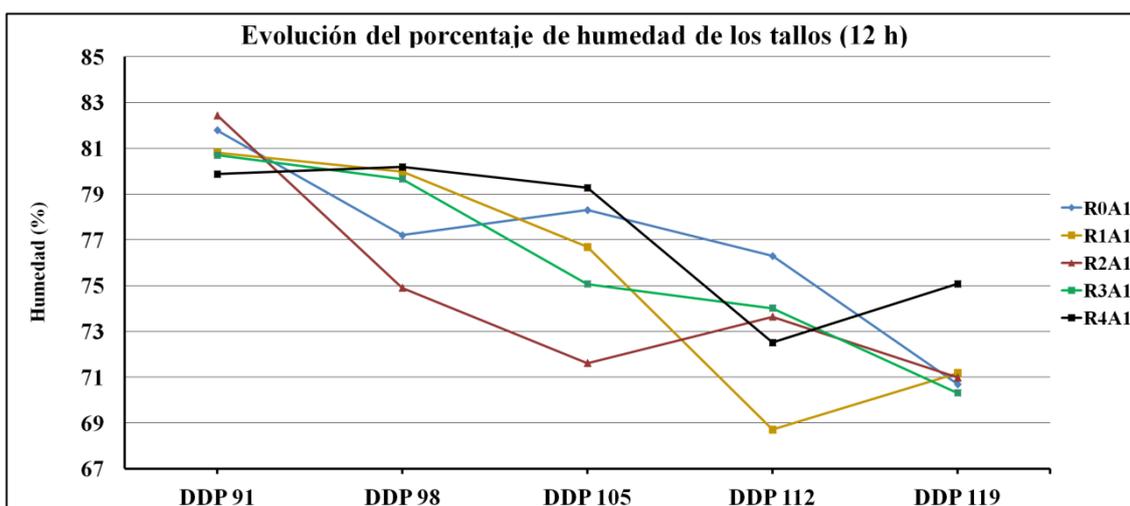


Figura 56. Evolución del porcentaje de humedad de los tallos de la planta de patata, muestreado a las 12 horas de la mañana.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 47. Resultados estadísticos de la evolución del porcentaje de humedad de los tallos de la planta de patata, a las 12 horas de la mañana.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	4,69	4,16	8,29	6,83	7,87
Tukey HSD	10,7220	9,1758	17,7870	14,0460	15,8800
R0A1	81,787 a	77,208 a	78,306 a	76,295 a	70,692 a
R1A1	80,812 a	79,975 a	76,692 a	68,712 a	71,182 a
R2A1	82,437 a	74,905 a	71,615 a	73,640 a	70,981 a
R3A1	80,703 a	79,659 a	75,065 a	74,016 a	70,311 a
R4A1	79,876 a	80,182 a	79,279 a	72,510 a	75,079 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indicarían diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 56.

Con respecto a el porcentaje de humedad en los tallos a las 12 hora de la mañana representada en la anterior Figura 56 y su correspondiente Tabla 47, lo más destacable es la presencia de diferencias no significativas y una tendencia a la disminución del parámetro durante el periodo estudiado para todos los tratamientos, al igual que ocurría a primera hora de la mañana, aunque de forma más acusada. Contrariamente a lo que pasaba a primera hora de la mañana, en el inicio de la senescencia (DDP 105) ocurre la mayor separación entre los tratamientos.

El tratamiento R3A1 es el más estable a las 12 horas, disminuyendo su valor de forma menos variable desde el inicio al final del periodo estudiado. Por el contrario, el R1A1 y R2A1 son los que presentan una menor estabilidad, observándose de forma curiosa el aumento y descenso en sus valores de manera simétrica.

4.5.1.3 Evolución del porcentaje de humedad de los peciolo.

En la siguiente Figura 57 y sus correspondientes resultados estadísticos representado en la Tabla 48, se puede observar la evolución del porcentaje de humedad de los peciolo a las 8 horas de la mañana, siendo lo más destacable la presencia de diferencias significativas en el periodo cercano a la recolección (DDP 119), entre los tratamientos R2A1 y R3A1.

La tendencia de todos los tratamientos a las 8 horas es a disminuir su valor entre el inicio (DDP 91) y el final del periodo estudiado (DDP 119), aunque se aprecian frecuentes oscilaciones.

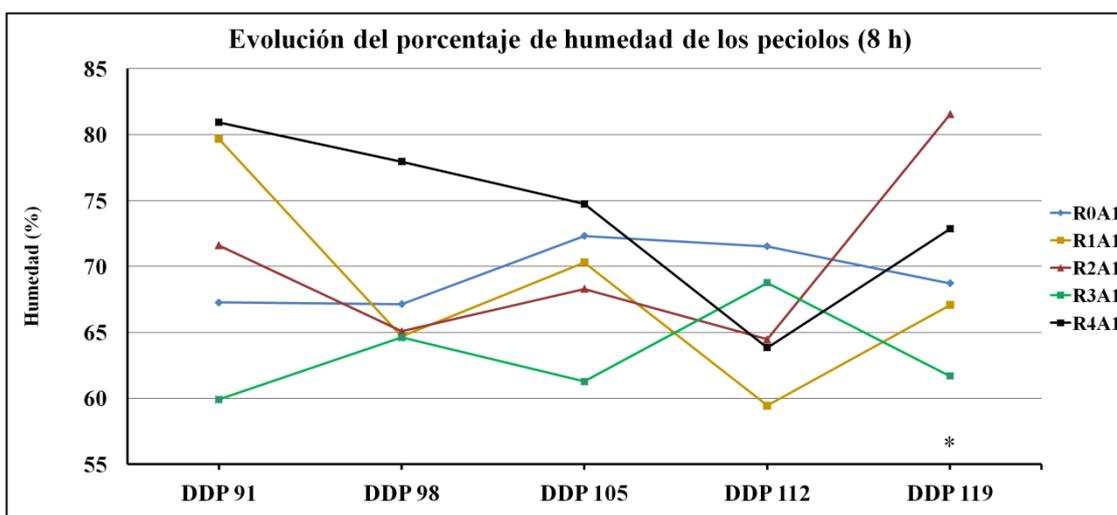


Figura 57. Evolución del porcentaje de humedad de los peciolo de la planta de patata, muestreado a las 8 horas de la mañana.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. Los asteriscos indican la aparición de diferencia significativa en la fecha DDP señalada, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 48. Resultados estadísticos de la evolución del porcentaje de humedad de los peciolo de la planta de patata, a las 8 horas de la mañana.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	22,46	7,09	9,17	17,40	9,76
Tukey HSD	45,4500	13,5620	17,9160	32,1490	19,3390
R0A1	67,271 a	67,156 a	72,322 a	71,534 a	68,736 ab
R1A1	79,673 a	64,705 a	70,315 a	59,446 a	67,089 ab
R2A1	71,611 a	65,081 a	68,296 a	64,488 a	81,554 a
R3A1	59,916 a	64,626 a	61,293 a	68,773 a	61,690 b
R4A1	80,931 a	77,947 a	74,749 a	63,850 a	72,868 ab

Nota. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 57.

Los resultados observados en la siguiente Figura 58 y su respectiva Tabla 49, en relación con el porcentaje de humedad en los peciolo a las 12 horas de la mañana, lo más notable es el descenso destacado para el tratamiento R2A1 en el DDP 112, junto con la presencia de diferencias no significativas durante el periodo analizado. La tendencia general de los tratamientos es al incremento de su valor, aunque mostrando oscilaciones a través del periodo. El tratamiento que ha evolucionado de forma más estable ha sido el R1A1, mientras el R2A1 fue menos estable.

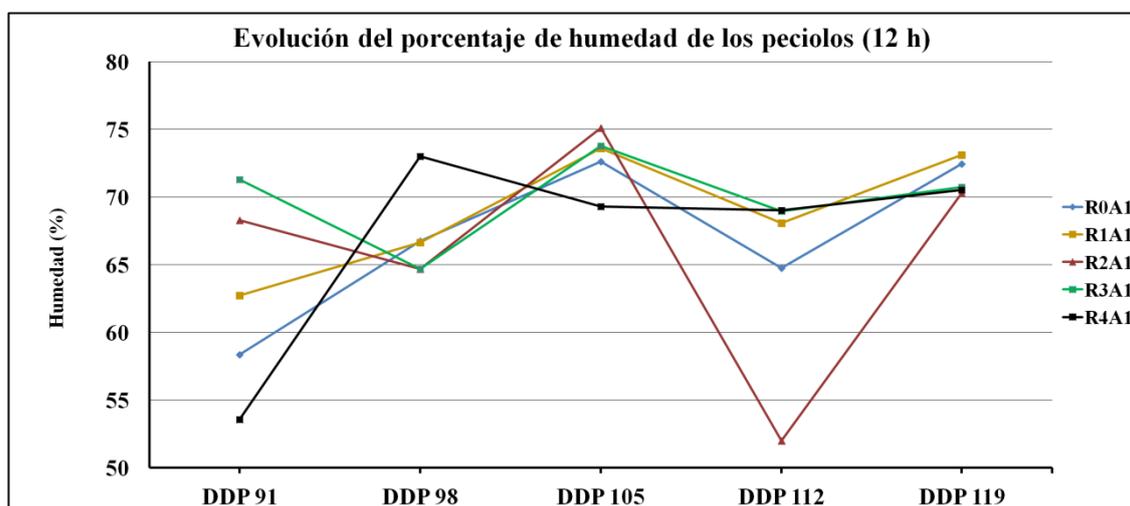


Figura 58. Evolución del porcentaje de humedad de los peciolo de la planta de patata, muestreado a las 12 horas de la mañana.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 49. Resultados estadísticos de la evolución del porcentaje de humedad de los peciolo de la planta de patata, a las 12 horas de la mañana.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	33,60	9,52	7,75	19,05	13,12
Tukey HSD	59,475	18,007	15,904	34,642	26,390
R0A1	58,357 a	66,775 a	72,637 a	64,770 a	72,455 a
R1A1	62,740 a	66,671 a	73,614 a	68,080 a	73,132 a
R2A1	68,296 a	64,711 a	75,107 a	51,996 a	70,293 a
R3A1	71,304 a	64,690 a	73,773 a	68,971 a	70,759 a
R4A1	53,576 a	73,023 a	69,318 a	69,023 a	70,538 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indicarían diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 58.

Comparando los valores en término medio del porcentaje de humedad en los peciolo a las 8 horas y 12 horas de la mañana, los resultados porcentuales fueron parecidos, señalando la diferencia significativa en la fecha próxima a la recolección a las 8 horas de la mañana (marcándola el R2A1 con respecto al R3A1).

La humedad de los peciolo es quizás la que mostró mayores oscilaciones a través del periodo estudiado, lo que nos hace pensar que fue la medida de humedad más sensible a los distintos estados hídricos de la planta. Esto explicaría que fuera la única en dar diferencias significativas entre los tratamientos en alguna de las fechas DDP.

4.5.1.4 Evolución del porcentaje de humedad de las hojas.

El porcentaje de humedad de las hojas a las 8 horas de la mañana, cuyos resultados quedan reflejados en la siguiente Figura 59 y su respectiva Tabla 50, presentan una evolución similar de forma general entre los tratamientos durante el periodo estudiado.

El análisis estadístico mostró diferencias no significativas, reflejando una tendencia descendente y agrupada para todos los tratamientos. La mayor estabilidad la presentó el R1A1, y de manera contraria (menos estable) el R3A1.

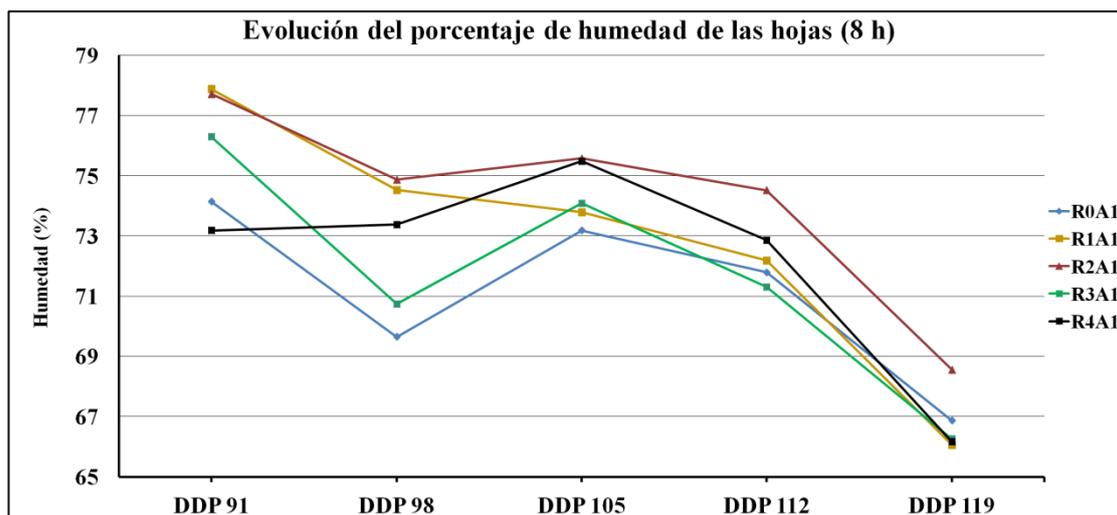


Figura 59. Evolución del porcentaje de humedad de las hojas de la planta de patata, muestreado a las 8 horas de la mañana.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 50. Resultados estadísticos de la evolución del porcentaje de humedad de las hojas de la planta de patata, a las 8 horas de la mañana.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	5,81	4,19	3,18	5,70	8,34
Tukey HSD	12,4060	8,5781	6,6556	11,6470	15,6850
R0A1	74,141 a	69,650 a	73,181 a	71,790 a	66,871 a
R1A1	77,880 a	74,530 a	73,789 a	72,185 a	66,062 a
R2A1	77,716 a	74,871 a	75,578 a	74,521 a	68,558 a
R3A1	76,297 a	70,741 a	74,088 a	71,309 a	66,253 a
R4A1	73,182 a	73,377 a	75,488 a	72,864 a	66,161 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indicarían diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 59.

La evolución del porcentaje de humedad de las hojas a las 12 horas de la mañana reflejada la siguiente Figura 60 y su respectiva Tabla 51 que se presentan a continuación, nos muestra un desarrollo muy agrupado de forma generalizada de los tratamientos con un marcado descenso en el tramo final (entre el DDP 112 y el DDP 119), al igual que ocurría a primera hora de la mañana. Se obtuvieron diferencias no significativas durante el periodo analizado, con una tendencia a la disminución del valor porcentual. La evolución más estable la presentó el R1A1, y contrariamente para el R2A1.

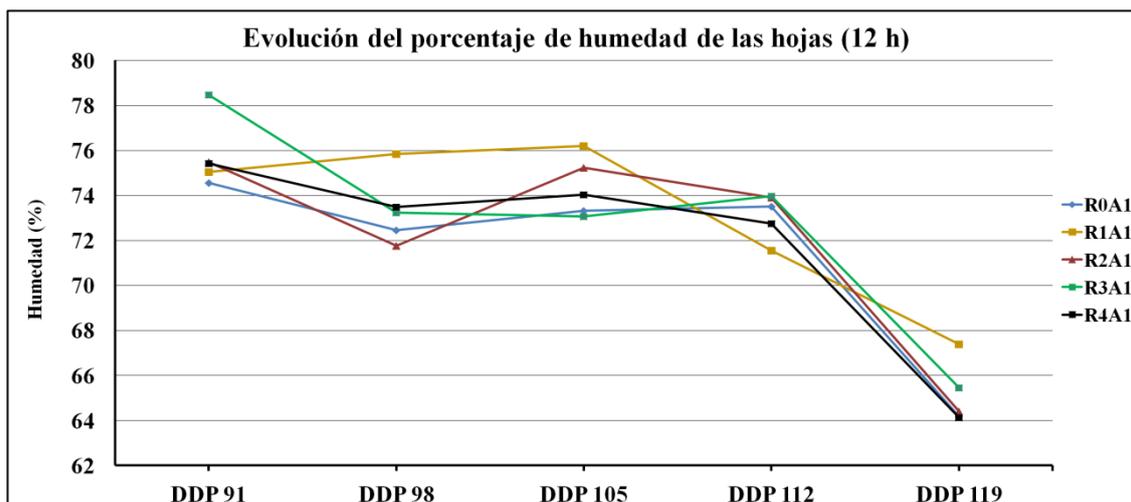


Figura 60. Evolución del porcentaje de humedad de las hojas de la planta de patata, muestreado a las 12 horas de la mañana.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados. ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 51. Resultados estadísticos la evolución del porcentaje de humedad de las hojas de la planta de patata, a las 12 horas de la mañana.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	6,43	2,30	2,49	1,83	7,62
Tukey HSD	13,7320	4,7458	5,2126	3,7666	13,9780
R0A1	74,562 a	72,449 a	73,331 a	73,515 a	64,174 a
R1A1	75,041 a	75,849 a	76,194 a	71,550 a	67,393 a
R2A1	75,494 a	71,775 a	75,229 a	73,910 a	64,414 a
R3A1	78,482 a	73,236 a	73,076 a	73,969 a	65,462 a
R4A1	75,423 a	73,490 a	74,031 a	72,759 a	64,127 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indicarían diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 60.

Contrastando el porcentaje de humedad en las hojas en términos medios a las 8 horas y 12 horas de la mañana, se obtuvieron valores muy similares durante todo el periodo estudiado, sin diferencias significativas en ambas horas.

A modo de resumen, se presentan en la siguiente Figura 61 y Figura 62 las medidas del porcentaje de humedad de todas las partes estudiadas de la planta, señalando los tratamientos que mostraron diferencias significativas en los peciolo.

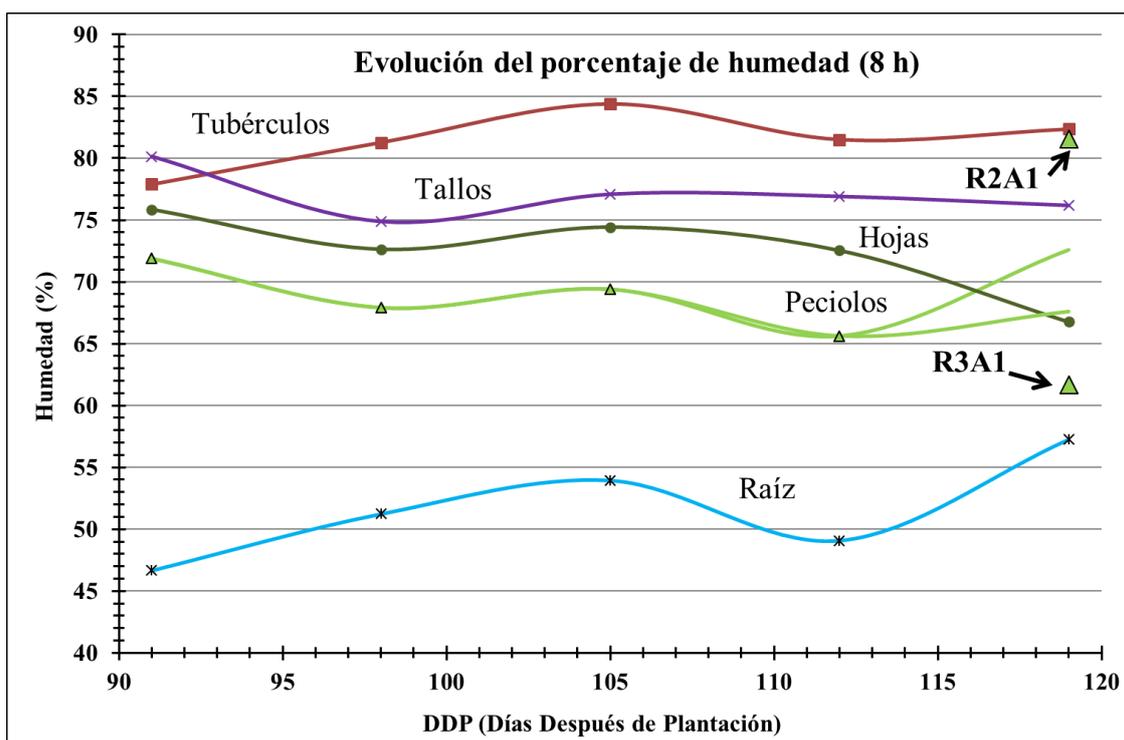


Figura 61. Evolución de los valores del porcentaje humedad de los distintos órganos de la planta de patata, medidas a las 8 horas de la mañana.

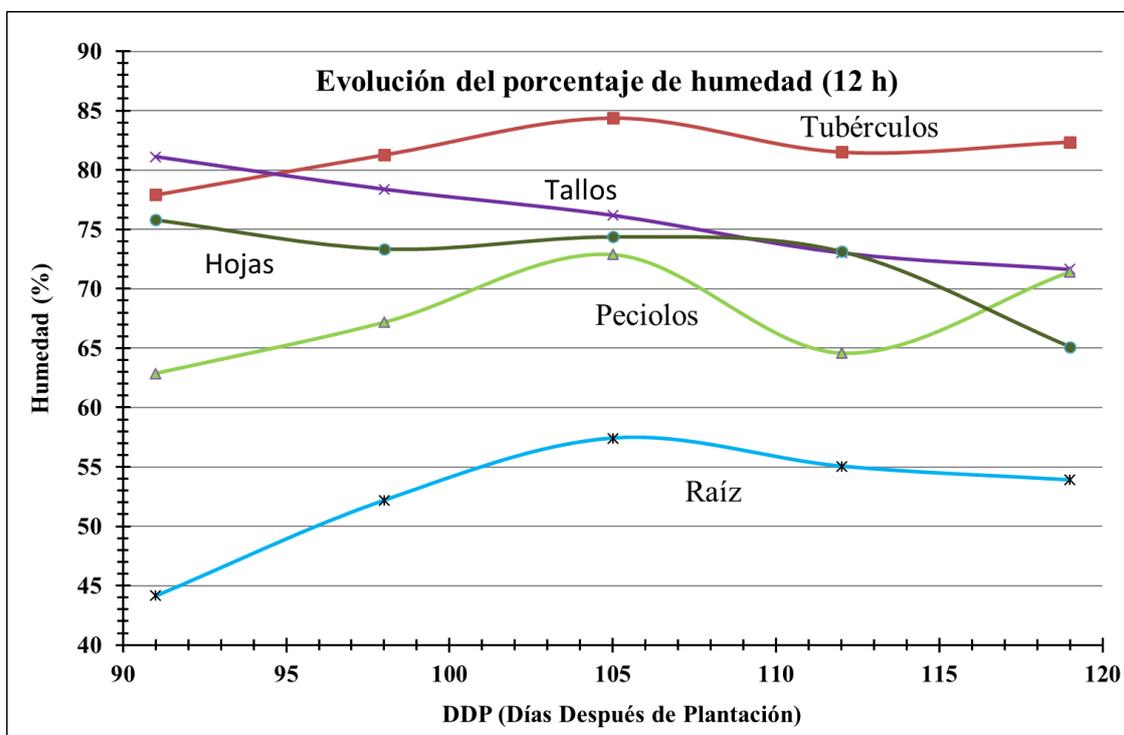


Figura 62. Evolución de los valores del porcentaje humedad de los distintos órganos de la planta de patata, medidas a las 12 horas de la mañana.

4.5.2 Temperatura en las hojas y en la cubierta de la planta.

El estudio de la temperatura, tanto en las hojas como en la cubierta de la planta, se ha realizado mediante la utilización del termómetro infrarrojo (“láser”) y de la cámara termográfica (termografía), y cuyo método fue explicado anteriormente en el apartado correspondiente de materiales y métodos. Ambas tecnologías se han estudiado por separado, y cuyos resultados se reflejan a continuación.

4.5.2.1 Evolución de la temperatura en las hojas con el termómetro infrarrojo (“láser”).

Atendiendo a la Figura 63 y sus correspondientes resultados estadísticos reflejados en la Tabla 52 mostradas a continuación, se observa como la evolución de la temperatura medida con el termómetro infrarrojo (“láser”) tomada en las hojas a las 8 horas de la mañana sigue una evolución similar para todos los tratamientos, presentando diferencias no significativas durante el periodo estudiado.

La tendencia para todos los tratamientos es a un leve aumento de la temperatura entre el inicio (DDP 91) y el final (DDP 119) del periodo analizado. Se observa un ascenso casi constante y generalizado desde el DDP 91 hasta el inicio de la senescencia de la planta (DDP 105), donde se alcanza las temperaturas mayores (aunque de forma leve) del periodo.

En el final del periodo próximo a la recolección (DDP 119) se aprecia un agrupamiento de los tratamientos (salvo el R4A1), con valores más parecidos entre ellos, aunque sin diferencia significativa.

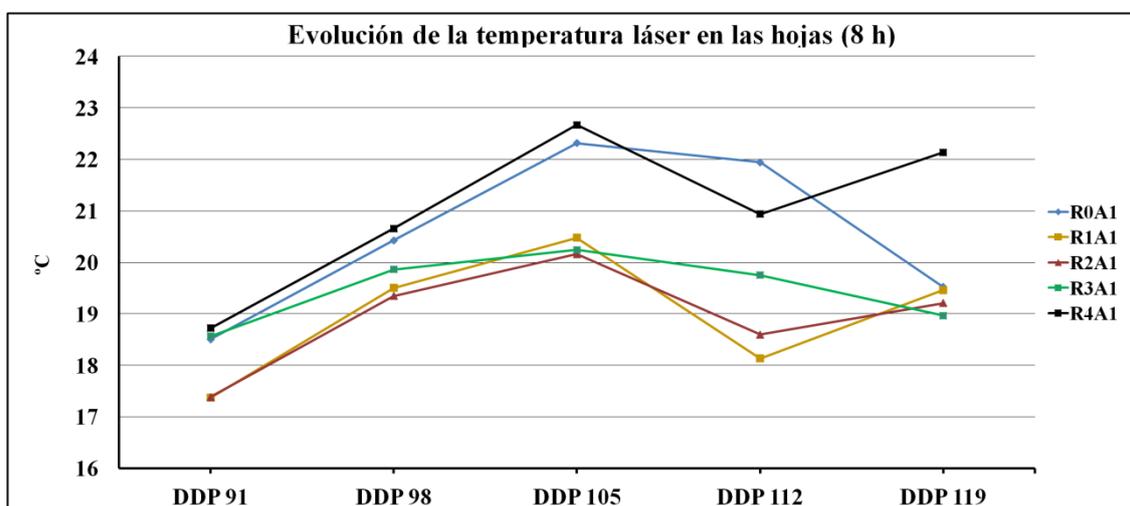


Figura 63. Evolución de la temperatura mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) en las hojas de la planta de patata, registrada a las 8 horas de la mañana.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados, en la unidad de grados centígrados. ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 52. Resultados estadísticos de la evolución de la temperatura mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) en las hojas de la planta de patata en grados centígrados, a las 8 horas de la mañana.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	6,95	6,28	6,78	6,90	7,30
Tukey HSD	3,5430	3,5313	4,0451	3,8609	4,0828
R0A1	18,50 a	20,43 a	22,31 a	21,94 a	19,52 a
R1A1	17,37 a	19,50 a	20,48 a	18,13 a	19,46 a
R2A1	17,39 a	19,35 a	20,16 a	18,60 a	19,21 a
R3A1	18,57 a	19,86 a	20,24 a	19,75 a	18,97 a
R4A1	18,72 a	20,65 a	22,67 a	20,94 a	22,13 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indicarían diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 63.

Observando la siguiente Figura 64 y su correspondiente Tabla 53, lo más notable es la presencia de diferencias significativas en el DDP 98 para la temperatura registrada con el termómetro infrarrojo (“láser”) en las hojas medidas a las 12 horas de la mañana, del tratamiento menos regado R0A1 con respecto al resto de los tratamientos (salvo el R4A1). La tendencia para todos los tratamientos entre el inicio y final del periodo analizado es al aumento leve de la temperatura, como ocurría a primera hora de la mañana.

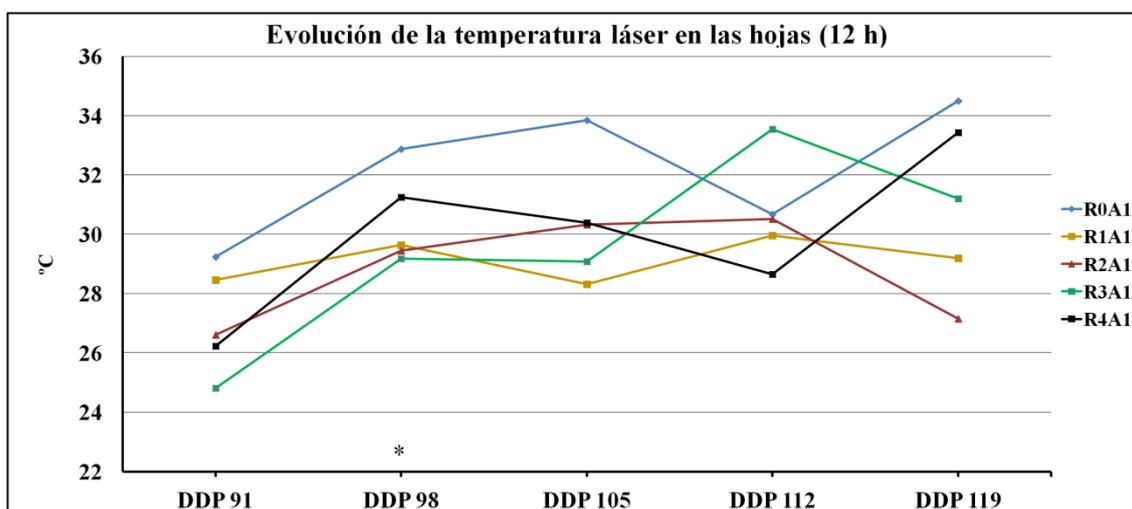


Figura 64. Evolución de la temperatura mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) en las hojas de la planta de patata, registrada a las 12 horas de la mañana.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados, en la unidad de grados centígrados. Los asteriscos indican la aparición de diferencia significativa en la fecha DDP señalada, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 53. Resultados estadísticos de la evolución de la temperatura mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) en las hojas de la planta de patata en grados centígrados, a las 12 horas de la mañana.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	6,22	3,03	7,25	7,71	10,86
Tukey HSD	4,7445	2,5966	6,2021	6,6568	9,5084
R0A1	29,24 a	32,87 a	33,84 a	30,67 a	34,50 a
R1A1	28,46 a	29,64 b	28,31 a	29,95 a	29,19 a
R2A1	26,61 a	29,44 b	30,33 a	30,51 a	27,16 a
R3A1	24,81 a	29,17 b	29,07 a	33,54 a	31,21 a
R4A1	26,22 a	31,26 ab	30,39 a	28,65 a	33,44 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 64.

La evolución para ambas horas (8 y 12) es parecida, con las salvedades de obtenerse siempre mayores valores a las 12 horas y con temperaturas más dispersas entre los tratamientos a las 12 horas (aunque sin diferencias significativas) en la fecha más cercana a la recolección (DDP 119).

4.5.2.2 Evolución de la temperatura en la cubierta con el termómetro infrarrojo (“láser”).

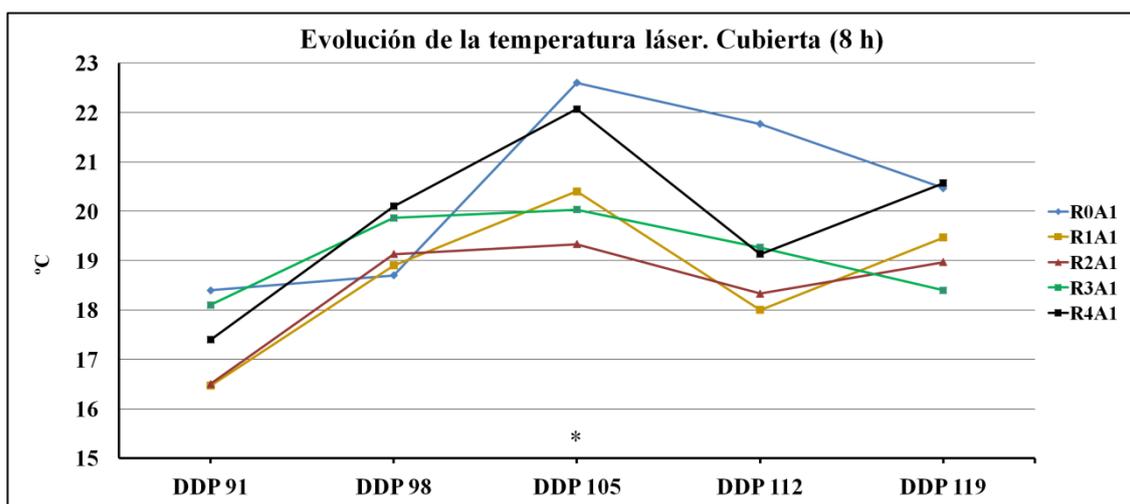


Figura 65. Evolución de la temperatura mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) en la cubierta de la planta de patata, registrada a las 8 horas de la mañana.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados, en la unidad de grados centígrados. Los asteriscos indican la aparición de diferencia significativa en la fecha DDP señalada, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 54. Resultados estadísticos de la evolución de la temperatura mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) en la cubierta de la planta de patata en grados centígrados, a las 8 horas de la mañana.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	10,02	6,53	4,89	9,38	10,29
Tukey HSD	4,8999	3,5541	2,8741	5,0998	5,6692
R0A1	18,40 a	18,70 a	22,60 a	21,77 a	20,47 a
R1A1	16,47 a	18,90 a	20,40 ab	18,00 a	19,47 a
R2A1	16,50 a	19,13 a	19,33 b	18,33 a	18,97 a
R3A1	18,10 a	19,87 a	20,03 ab	19,27 a	18,40 a
R4A1	17,40 a	20,10 a	22,07 ab	19,13 a	20,57 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 65.

Atendiendo a la anterior Figura 65 y su respectiva Tabla 54, donde se refleja la evolución de la temperatura medida con el termómetro infrarrojo (“láser”) en la cubierta de la planta a las 8 horas de la mañana, es apreciable la diferencia significativa que tiene lugar en el DDP 105, marcado por el tratamiento R0A1 con respecto al R2A1.

La tendencia es al aumento del valor de la temperatura entre el inicio y el final del periodo estudiado, algo más señalado en el comienzo de la senescencia de la planta de patata (DDP 105), al igual que ocurría anteriormente con la temperatura medida en las hojas a la misma hora de la mañana (aunque en este caso sin diferencia significativa).

Comparando de forma general las temperaturas medidas con el termómetro infrarrojo (“láser”) en las hojas y en la cubierta de la planta de patata a las 8 horas de la mañana para los diferentes tratamientos de fertirriego, se puede ratificar la similitud de los valores y de la evolución desarrollada durante el periodo estudiado, con la excepción de la diferencia significativa marcada en la fecha DDP 105 para el caso de la cubierta. Esto conlleva a tomar la decisión eficaz de realizar una sola medida de la temperatura por cada planta (la medida en la cubierta) en vez de realizarla de tres hojas por cada planta, con la obtención de resultados muy similares, óptimos y rentables.

El estudio y la evolución de la temperatura medida con el termómetro infrarrojo (“láser”) a las 12 horas de la mañana en la cubierta de la planta de patata, cuyos resultados se pueden observar en la Figura 66 y su correspondiente Tabla 55 reflejadas a continuación, nos muestra la señalada diferencia significativa que se establece en la fecha cercana a la recolección (DDP 119), establecida entre el tratamiento R0A1 y el R2A1 (de igual forma ocurrió en la cubierta de la planta a las 8 horas, pero en el DDP 105). La tendencia generalizada de los tratamientos es al aumento de su valor entre el inicio y el final del periodo estudiado.

Contrastando los valores y la evolución de las temperaturas medidas con el termómetro infrarrojo (“láser”) obtenidas en las hojas y la cubierta de la planta de patata a las 12 horas de la mañana, se puede afirmar la semejanza de los valores, con la salvedad de la diferencia significativa ocurrida en el DDP 98 (caso de las hojas) y en el

DDP 119 (caso de la cubierta). En ambos casos se aprecia como es el R0A1 quien marca la diferencia significativa.

Por lo tanto, debido a la similitud de los resultados obtenidos, se puede afianzar la utilización de una sola medida por cada planta (realizándose en la cubierta) en vez de realizarla en tres hojas por cada planta, con la consiguiente rentabilidad y eficacia en la obtención de resultados en un menor tiempo.

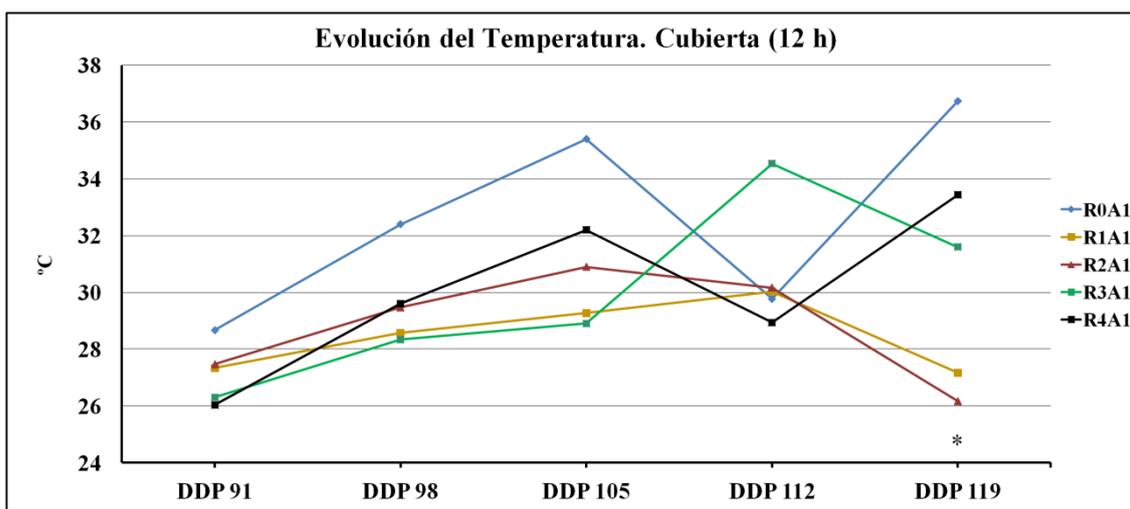


Figura 66. Evolución de la temperatura mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) en la cubierta de la planta de patata, registrada a las 12 horas de la mañana.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) estudiados, en la unidad de grados centígrados. Los asteriscos indican la aparición de diferencia significativa en la fecha DDP señalada, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 55. Resultados estadísticos de la evolución de la temperatura mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) en la cubierta de la planta de patata en grados centígrados, a las 12 horas de la mañana.

	DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
CV (%)	14,38	7,83	8,35	13,33	11,38
Tukey HSD	10,9940	6,5428	7,3707	11,5220	9,9438
R0A1	28,67 a	32,40 a	35,40 a	29,77 a	36,73 a
R1A1	27,33 a	28,57 a	29,27 a	30,03 a	27,17 ab
R2A1	27,47 a	29,47 a	30,90 a	30,17 a	26,17 b
R3A1	26,30 a	28,33 a	28,90 a	34,53 a	31,60 ab
R4A1	26,03 a	29,60 a	32,20 a	28,93 a	33,43 ab

Nota. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 66.

Por consiguiente, de las valoraciones obtenidas anteriormente para ambas horas de la mañana (8 y 12) y ambas medidas de la temperatura realizada con el termómetro infrarrojo (“láser”) en las hojas y la cubierta de la planta de patata, se puede justificar de forma global la realización de una sola medida por cada planta (en la cubierta) en vez de realizarla de tres hojas por cada una de ellas, obteniéndose resultados equitativos, eficaces y rentables, pudiéndonos ahorrar de esta forma dos tercios del tiempo empleado en la realización de la medida por cada hoja.

4.5.2.3 Evolución gráfica de la temperatura en las hojas y en la cubierta mediante la cámara termográfica.

Observando la Figuras 67 y la Figura 68 presentadas a continuación, las temperaturas medidas con la cámara termográfica a las 8 horas de la mañana, tanto en las hojas como en la cubierta, siguen trayectorias paralelas descendentes para todos los tratamientos. Sin embargo, a las 12 horas de la mañana tanto en las hojas como en la cubierta, se dan dos situaciones distintas: por un lado, el comportamiento es similar para el R0A1, R1A1 (descendiendo) y R2A1; por otro lado, en el R3A1 y R4A1, en las hojas descienden mientras que en la cubierta asciende. El estudio estadístico, tanto en las horas (8 y 12) como en el muestreo (hojas y cubierta), se observa en las Tabla 56 y Tabla 57 presentadas posteriormente.

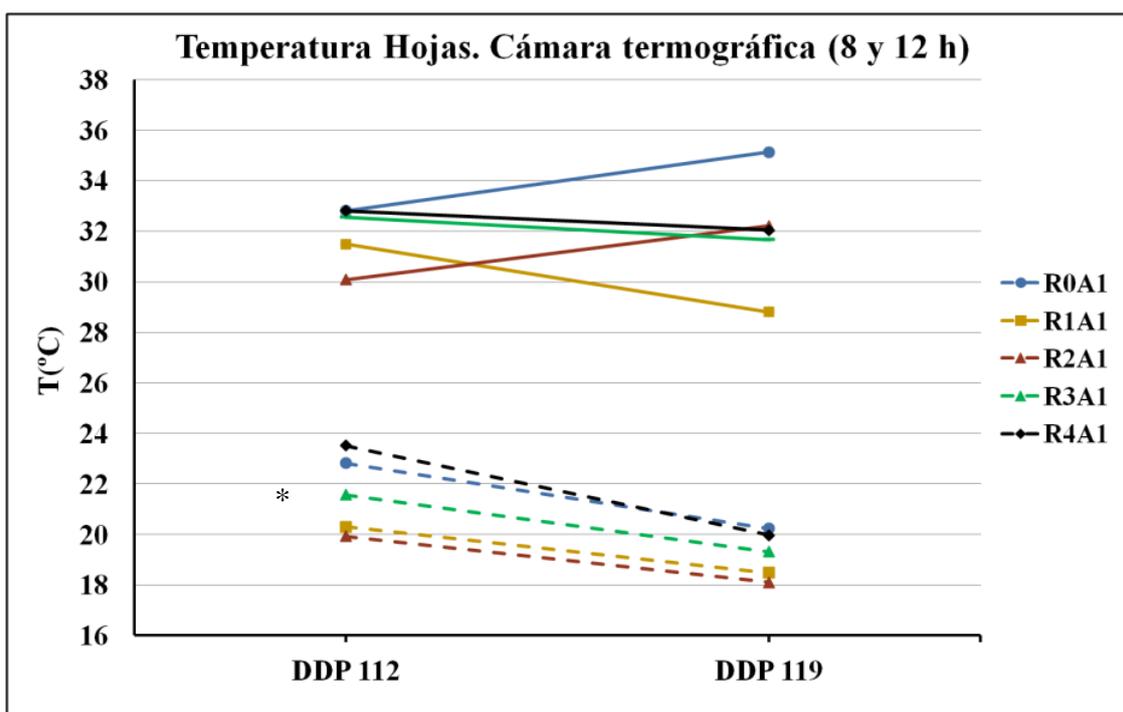


Figura 67. Temperatura en las hojas de la planta de patata a las 8 horas y 12 horas de la mañana, con la cámara termográfica.

Estudiado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) señalados, en la unidad de grados centígrados. Las líneas discontinuas indican las 12 horas de la mañana.

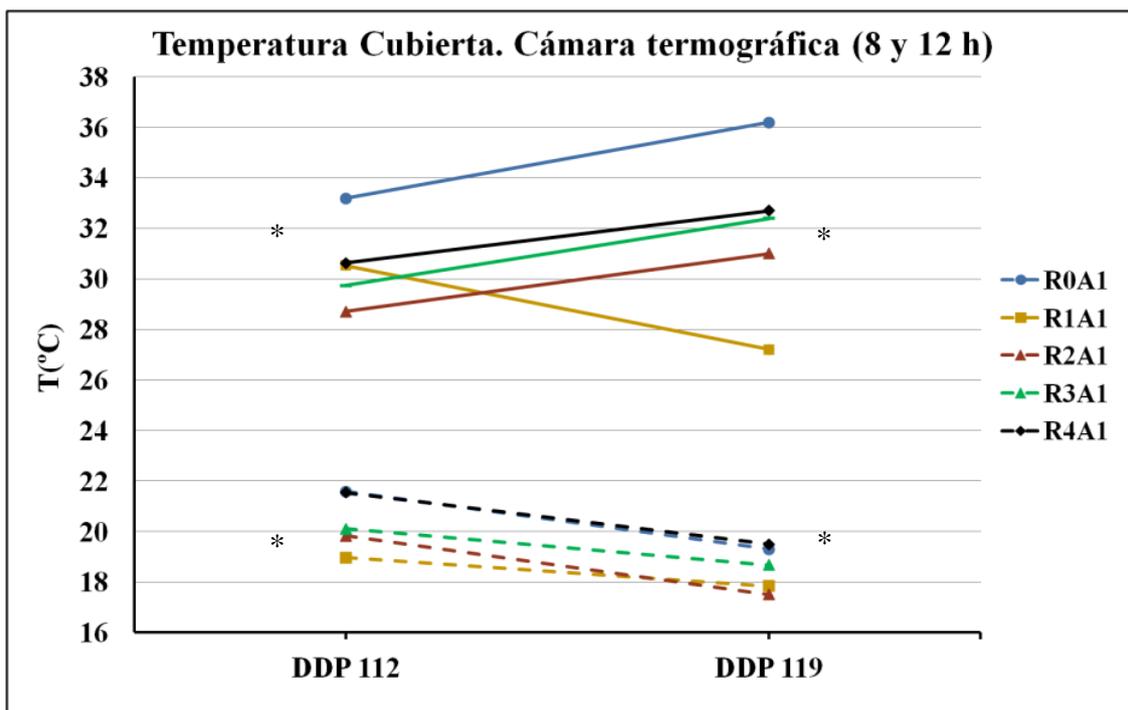


Figura 68. Temperatura en la cubierta de la planta de patata a las 8 horas y 12 horas de la mañana, con la cámara termográfica.

Estudiado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), durante los DDP (Días Después de Plantación) señalados, en la unidad de grados centígrados. Las líneas discontinúan indican las 8 horas de la mañana.

4.5.2.4 Comparativa estadística entre la medida de la temperatura en las hojas y en la cubierta mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) y la cámara termográfica (termografía).

De los resultados estadísticos mostrados en las siguientes Tabla 56 y Tabla 57, se derivan varios efectos diferenciados que se describen con detalle a continuación.

En primer lugar, la medida de la temperatura en las hojas de la planta de patata haciendo uso del termómetro infrarrojo (“láser”), en el 100 % de los casos no existen diferencias significativas. Con el uso de la cámara termográfica (termografía), en el 25 % de los casos existen diferencias significativas, dándose estas en el DDP 112 a las 8 horas de la mañana.

En segundo lugar, la medición de la temperatura en la cubierta de la planta de patata mediante el termómetro infrarrojo (“láser”), en el 25 % de los casos se observan diferencias significativas, estando marcada en la DDP 119 a las 12 horas de la mañana. Haciendo uso de la cámara termográfica, en el 100 % de los casos existen diferencias significativas.

En tercer y último lugar, a modo de discusión general, y teniendo en cuenta que el estudio de la comparativa de las temperaturas con ambas tecnologías (termómetro infrarrojo y cámara termográfica) solo se pudo realizar en la fecha DDP 112 y en el DDP 119, en la medición de la temperatura tanto en las hojas como en la cubierta de la

planta de patata, se confirma la mayor sensibilidad mostrada por la cámara termográfica en la detección de diferencias entre los tratamientos estudiados.

Tabla 56. Resultados estadísticos de la temperatura en grados centígrados medida en la planta de patata para cada DDP, tecnología y muestreo señalado, a las 8 horas de la mañana.

Tecnología	DDP 112				DDP 119			
	Láser		Cámara Termográfica		Láser		Cámara Termográfica	
	Hojas	Cubierta	Hojas	Cubierta	Hojas	Cubierta	Hojas	Cubierta
Muestreo								
CV (%)	6,90	9,38	4,82	4,52	7,30	10,29	6,18	3,33
Tukey HSD	3,8609	5,0998	2,9344	2,5978	4,0828	5,6692	3,3440	1,7418
R0A1	21,94 a	21,77 a	22,827 ab	21,583 a	19,52 a	20,47 a	20,230 a	19,300 a
R1A1	18,13 a	18,00 a	20,300 b	18,967 b	19,46 a	19,47 a	18,480 a	17,833 ab
R2A1	18,60 a	18,33 a	19,927 b	19,833 ab	19,21 a	18,97 a	18,107 a	17,500 b
R3A1	19,75 a	19,27 a	21,563 ab	20,100 ab	18,97 a	18,40 a	19,307 a	18,667 ab
R4A1	20,94 a	19,13 a	23,520 a	21,533 ab	22,13 a	20,57 a	19,970 a	19,500 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa en la DDP, tecnología y muestreo señalado, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación).

Tabla 57. Resultados estadísticos de la temperatura en grados centígrados medida en la planta de patata para cada DDP, tecnología y muestreo señalado, a las 12 horas de la mañana.

Tecnología	DDP 112				DDP 119			
	Láser		Cámara Termográfica		Láser		Cámara Termográfica	
	Hojas	Cubierta	Hojas	Cubierta	Hojas	Cubierta	Hojas	Cubierta
Muestreo								
CV (%)	7,71	13,33	4,03	2,82	10,86	11,38	9,28	8,72
Tukey HSD	6,6568	11,5220	3,6224	2,4245	9,5084	9,9438	8,3553	7,8332
R0A1	30,67 a	29,77 a	32,813 a	33,183 a	34,50 a	36,73 a	35,140 a	36,200 a
R1A1	29,95 a	30,03 a	31,490 a	30,533 b	29,19 a	27,17 ab	28,803 a	27,200 b
R2A1	30,51 a	30,17 a	30,080 a	28,700 b	27,16 a	26,17 b	32,217 a	31,000 ab
R3A1	33,54 a	34,53 a	32,560 a	29,733 b	31,21 a	31,60 ab	31,673 a	32,400 ab
R4A1	28,65 a	28,93 a	32,813 a	30,633 b	33,44 a	33,43 ab	32,047 a	32,700 ab

Nota. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa en la DDP, tecnología y muestreo señalado, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación).

4.5.2.5 Comparativa gráfica entre la medida de la temperatura en las hojas y en la cubierta mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) y la cámara termográfica.

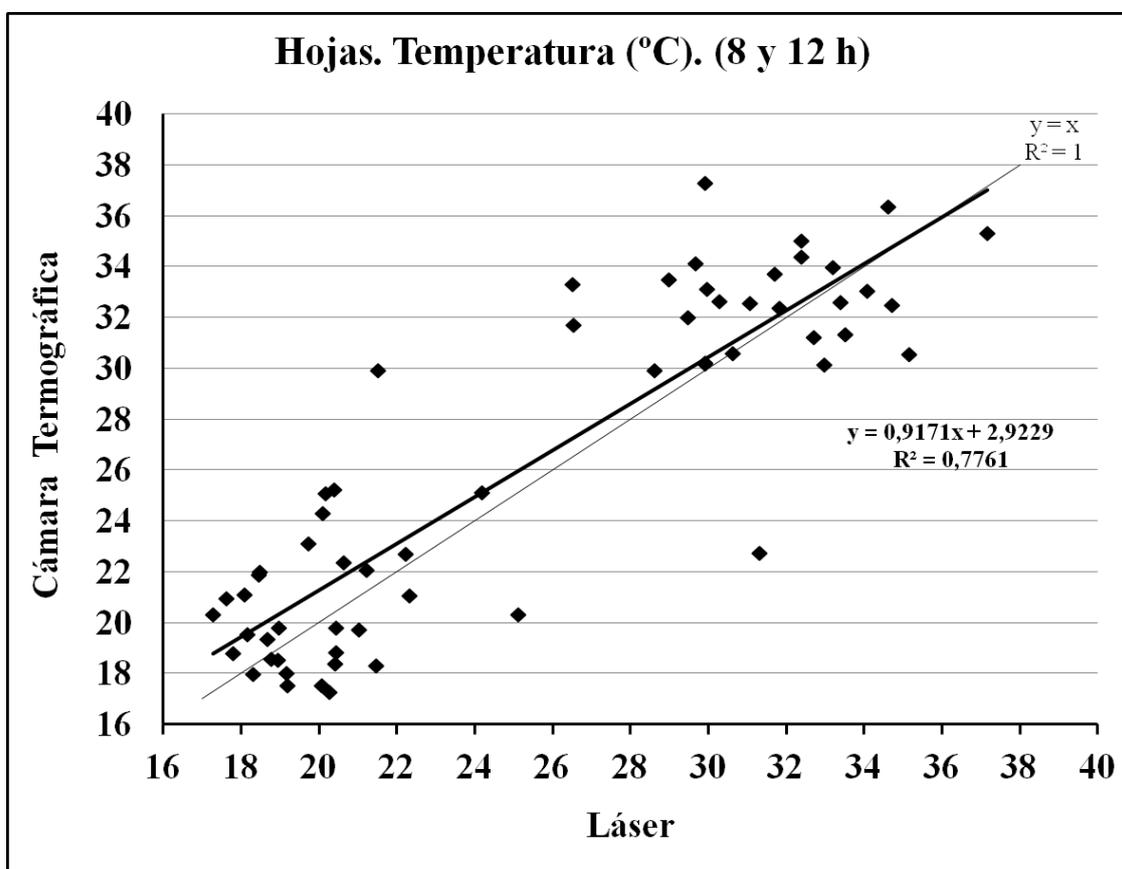


Figura 69. Dispersión de la temperatura en las hojas mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) y la cámara termográfica (termografía), registradas a las 8 horas y 12 horas de la mañana.

Estudiado para todos los tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), en las fechas DDP 112 y DDP 119. Leyenda: DDP (Días Después de Plantación).

En la Figura 69 presentada, se refleja las temperaturas en las hojas de la planta de patata, medidas con las tecnologías del termómetro infrarrojo (“láser”) y la cámara termográfica (termografía), en las 60 plantas de patata correspondientes a las fechas DDP 112 y DDP 119. En 36 de ellas (60 % de las 60 plantas), la temperatura tomada mediante la cámara termográfica fue superior con respecto a las medidas con el termómetro infrarrojo (“láser”), sobre todo en las medidas a las 8 horas de la mañana.

Como se puede observar, atendiendo al valor 0,7761 de R^2 (significando R^2 la bondad del ajuste de la recta a los puntos de datos de la nube), se podría afirmar la existencia de una correlación positiva alta (según la significación para el coeficiente “r” de correlación lineal de Pearson, entendiendo el valor de “r” como la raíz cuadrada del coeficiente de determinación R^2) entre la medida de las temperaturas con ambas tecnologías (termómetro infrarrojo y cámara termográfica).

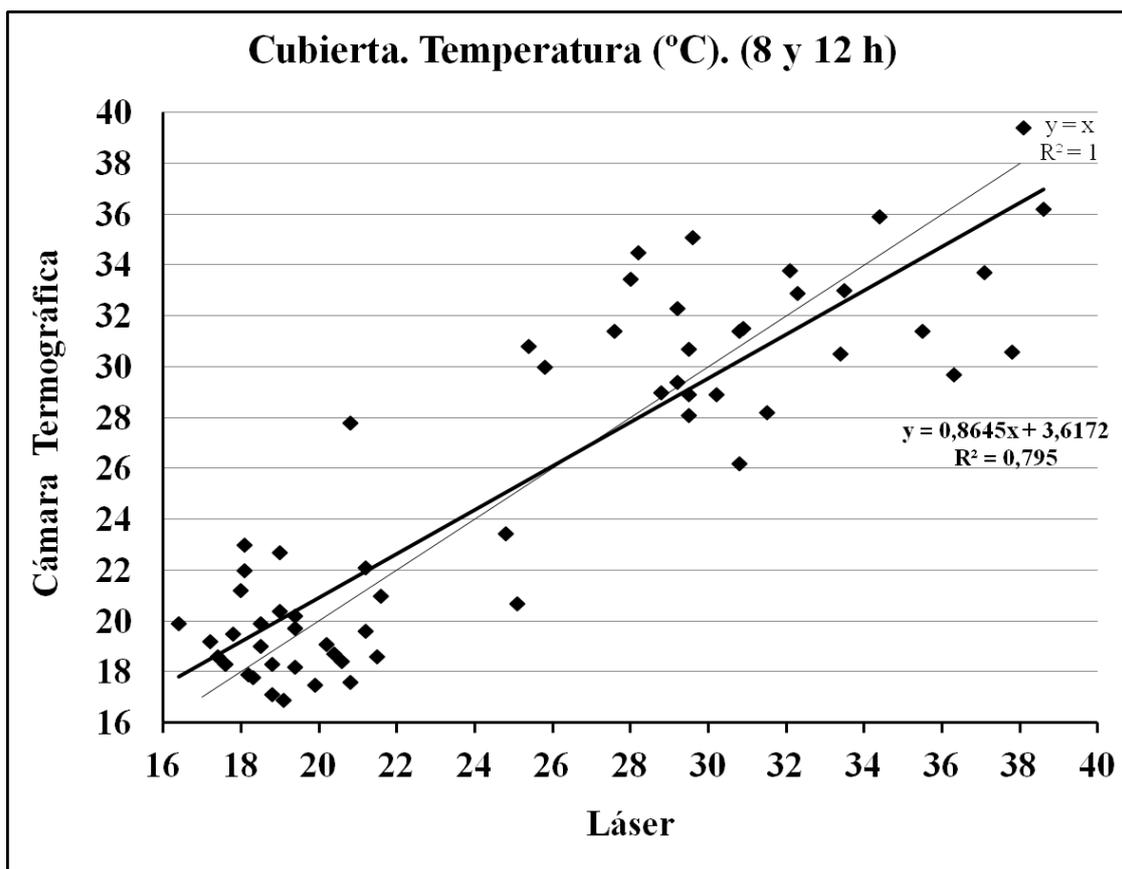


Figura 70. Dispersión de la temperatura en la cubierta mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) y la cámara termográfica (termografía), registradas a las 8 horas y 12 horas de la mañana.

Estudiado para todos los tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), en las fechas DDP 112 y DDP 119. Leyenda: DDP (Días Después de Plantación).

Para este caso de la Figura 70, se refleja las temperaturas en la cubierta de la planta de patata, medidas con las tecnologías del termómetro infrarrojo (“láser”) y la cámara termográfica (termografía), en las 60 plantas correspondientes al DDP 112 y DDP 119.

En 32 de las 60 plantas de patata muestreadas (significando el 53,33 %), la temperatura en la cubierta medida con la cámara termográfica fue superior con respecto a las registradas con el termómetro infrarrojo (“láser”).

Atendiendo al valor de R^2 (0,7950), nos indica que existe una correlación positiva alta según el coeficiente “r” de correlación de Pearson ($r = 0,8916$), entre la medida de la temperatura registrada con el termómetro infrarrojo y la cámara termográfica.

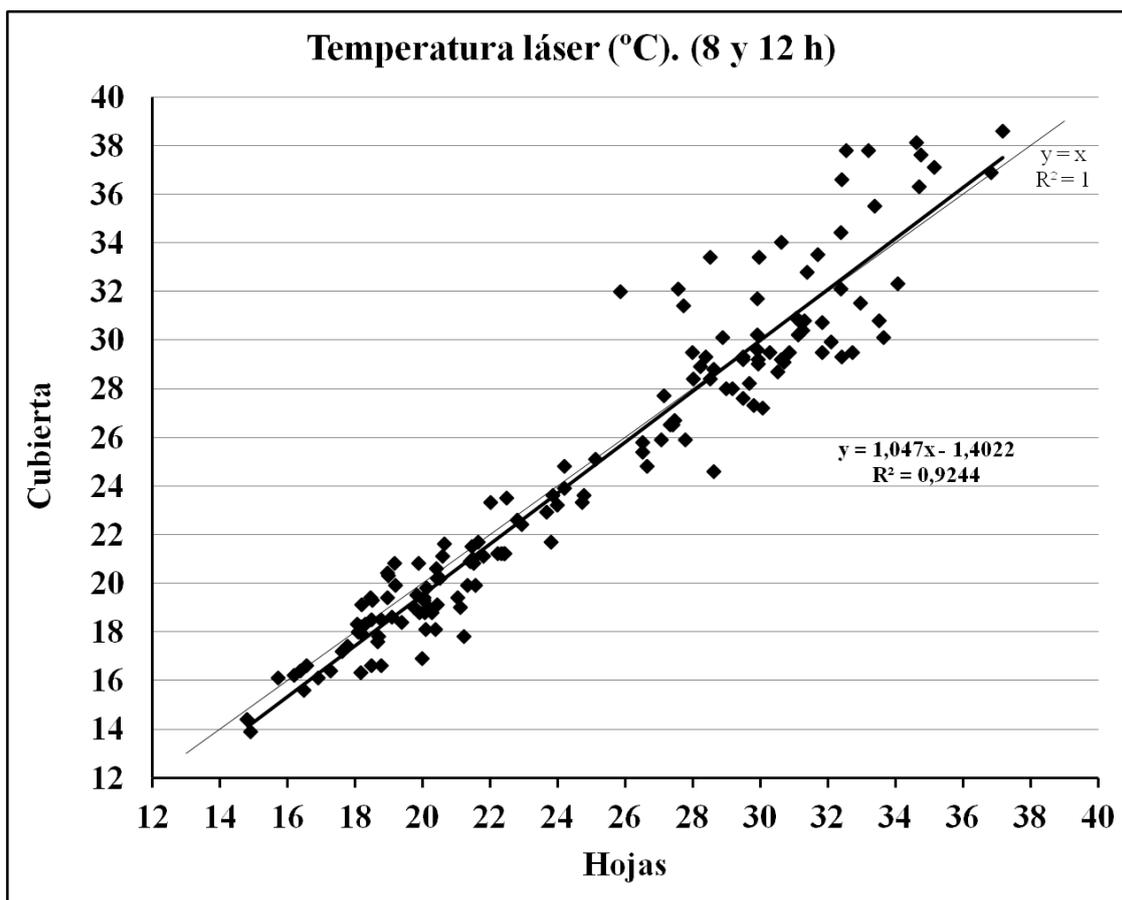


Figura 71. Dispersión de la temperatura en las hojas y en la cubierta, mediante el termómetro infrarrojo (“láser”).

Se ha considerado para todos los riegos (R0, R1, R2, R3 y R4) con el abonado 1 (A1), las dos horas de medidas (8 horas y 12 horas de la mañana) y todos los DDP (91, 98, 105, 112, 119). Leyenda: DDP (Días Después de Plantación).

En la presente Figura 71, se compara la temperatura registrada con termómetro infrarrojo (“láser”) en las hojas y en la cubierta de la planta de patata, para todos los riegos con el abonado 1 (A1), y desde el inicio del periodo estudiado (DDP 91) hasta su final (DDP 119) próximo a la recolección, siendo un total de 150 plantas.

De las 150 plantas muestreadas, en 52 plantas se registraron temperaturas superiores en la cubierta con respecto a las hojas (suponiendo esto el 34,67 % del total de 150 plantas). No obstante, el valor de R^2 (0,9244) nos informa del buen ajuste de la recta a la nube de puntos y su consecuente correlación positiva muy alta atendiendo al coeficiente “r” de correlación de Pearson, entre las temperaturas medidas con el termómetro infrarrojo (“láser”) en las hojas y en la cubierta de la planta de patata.

Por lo tanto, con el registro de una sola medida mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) en la cubierta de cada planta, se obtiene una alta eficacia y rentabilidad para este parámetro de temperatura.

4.5.3 Medición NIRS.

Para el estudio de la medición NIRS (Espectroscopía en Infrarrojo Cercano), se han contabilizando a la vez todas las medidas realizadas en todos los tratamientos de fertirriego para todas las fechas DDP del periodo estudiado, haciendo un total de 1.350 medidas NIRS (según la metodología que se puede encontrar en materiales y métodos). Las medidas NIRS se han correlacionado con los siguientes 4 parámetros, y cuyos resultados se puede observar en la siguiente Tabla 58.

- El potencial hídrico xilemático (bar) mediante la cámara de Scholander.
- La temperatura con el termómetro infrarrojo “láser” (°C) en las hojas.
- La humedad (%) foliar.
- Las proteínas (%) de los tubérculos.

Tabla 58. Resultados correlacionales obtenidos con la medición NIRS, para los parámetros señalados.

	Potencial hídrico xilemático (bar)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	% Proteínas
N	173	435	439	223
Media	7,7458	24,6828	72,6649	1,5973
dt	2,9859	5,7524	4,3258	0,3238
Est. min	0	7,4255	59,6874	0,6259
Est. Max	16,7035	41,94	85,6424	2,5686
ETC	2,4638	2,5001	3,0915	0,2808
R ²	0,3192	0,8111	0,4893	0,2476
ETVC	2,5199	2,5795	3,4477	0,3142
1-VR	0,2964	0,7988	0,3655	0,0566

Nota. Leyenda. N: número de muestras en el colectivo de calibración. Est.min: mínimo estimado. Est.Max: máximo estimado. ETC: error típico de calibración. R²: coeficiente de determinación de calibración. ETVC: error típico de validación cruzada. 1-VR: coeficiente de determinación de validación cruzada. dt: desviación típica.

Observando la presente Tabla 58, y atendiendo al valor de R² (coeficiente de determinación de calibración), el único parámetro con el que se ha obtenido una muy buena correlación (correlación positiva muy alta, basándonos en el coeficiente de correlación de Pearson “r”) es con la temperatura mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) tomada en las hojas de la planta de la patata (R² =0,8111), por lo que esta medida podría ser estimada utilizando la tecnología NIRS.

Las bajas correlaciones encontradas entre las medidas de potencial hídrico xilemático y NIRS o entre el contenido de agua (% Humedad) y NIRS, nos impiden recomendar de momento las medidas con la tecnología NIRS para monitorizar estas variables relacionadas con el estrés hídrico, al menos en las condiciones del estudio de un estrés hídrico de bajo nivel.

En un principio pensábamos obtener el mejor resultado con el porcentaje de la humedad de las hojas, pero atendiendo al resultado correlacional obtenido con la

medición NIRS ($R^2 = 0,4893$) y a los resultados estadísticos del porcentaje de la humedad de las hojas a las 8 horas y 12 horas de la mañana (sin diferencias significativas en ambas horas), donde los valores de la humedad son similares de forma general en las dos hora de medida (8 y 12), consideramos la ampliación de la toma de la medida NIRS a un mayor número de plantas para cada tratamiento de fertirriego en cada fecha DDP (al menos en 10 plantas por unidad experimental) y de esta manera poder seguir investigando con esta tecnología en futuros proyectos.

Con esta nueva propuesta, las dimensiones de la actual parcela del ensayo (unos 1.378 m^2 contabilizando los pasillos de acceso entre los bloques) no tendrían por qué variar, debido al carácter no destructivo de la medida NIRS sobre las plantas muestreadas, con la única precaución de no dañarlas por el personal facultado para tal labor durante la toma de las medidas, que siendo cuidadoso y con el marco establecido (0,8 m entre líneas x 0,2 m entre plantas) no tendría que presentarse problema alguno.

4.5.4 Evolución del potencial hídrico xilemático.

Para la medida del estrés hídrico de la planta de patata, nos hemos basado en el potencial hídrico xilemático medido mediante la cámara de Scholander. Las medidas fueron tomadas a las 8 horas y 12 horas de la mañana en una planta de cada parcela experimental para cada fecha DDP, como ya fue explicado previamente en el apartado de materiales y métodos.

Como se puede observar en las respectivas Figuras y Tablas relacionadas con este parámetro que se presentan a continuación, para ambas horas de medida (8 y 12), solo fue posible registrar la medida del potencial hídrico en las fechas DDP inicial (DDP 91) y final (DDP 119) del periodo estudiado, como ya fue comentado. Aun así, los resultados obtenidos son de gran interés para poder observar de forma general la evolución del posible estrés hídrico basado en la fecha inicial y final del periodo analizado, pudiéndose obtener un modelo básico del desarrollo del potencial hídrico xilemático de la planta de patata y poder decidir el momento del riego, aplicando un criterio basado en la medida límite de 0,9 MPa (9,0 bar), a partir del cual la planta de patata entraría en estrés, siendo ese valor un promedio entre 0,8 MPa y 1,0 MPa justificado por varios autores (Ackerson et al., 1977; Campbell et al., 1976; Shimshi et al., 1983).

No obstante, habría que tenerse en cuenta la utilización de dos tratamientos de riego deficitario (R0A1 y R1A1) durante el ensayo, por lo que tendría que aumentarse levemente la medida límite (9,0 bar ó 0,9 MPa), y sobre todo sabiendo de la tendencia a la utilización de los tratamientos deficitarios R0A1 (60 % de las necesidades) y R1A1 (80 % de las necesidades), según los resultados que se han ido obteniendo a lo largo del estudio realizado.

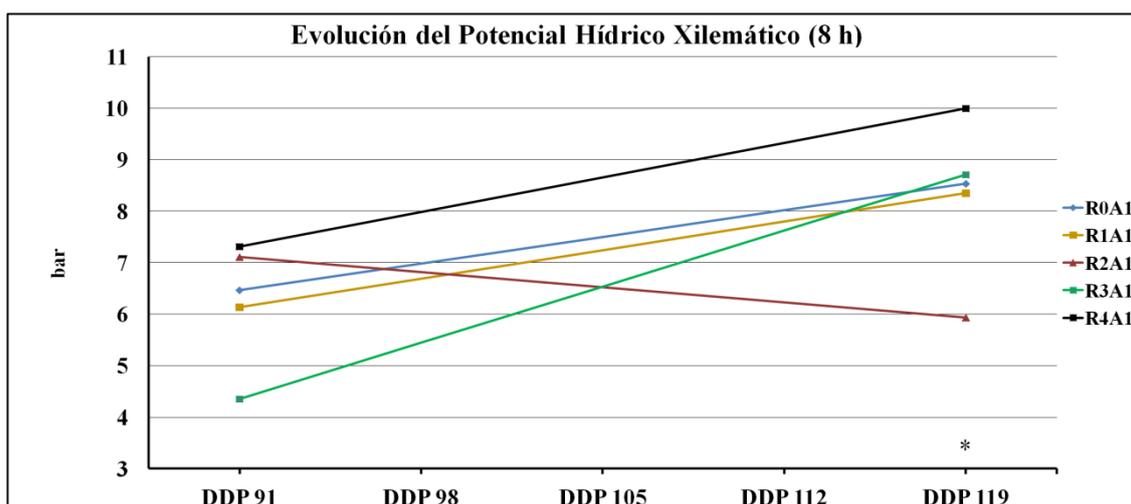


Figura 72. Evolución del potencial hídrico xilemático en las hojas de la planta de patata, medido a las 8 horas de la mañana.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), en los DDP 91 y DDP 119, en la unidad bar. Leyenda: DDP (Días Después de Plantación). Los asteriscos indican la aparición de diferencia significativa en la fecha DDP señalada, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 59. Resultados estadísticos de la evolución del potencial hídrico xilemático en las hojas de la planta de patata, a las 8 horas de la mañana.

	DDP 91	DDP 119
CV (%)	23,63	17,39
Tukey HSD	4,1777	4,0634
R0A1	6,467 a	8,533 ab
R1A1	6,133 a	8,356 ab
R2A1	7,113 a	5,933 b
R3A1	4,356 a	8,711 ab
R4A1	7,311 a	10,000 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa en esa DDP, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 72.

Atendiendo a la anterior Figura 72 y su respectiva Tabla 59 del análisis estadístico, el potencial hídrico xilemático a las 8 horas de la mañana reflejó una tendencia general al aumento de su valor, comparando el DDP 91 inicial y el DDP 119 final del periodo analizado. Para este caso, se observa diferencias significativas en la fecha próxima a la recolección (DDP 119), marcándola el R4A1 con el R2A1.

Basándonos en el criterio límite anteriormente comentado de la medida de potencial hídrico xilemático a partir del cual entraría la planta en el estado de estrés hídrico (9,0 bar), se observa cuando la planta se encontraría en ese estado (a las 8 hora de la

mañana) según los datos obtenidos para cada tratamiento de fertirriego (R0A1, R1A1, R2A1, R3A1 y R4A1) en las fechas DDP señaladas. Conforme al criterio establecido, solamente en el DDP 119 se estaría en la zona límite prácticamente para todos los tratamientos (a excepción del R2A1). Siendo algo más riguroso, el único que estaría en el estado de estrés hídrico sería el R4A1 (el que más aporte de fertirriego recibió, concretamente el 140 % de las necesidades), quizás estresado por exceso de agua.

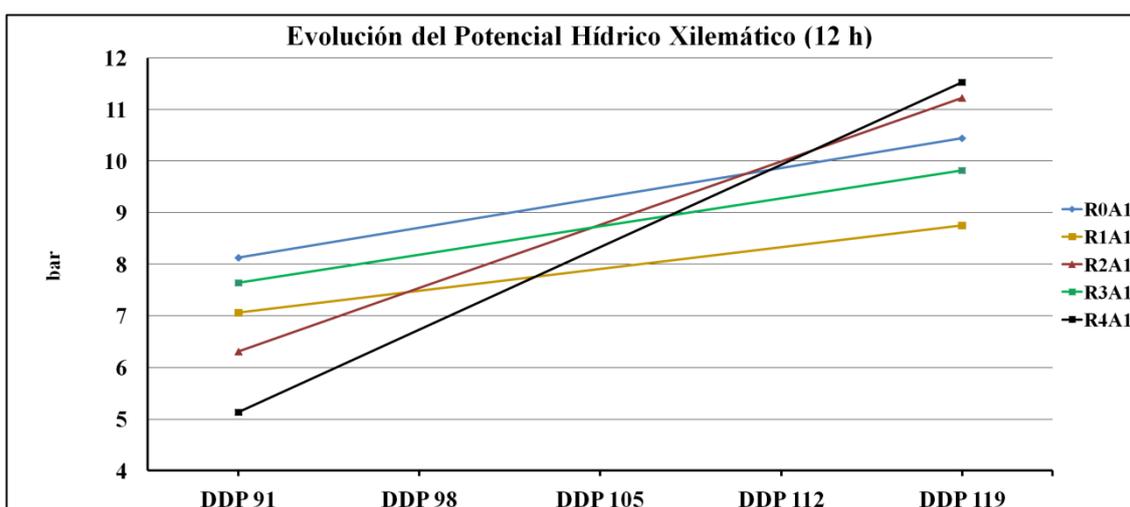


Figura 73. Evolución del potencial hídrico xilemático en las hojas de la planta de patata, medido a las 12 horas de la mañana.

Analizado en los diferentes tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), en los DDP 91 y DDP 119, en la unidad bar. DDP (Días Después de Plantación). Los asteriscos indican la aparición de diferencia significativa en la fecha DDP señalada, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 60. Resultados estadísticos de la evolución del potencial hídrico xilemático en las hojas de la planta de patata, a las 12 horas de la mañana.

	DDP 91	DDP 119
CV (%)	23,64	23,26
Tukey HSD	4,5626	6,7840
R0A1	8,133 a	10,444 a
R1A1	7,067 a	8,756 a
R2A1	6,311 a	11,222 a
R3A1	7,644 a	9,822 a
R4A1	5,133 a	11,533 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indicarían diferencia significativa en esa fecha, según ANOVA seguido del Test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Leyenda: CV (coeficiente de variación en porcentaje). Tukey HSD (valor crítico de comparación). Datos pertenecientes a la Figura 73.

Observando la evolución del potencial hídrico xilemático a las 12 horas de la mañana mostrada en la anterior Figura 73 y su correspondiente Tabla 60, la tendencia de todos los tratamientos de fertirriego es ascendente considerando las fechas del periodo estudiadas (DDP 91 inicial y DDP 119 final), sin observarse diferencias significativas alguna (contrariamente a lo ocurrido a las 8 horas de la mañana).

Comparando ambas horas de medida de la mañana (8 y 12) de forma general, los valores de potencial hídrico xilemático obtenidos a las 8 horas son ligeramente inferiores en relación con los alcanzados a las 12 horas, diferenciándose prácticamente en una unidad. Por lo tanto, fundamentándonos en estos resultados obtenidos, consideramos las 8 horas de la mañana el momento más adecuado para hacer la medida del potencial hídrico xilemático, siendo a esta hora de la mañana cuando el potencial mátrico (Ψ_m) pudiera estar más equilibrado con el potencial xilemático (Ψ_x) (Tuner, 1988; Bastianassen, Makin & Molden, 2000), motivo por el cual no recurrimos a tapar las hojas de la planta de patata previa a la medida del posible estrés buscado mediante la cámara de presión de Scholander.

4.6 Resumen de las diferencias significativas en la evolución del cultivo.

En la siguiente Tabla 61, se muestra de forma resumida las diferencias significativas obtenidas para cada tratamiento de fertirriego con el abonado 1 (R0A1, R1A1, R2A1, R3A1 y R4A1) en los parámetros medidos durante las fechas DDP del periodo estudiado (DDP 91, DDP 98, DDP 105, DDP 112 y DDP 119) y para cada hora de la medida (8 y 12).

Solamente se refleja la existencia de diferencia significativa, por lo que los espacios en blanco nos informan de la existencia de diferencia no significativa. El código de colores utilizado ha sido el mismo empleado anteriormente para los diferentes tratamientos de riego con el abonado 1 (A1), y que por motivos de visualización se ha suprimido el A1. Letras diferentes (a, b) dentro de cada cuadro coloreado muestran los tratamientos que han marcado la diferencia significativa con el resto. Para el caso de la cámara termográfica, las medidas solo se realizaron en los DDP 112 y DDP 119.

Tabla 61. Resumen de las diferencias significativas de los parámetros medidos durante la evolución del cultivo de la patata para los diferentes tratamientos de riego con el abonado A1.

Días Después de la Plantación		DDP 91	DDP 98	DDP 105	DDP 112	DDP 119
Riegos		R0 R1 R2 R3 R4	R0 R1 R2 R3 R4	R0 R1 R2 R3 R4	R0 R1 R2 R3 R4	R0 R1 R2 R3 R4
Parámetros	Hora					
Altura de la planta (cm)	8	b b b a				
Número de tallos/planta	8					
IAF (Índice de Área Foliar)	8	- - - - -	sin estadística	- - - - -	sin estadística	- - - - -
Número de tubérculo/ha	8 - 12					
Peso medio tubérculo (g)	8 - 12					
Rendimiento patatas (kg/ha)	8 - 12					
Calibre promedio tuberculos (mm)	8 - 12					
% MS tubérculos	8 - 12					
% proteínas tubérculo (fresco)	8	a b b				
MS tubérculos (kg/ha)	8 - 12					
MS raíz (kg/ha)	8 - 12					
MS tallos (kg/ha)	8 - 12					
MS peciolo (kg/ha)	8 - 12					
MS hojas (kg/ha)	8 - 12					b a
MS Total (kg/ha)	8 - 12					
% Humedad raíz	8					
% Humedad raíz	12					
% Humedad tallos	8					
% Humedad tallos	12					
% Humedad peciolo	8					a b
% Humedad peciolo	12					
% Humedad hojas	8					
% Humedad hojas	12					
(°C) Temperatura láser hojas	8					
(°C) Temperatura láser hojas	12		a b b b			
(°C) Temperatura láser cubierta	8			a b		
(°C) Temperatura láser cubierta	12					a b
(°C) Temperatura termografía hojas	8	- - - - -	- - - - -	- - - - -	b b a	
(°C) Temperatura termografía hojas	12	- - - - -	- - - - -	- - - - -		
(°C) Temperatura termografía cubierta	8	- - - - -	- - - - -	- - - - -	a b	a b a
(°C) Temperatura termografía cubierta	12	- - - - -	- - - - -	- - - - -	a b b b	a b
Potencial Hídrico Xilemático (bar)	8		- - - - -	- - - - -	- - - - -	b a
Potencial Hídrico Xilemático (bar)	12		- - - - -	- - - - -	- - - - -	

Nota. Leyendas: DDP (Días Después de la Plantación); 8-12 (media de las 8 hora y 12 hora); R0 (R0A1), R1 (R1A1), R2 (R2A1), R3 (R3A1), R4 (R4A1); - - - - (parámetro no medido en los DDP marcado); letras (a, b) indican la diferencia significativa del parámetro medido en la hora y la fecha DDP establecida, según ANOVA seguido de Test HSD de Tukey ($P < 0,05$).

4.7 Correlaciones entre los parámetros.

A excepción de las medidas NIRS y las temperaturas obtenidas con la cámara termográfica, se ha realizado un estudio de correlaciones para todos los parámetros analizados entre los tratamientos de riego (R0, R1, R2, R3, R4) con el abonado 1 (A1), el cual se puede observar en la Tabla 71 (ver ANEXO V), reflejándose solamente los valores del coeficiente de determinación a partir del cual se considera una buena correlación ($R^2 \geq 0,7$).

De los resultados obtenidos, se concluye una buena correlación entre la temperatura registrada en las hojas y la cubierta de las plantas de patata, en los dos momentos de la realización de la medida (8 horas de la mañana y 12 horas del mediodía).

4.8 Estudio de la sensibilidad térmica en las hojas y en los folíolos de la planta de patata.

Del estudio realizado sobre la sensibilidad a la temperatura (utilizando el termómetro infrarrojo) en las tres hojas de la planta de patata (hoja base, hoja media y hoja superior) y en los tres folíolos seleccionados de cada hoja, se obtiene una mayor sensibilidad en la hoja superior, y dentro de ella mayor sensibilidad en el folíolo más próximo al peciolo de la hoja (llamado folíolo 1 en nuestro estudio), y cuyas diferencias significativas se pueden observar en la Tabla 72 (ver ANEXO VI).

De forma general, la mayor sensibilidad se presenta en el tratamiento que recibe menor aporte de fertirriego (R0A1 = 60 % de las necesidades), adquiriendo una mayor temperatura.

5. CONCLUSIONES

1. En las condiciones del ensayo, la fertilización del cultivo con el nivel A2 (por encima del recomendado por la UE) no produjo aumento de la producción respecto al nivel A1 (recomendado por la UE) en los casos con riego deficitario o excesivo respecto al nivel de riego óptimo. Sin embargo, en el caso de riego óptimo, la mayor fertilización supuso una mayor producción. Sería necesario tenerse en cuenta los costes de producción y los posibles perjuicios medioambientales para determinar si en condiciones de riego óptimo sería más conveniente aumentar la fertilización.

2. Con las cantidades de fertilización recomendadas por la UE (A1), el riego deficitario en las cantidades ensayadas no redujo significativamente el rendimiento, por lo que podrían ser aconsejable desde el punto de vista económico.

3. Los distintos tratamientos de riego no reflejaron grandes diferencias en los parámetros de crecimiento y desarrollo medidos, lo que nos lleva a pensar que los déficits hídricos originados fueron leves. El tratamiento con más riego produjo una mayor altura de las plantas, pero también un adelanto de la senescencia del cultivo. Las dotaciones crecientes de riego dieron lugar a mayor desarrollo foliar que no se tradujo a diferencias en la producción, posiblemente debida al desarrollo de tubérculos de menor tamaño o problemas de aireación.

4. Los indicadores probados no fueron del todo sensibles para diferenciar entre los tratamientos, quizás por el hecho de que los déficits hídricos fueron leves o moderados. La medida de la temperatura mediante la cámara termográfica (termografía), fue la más sensible en detectar déficits hídricos. Entre las distintas formas de detección (termómetro de infrarrojo “láser” y la cámara termográfica), la medida de la cubierta completa mediante la cámara termográfica parece la más conveniente. En cuanto a la cámara de presión de Scholander, la medida al amanecer resulta de más utilidad que al mediodía.

5. Las bajas correlaciones entre las medidas NIRS y el resto de indicadores utilizados, excepto la temperatura, nos llevan a pensar que esta medida puede no ser adecuada para la detección de niveles de estreses hídricos bajos o moderados. Sería necesario seguir estudiando la sensibilidad de este índice espectral para la identificación de los estados hídricos de las plantas.

6. Las plantas de patata (generalmente las que reciben menor riego) presentan mayor sensibilidad térmica en la hoja superior, y dentro de esta hoja, el foliolo más próximo al peciolo es el de mayor sensibilidad.

7. Se ha obtenido una aceptable predicción del rendimiento de patatas en recolección en función de los distintos niveles de riegos y abonado 1 (A1).

8. No obstante, los resultados son preliminares, siendo necesario seguir con la experimentación durante otras campañas para contrastar los resultados y realizar unos análisis mas completos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abney, W. & Festing, E. R. (1881). On the influence of the atomic grouping in the molecules of organic bodies on their absorption in the infrared region of the spectrum. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* (1776-1886) 172: 887-918.
- Ackerson, R. C., Krieg, D. R., Miller, T. D. & Stevens, R. G. (1977). Water relations and physiological activity of potatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 102: 572-575.
- AEMET. (2017). Valores climatológicos normales e históricos. Sevilla Aeropuerto. Recuperado el 10 de marzo de 2017, de <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=5783&k=and>
- Agroplus. (2014). Patata de destrío. Recuperado el 10 de diciembre de 2017, de http://agroplus.info/pdf/destrio_de_patata.pdf
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome.
- Alonso, F. (2002). *El cultivo de la patata*. (2ª ed.). Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Amado, I. R., Franco, D., Sánchez, M., Vázquez, J. A. & Zapata, C. (2014). Optimization of antioxidant extraction from *Solanum tuberosum* potato peel waste by surface response methodology. *Food Chemistry*, 165, pp. 290-299.
- Andersen, M. N., Asch, F., Jensen, C. R., Koch, K. E., Naested, H., Mogensen, V. O. & Wu, Y. (2002). Soluble invertase expression is an early target of drought stress during the critical abortion-sensitive phase of young ovary development in maize. *Plant Physiology*. 130, 591-604.
- Andre, C. M., Ghislain, M., Bertin, P., Oufir, M., Herrera, M. R. Hoffmann, L., Hausman, J. F., Larondelle, Y. & Evers, D. (2007). Andean potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) as a source of antioxidant y mineral micronutrients. *Agricultural and Food Chemistry*. 55, 366-378.
- Antanasova, S., Paulov, D. & Todorov, N. (1996). Estimation of dry matter and crude protein degradability of forages in the rumen by NIRS. In: Batten et al [eds.]. *Leaping ahead with near infrared spectroscopy*. North Melbourne, Victoria, Australia: MR Spectros. Group. p 497-501.
- Artschwager, E. F. (1918). Anatomy of the potato plant, with special reference to the ontogeny of the vascular system. *Journal of Agriculture Research*. 14: 221-252.

- Association of Oficial Analytical Chemists (AOAC) International. (1990). *Official Methods of Analysis*. (15^a Edition, Vol. 1). Arlington, Virginia, EE. UU.: Kenneth Helrich.
- Bailey, E. Z. & Bailey, L. H. (1976). *Hortus Third: A Concise Dictionary of Plants Cultivated in the United States and Canada*. New York, USA: MacMillan Publishing.
- Bartolomé, T., Coletto, J. M. & Velázquez, R. (2014). *Historias de plantas I: La historia de la patata* (12). Recuperado el 15 de febrero de 2018, de https://www.unex.es/conoceuex/centros/eia/archivos/iag/2014/2014_12%20Historias%20de%20plantas%20I-%20La%20historia%20de%20la%20patata.pdf
- Barton, F. E. & Burdick, D. (1981). Prediction of forage quality with NIR reflectance spectroscopy. In: Smith and Hays [eds.]. *Proceedings of the XVI International Grasslands Congress*; Lexington, KY. p 532-534.
- Bastianassen, W. G. M., Makin, I. & Molden, D. J. (2000). Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. *Agricultural Water Management*. 46: 137-155.
- Baughn, J. W. & Tanner, C. B. (1976). Leaf water potential: Comparison of pressure chamber and in situ hygrometer on five herbaceous species. *Crop Science* 16: 181-184.
- Behrens, T., Diepenbrock, W. & Müller, J. (2007). Optimizing a diode array VIS/NIR spectrometer system to detect plant stress in the field. *Journal Agronomy and Crop Science*. 193(4): 292-304.
- Bellvert, J., Fereres, E., Girona, J. & Zarco-Tejada, P. J. (2014). Mapping crop water stress index in a Pinot-noir vineyard: comparing ground measurements with thermal remote sensing imagery from an unmanned aerial vehicle. *Precision Agriculture* 15, 361-376. doi: 10.1007/s11119-013-9334-5
- Bellvert, J., Fereres, E., Girona, J., González-Dugo, V., Marsal, J. & Zarco-Tejada, P. J. (2015). Vineyard irrigation scheduling based on airborne thermal imagery and water potential thresholds. *Australian Journal Grape and Wine Research*. doi: 10.1111/ajgw.12173
- Bellvert, J., Girona, J., Marsal, J. & Zarco-Tejada, P. J. (2015). Seasonal evolution of crop water stress index in grapevine varieties determined with high-resolution remote sensing thermal imagery. *Irrigation Science*. 33, 81-93. doi: 10.1007/s00271-014-0456-y
- Ben-Gera, I. & Norris, K. (1968). *Journal of Animal Feed Science*. 33, 64.

- Ben Jeddou, K., Bouaziz, F., Chaari, F., Ellouz-Chaabouni, S., Ellouz-Ghorbel, R., Nouri-Ellouz, O. & Zouari-Ellouzi, S. (2017). Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary fiber and protein. *Food Chemistry*, 217, pp. 668-677.
- Benoit, G. R. & Grant, W. J. (1980). Plant water deficit effects on Aroostock County potato yields over 30 years. *American Potato Journal*. 57: 585-594.
- Berni, J., Fereres, E., Suarez, L. & Zarco-Tejada, P. J. (2009). Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing (TGRS)* 47, 722-738. doi: 10.1109/tgrs.2008.2010457
- Besse, J. (1981). *La alimentación del ganado*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Bishop, J. C. & Grimes, D. W. (1978). Precision tillage effects on potato root and tuber production. *American Potato Journal*. 55: 65-71.
- Blackburn, G. A. (2007). Hyperspectral remote sensing of plant pigments. *Journal Experimental Botany*. 58: 855-867.
- Blass, S. (1973). *Water in Strife and Action*. Massada Ltd. Israel.
- BOE. (2009). Real Decreto 31/2009, de 16 de enero, por el que se aprueba la norma de calidad comercial para las patatas de consumo en el mercado nacional y se modifica el anexo I del Real Decreto 2192/1984, de 28 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de aplicación de las normas de calidad para las frutas y hortalizas frescas comercializadas en el mercado interior. España, sábado 24 de enero de 2009, núm. 21.
- BOJA. (2001). ORDEN de 8 de octubre de 2001, por la que se aprueba el Reglamento Específico de Producción Integrada de Patata. Sevilla, España, 27 de octubre de 2001, núm. 125.
- BOJA. (2009). ORDEN de 18 de noviembre de 2008, por la que se aprueba el programa de actuación aplicable en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias designadas en Andalucía. Sevilla, España, 8 de enero de 2009, núm. 4, p.39.
- BOJA. (2009). CORRECCIÓN de errores de la Orden de 18 de noviembre de 2008, por la que se aprueba el programa de actuación aplicable en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias designadas en Andalucía (BOJA núm. 4, de 8.1.2009). Sevilla, España, 27 de febrero de 2009, núm. 40, p.26.
- BOJA. (2009). ORDEN de 7 de Julio de 2009, por la que se aprueba la modificación de las zonas vulnerables designadas mediante Decreto 36/2008, de 5 de febrero, por la que se designan las zonas vulnerables y se establecen medidas contra la

contaminación por nitratos de origen agrario. Sevilla, España, 13 de agosto de 2009, núm. 157, p.48.

Bourgoin, T. I. (1984). Developing a potato irrigation scheduling program. The Maine situation. *American Potato Journal*. 61: 195-203.

Bowen, W. T. (2003). Water productivity and potato cultivation. In: Kijnei, J.W., Barker, R., Molden, D. (eds.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CABI Publishing, p. 332.

Boyer, J. S. (1967). Leaf water potentials measured with a pressure chamber. *Plant Physiology* 42: 133-137.

Boyer, J. S. (1970). Differing sensitivity of photosynthesis of low leaf water potentials in corn and soybean. *Plant Physiology*. 46: 236-239.

Bradley, G. A. & Pratt, A. J. (1955). The effect of different combinations of soil moisture and nitrogen levels on early plant development and tuber set of the potato. *American Potato Journal*. 32. 254-258.

Bradshaw, J. E. & Ramsay, G. (2009). *Potato Origin and Production*. In: J. Singh & L. Kaur (eds.), *Advances in Potato Chemistry and Technology*, pp. 1-26. San Diego: Academic Press, USA.

Burgers, M. S. & Nel, P. C. (1984). Potato irrigation scheduling and straw mulching. *South African Journal of Plant and Soil*, 1:4, 111-116.

Burman, R. D., Nixon, P. R., Pruitt, W. O. & Wright, J. L. (1980). Water requirements. pp. 187-232. In Jensen, M.E (ed.). *Design and operation of irrigation systems*. Monography N. °3. ASAE, St. Joseph, M.I.

Burns, D. A. & Ciurczak, E. W. (1992). *Handbook of near infrared analysis*. New York: Marcel Dekker.

Burns, D. A. & Ciurczak, E. W. (2001). *Handbook of Near-Infrared Analysis*. New York: Marcel Dakker.

Campbell, M. D., Campbell, G. S., Kunkel, R. & Papendick, R. J. (1976). A model describing soil-plant-water relations for potatoes. *American Potato Journal*. 53: 431-441.

Campbell, G. S. & Campbell, M. D. (1982). Irrigation scheduling using soil Moisture measurements: Theory and practice. p. 25-42. In D. Hillel (ed.) *Advances in irrigation*. Vol. 1. Academy Press, New York.

- Campbell, G. S. (1985). Instruments for measuring plant water potential and its components. En: Marshall, B. and F. I. Woodward (eds.). Instrumentation for environmental physiology. University Press, Cambridge, England. pp. 193-214.
- Canadian Food Inspection Agency. (2015). The Biology of *Solanum tuberosum* (L.) (Potatoes). Recuperado el 13 de Julio de 2017, de <http://www.inspection.gc.ca/plants/plants-with-novel-traits/applicants/directive-94-08/biology-documents/solanum-tuberosum-l-/eng/1330982063974/1330982145930#a26>
- Carter, G. A. (1991). Primary and secondary effects of water content on spectral reflectance of leaves. *American Journal of Botany*. 78: 916-924.
- Casper, B. B., Forseth, I. N. & Watt, A. A. (2006). A stage-based study of drought response in *Cryptantha flava* (Boraginaceae): gas exchange, water use efficiency, and whole plant performance. *American Journal of Botany* 93: 977-987.
- Chaerle, L., Jones, H. G., Leinonen, I. & Van Der Straeten, D. (2007). Monitoring and screening plant populations with combined thermal and chlorophyll fluorescence imaging. *Journal of Experimental Botany*. 58: 773-784.
- Cho, M. A., Corsi, F., Skidmore, A., Sobhan, I. & van Wieren, S. E. (2007). Estimation of Green grass/herb biomass from airborne hyperspectral imagery using spectral indices and partial least squares regression. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 9: 414-424.
- CIDAF. (2014). *La piel de la patata, un subproducto alimentario de interés para la obtención de alimentos funcionales y/o nutracéuticos*. Recuperado el 10 de Junio de 2017, de <http://cidaf.es/la-piel-de-la-patata-un-subproducto-alimentario-de-interes-para-la-obtencion-de-alimentos-funcionales-yo-nutraceuticos/>
- Coleman, S. W., Holloway, J. W. & Stuth, W. (1995). Prediction of intake by near infrared spectroscopy analysis of fecal samples. In: Owens et al. [eds.]. Symposium: Intake by Feedlot Cattle; Oklahoma Agricultural Experiment Station P -942, Stillwater, OK. p. 145-155.
- Coletto, J. M. (2004). *Histórias de plantas. Lección inaugural del curso académico 2004-2005*. Universidad de Extremadura.
- Corey, A. T. & Blake, G. R. (1953). Moisture Available to various crops in some New Jersey soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, 17: 314-317.
- Corey, G. L. & Myers, V. I. (1955). Irrigation of Russet Burbank potatoes in Idaho. Idaho Agricultural Experiment Station. Bulletin 246.
- Correll, D. S. (1962). *La papa y sus parientes silvestres*. Fundación de investigación de Texas, Renner.

- Costa, J. M., Chaves, M. M., Lopes, C. M. & Ortuño, M. F. (2012). Grapevine varieties exhibiting differences in stomatal response to water deficit. *Functional Plant Biology*, 39: 179-189.
- Costa, J. M., Chaves, M. M. & Grant, O. M. (2013). Thermography to explore plant environment interactions. *Journal of Experimental Botany*, 64, 3937e3949.
- Cozzolino, D. (1998). Aplicación de la tecnología del NIRS para el análisis de calidad de los productos agrícolas. Serie Técnica INIA 97. Editorial hemisferio sur, Montevideo, Uruguay. p. 15.
- Crosnier, G. R. (1987). Pomme de Terre, Techniques cultureless. *Techn. Agric. N. °* 2081, p.64.
- Curwen, D. & Massie, L. R. (1984). Potato irrigation scheduling in Wisconsin. *American Potato Journal*. 61: 235-241.
- Custers, D., Apers, S., Bothy, J. L., Cauwenbergh, T., Courselle, P., De Beer, J. O. & Deconinck, E. (2015). ATR-FTIR spectroscopy and chemometrics: an interesting tool to discriminate and characterize counterfeit medicines. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 112: 181-189.
- Dale, D. (1986). Drip irrigated spuds. *Irri. Age* 21(3): 4-5.
- Davies, A. M. C. & Williams, P. (1996). *Near Infrared Spectroscopy: The Future Waves*. Davies, A.M.C. y Williams P. (eds.). NIR Publications, Chichester, UK.
- de Bei, R., Cozzolino, D., Cynkar, W., Damberg, R., Fuentes, S., Sullivan, W. & Tyerman, S. (2011). Non-destructive measurement of grapevine water potential using near infrared spectroscopy. *Australian Journal Grape and Wine Research*. 17: 62-71.
- de Lis, B. R., Ponce, I. & Tizio, R. (1964). Studies of water requirement of horticultural crops. In *Influence of drought at different growth stages on the tuber's yield*. *Agronomy Journal*. 56: 377-381.
- De Luca, S., Bucci, R., De Filippis, M., Magrì, A. D., Magrì, A. L. & Marini, F. (2016). Characterization of the effects of different roasting conditions on coffee samples of different geographical origins by HPLC-DAD, NIR and chemometrics, *Microchemical Journal*. 129: 348-361.
- De Roo, H. C. & Waggoner, P. E. (1961). Root Development of potatoes. *Agronomy Journal*. 53: 15-17.
- Deconinck, E., Bothy, J. L., Courselle, P., De Beer, J. O. & Desmedt, B. (2014). Detection of whitening agents in illegal cosmetics using attenuated total

- reflectance infrared spectroscopy. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 98: 178-185.
- Delta-T Devices Ltd. (2012). WinDIAS Leaf Area Meter. (Versión 3.2.1). [Programa de Computador]. Recuperado el 10 de octubre de 2017, de <https://www.deltat.co.uk/product/wd3/>
- Dixon, H. H. (1914). *Transpiration and the ascent of sap in plants*. MacMillan & Company. Ltd., London. p. 139.
- Doorenbos, J. & Pruitt, W. O. (1977). *Guidelines for predicting crop water requirements*. Irrigation and Drainage Paper. N. ° 24. FAO. Rome.
- Dow, A. I. & Roberts, S. (1982). Proposed, critical nutrients range for crops diagnosis. *Agronomy Journal*. 74, pp. 402-404.
- Drouineau, G. (1942). Dosage rapide du calcaire actif du sol: Nouvelles données sur la separation et la nature des fractions calcaires. *Ann. Agron.* 12, 441-450.
- Dry, P. R., Loveys, B. R., McCarthy, M. G. & Stoll, M. (2001). Strategic irrigation management in Australian vineyards. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*. 35: 129-139.
- Dubetz, S. & Krogman, K. K. (1973). Comparison of methods of scheduling irrigations of potatoes. *American Potato Journal*. 50: 408-414.
- Dumas, J. B. (1848). *Annales de Chimie et de Physique*, 2, p. 47, 198. Paris, Francia.
- Dwelle, R. B., Hurley, P. J. & Pavek, J. J. (1983). Photosynthesis and stomatal conductance of potato clones (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Physiology* 72: 172-176.
- Echeverria, H. E., Giletto, C. M. & Rattin, J. E. (2004). Comparación de métodos de determinación de nitrato en peciolas de cultivares de papa. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, vol. 33, número 001, pp. 117-133. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina.
- Eitel, J. U. H., Gessler, P. E., Robberecht, R. & Smith, A. M. S. (2006). Suitability of existing and novel spectral indices to remotely detect water stress in *Populus* spp. *Forest Ecology and Management*. 229: 170-182.
- Eldredge, E. P., Holmes, Z. A., Mosley, A. R., Shock, C. C. & Stieber, T. D. (1996). Effects of transitory water stress on potato tuber stem-end reducing sugar and fry color. *American Potato Journal*. 73: 517-530.
- Eldredge, E. P., Shock, C. C. & Stieber, T. D. (1992). Plot sprinklers for irrigation research. *Agronomy Journal*. 84: 1981-1984.
- Ellis, J. & Bath, J. (1938). *The Journal of Chemical Physics*. 6, 723.

- Elsayed, S., Mistele, B. & Schmidhalter, U. (2011). Can changes in leaf water potential be assessed spectrally? *Functional Plant Biology*. 38(6): 523-533.
- Elsayed, S., Rischbeck, P. & Schmidhalter, U. (2015). Comparing the performance of active and passive reflectance sensors to assess the normalized relative canopy temperature and grain yield of drought-stressed barley cultivars. *Field Crops Research*. 177: 148-160.
- English, M. J. & Raja, S. N. (1996). Perspectives on deficit irrigation. *Agricultural Water Management*. 32, 1-14.
- Epstein, E. & Grant, W. J. (1973). Water stress relations of the potato plant under field conditions. *Agronomy Journal*. 65: 400-404.
- Erie, L. J., French, O. F. & Harris, K. (1965). Consumptive use of water by crops in Arizona. Technical Bulletin. 169. Arizona Agricultural Experiment Station, Tucson.
- Errebhi, M., Birong, D. E., Gupta, S. C. & Rosen, C. J. (1998). Potato yield response and nitrate leaching as influenced by Nitrogen management. *Agronomy Journal*. 90: 10-15.
- Evelt, S. R., Howell, T. A., Schneider, A. D., Upchurch, D. R. & Wanjura, D. F. (1996). Canopy temperature based automatic irrigation control. In: Camp, C.R., et al. (Eds.), *Evapotranspiration and Irrigation Scheduling*. Proceedings of the International Conference. San Antonio, TX. 3-6 November 1996, ASAE, St. Joseph, MI, pp. 207-213.
- Fabeiro, C., de Juan, J. A. & Martin de Santa Olalla, F. (2001). *Yield and size of deficit irrigated potatoes*. *Agricultural Water Management* 48, pp. 255-266.
- Falkenberg, N. R., Cothren, J. T., Leskovar, D. I., Piccinni, G. & Rush, C. M. (2007). Remote sensing of biotic and abiotic stresses for irrigation management of cotton. *Agricultural Water Management*. 87: 23-31.
- FAO Food and Agriculture Organization. (1979). A provisional methodology for soil degradation assessment. Roma, Italia: FAO.
- FAO. (1987). Water quality for agriculture. Recuperado el 14 de Abril de 2017, de <http://www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E00.htm>
- FAO. (1990). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Recuperado el 15 de Julio de 2017, de <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>

- FAO. (2008). Las papas, la nutrición y la alimentación. Año Internacional de la Papa. Recuperado el 9 de octubre de 2017, de <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/hojas.html>
- FAO. (2013). FAOSTAT agricultural data. Recuperado el 29 de enero de 2018, de <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>
- Feret, J. B., Asner, G. P., Barry, K. M., Francois, C., Gitelson, A., Jacquemoud, S. & Panigada, C. (2011). Optimizing spectral indices and chemometric analysis of leaf chemical properties using radiative transfer modeling. *Remote Sensing Environment*. 115: 2742-2750.
- Fernández, J. E. & Cuevas, M. V. (2010). Irrigation scheduling from stem diameter variations: A review. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 150, no. 2, pp. 135-151, ISSN 0168-1923. doi: 10.1016/j.agrformet.2009.11.006
- Ferosekhan, S. (2009). *Applications of NIRS In Feed Industry*. FNB-41. CIFE. Diapositiva 3-18. Recuperado el 2 de diciembre de 2017, de <https://www.slideshare.net/guest06ad101/application-of-nirs-in-feed-industry>
- Feustel, I. C. (1987). Miscellaneous products from potatoes. In W.F. Talburt and O. Smith (ed.) *Potato processing*. (4th ed.). Van Nostrand, New York. pp. 727-746.
- Flocker, W. J. & Timm, H. (1966). Effect of soil Moisture tension and physical condition of soil on utilization of water and nutrients by potatoes. *Agronomy Journal*. 58: 290-293.
- Franco, D., Pateiro, M., Rodríguez, I., López, M., Zapata, C., Vázquez, J. A. & Lorenzo, J. M. (2016). Antioxidant ability of potato (*Solanum tuberosum*) peel extracts to inhibit soybean oil oxidation. *European Journal of Lipid Science and Technology*. Vol. 118, pp. 1891-1902.
- Friedman, M., Kim, H. J., Kozukue, N., Lee, I. S. & Lee, K. R. (2005). Anticarcinogenic effects of glycoalkaloids from potatoes against human cervical, liver, lymphoma, and stomach cancer cells. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 53(15), pp. 6162-6169.
- Fuentes, S., de Bei, R., Pech, J. & Tyerman, S. (2012). Computational water stress indices obtained from thermal image analysis of grapevine canopies. *Irrigation Science*. 30: 523-536. doi: 10.1007/s00271-012-0375-8
- Gandar, P. W. & Tanner, C. B. (1976). Leaf growth, tuber growth and water potential in potatoes. *Crop Science*. 16: 534-538.
- García, G. (2014). *Guía de cultivo de la patata para fresco en Asturias*. Recuperado el 8 de enero de 2018, de <http://www.serida.org/pdfs/6086.pdf>
- Gardner, B. R. & Jones, J. P. (1975). Petiole analysis and the nitrogen fertilization of Russet Burbank potatoes. *American Potato Journal*. 52, pp. 195-200.

- Gee, G. W. & Bauder, J. W. (1986). Particle size analysis. In Klute, A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Part 1. SSSA Bok Ser. N° 5. SSSA, Madison, WI, USA. pp. 383-409.
- Geitmann, A. (2006). Experimental approaches used to quantify physical parameters at cellular and subcellular levels. *American Journal of Botany* 93: 1380-1390.
- Glenn, E. P., Hunsaker, D. J., Nagler, P. L. & Neale, C. M. U. (2011). Vegetation index-based crop coefficients to estimate evapotranspiration by remote sensing in agricultural and natural ecosystems. *Hydrological Processes*. 25(26): 4050-4062.
- Golumbic, C., Hart, J. R. & Norris, K. H. (1961). *Cereal Chemistry Journal*. 39, 94
- Google Earth. (2017, 26 de Julio). Mapa de localización de la parcela de ensayo. Recuperado el 30 de octubre de 2017, de <https://www.google.com/earth/>
- Govender, M., Ahmed, F., Dye, P. J., Weiersbye, I. M. & Witkowski, E. T. F. (2009). Review of commonly used remote sensing and ground based technologies to measure plant water stress.
- Grant, O. M., Chaves, M. M., Jones, H. G. & Tronina, L. (2007). Exploring thermal imaging variables for the detection of stress responses in grapevine under different irrigation regimes. *Journal of Experimental Botany*. 58: 815-825.
- Grant, O. M., Davies, M. J., Jamesa, C. M., Johnson, A. W., Leinonen, I. & Simpson, D. W. (2012). Thermal imaging and carbon isotope composition indicate variation amongst strawberry (*Fragaria x ananassa*) cultivars in stomatal conductance and water use efficiency. *Environmental and Experimental Botany*, 76: 7-15.
- Grisson, C. (1983). *La pomme de terre. Caractéristiques et qualités alimentaires*. APRIA (Association pour la Promotion Industry Agriculture), Ed. Paris. p. 292.
- Grun, P. (1990). *La evolución de las papas cultivadas*. *Botánica económica* 44 (Suplemento 3): pp. 39-55.
- Haines, F. M. (1935). Transpiration and pressure deficit. I. Apparatus and preliminary experiments. *Annals of Botany* 49, 213-381.
- Halseth, D. E., Minotti, P. L. & Siczka, J. B. (1991). Evaluation of quick nitrate tests for nitrogen recommendations. *American Potato Journal*. 68, pp. 611-612.
- Hane, D. C. & Pumphrey, F. V. (1984). Yield-evapotranspiration relationships and Seasonal crop coefficients for frequently irrigated potatoes. *American Potato Journal*. 61: 661-668.

- Hang, A. N. & Miller, D. E. (1986). Yield and physiological responses of potatoes to deficit, high frequency sprinkler irrigation. *Agronomy Journal*. 78: 436-440.
- Hansen, P. M. & Schjoerring, J. K. (2003). Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression. *Remote Sensing Environment*. 86: 542-553.
- Harris, P. M. (ed.). (1978). *The potato crops. The scientific basis for improvement*. Chapman and Hall, London.
- Hart, J. H. & Norris, K. H. (1996). *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 4, 23.
- Hawkes, J. G. (1990). *The potato. Evolution, biodiversity and genetic resources*. Londres, Belhaven Press, p. 259.
- Hellebrand, H. J., Beuche, H. & Linke, M. (2001, september). Determination of thermal emissivity and surface temperature distribution of horticultural products. In: 6th Intl. Symposium on Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering, Potsdam, Germany.
- Herschel, W. (1800). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. Part II, 255-284.
- Hijmans, R. J. & Spooner, D. M. (2001). Geographic distribution of wild potato species. *American Journal of Botany*. 88, 2101-2112.
- Hijmans, R. J., Bamberg, J. B., Jacobs, M. & Spooner, D. M. (2003). Frost tolerance in wild potato species: assessing the predictivity of taxonomic, geographic, and ecological factors. *Euphytica* 130: 47-59.
- Hijmans, R. J., de la Cruz, J., Guarino, A., Salas, A. R. & Spooner, D. M. (2002). Atlas of wild potatoes. Systematics and ecogeographic studies on crop gene pools 10(I-IX). International Plant Genetic Resources Institute, Roma.
- Hiller, L. K. & Koller, D. C. (1984). Effect of early season soil moisture levels and growth regulator applications on internal quality of Russet Burbank potato tubers. *Proceedings of annual Washington Potato Conference*. 23: 67-73.
- Hong, M., Fang, Y., Huang, J., Lei, G., Ma, T., Wu, J., Zeng, W. & Zha, Y. (2017). Determination of growth stage-specific crop coefficients (Kc) of sunflowers (*Helianthus annuus* L.) under salt stress. *Water* 9: 1-17.
- Horton, D. & Sawyer, R. L. (1985). *The potato as a world food crop, with special reference to developing areas*. p. 1-34. In P.H. Li (ed.) *Potato physiology*. Academic Press, New York.

- Howell, T. A. (2001). Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agronomy Journal*. 93: 281-289.
- Howell, T. A., Davis, K. R., Hatfield, J. L. & Yamada, H. (1984). Evaluation of Cotton Canopy Temperature to detect crop water stress. *Transactions of the ASAE (American Society of Agricultural Engineers)* 27: 84-88.
- Hsiao, T. C. (1973). Plant response to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*. 24: 519-570.
- Huaman, Z. & Spooner, D.M. (2002). Reclassification of landrace populations of cultivated potatoes (*Solanum* sect. *Petota*). *American Journal of Botany*. 89: 947-965.
- Hukkeri, S. B. & Sharma, A. K. (1979). Tailoring the irrigation Schedule for higher water-use efficiency in potato production. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 49: 336-339.
- Hunt, E. R. & Rock, B. N. (1989). Detection of changes in leaf water content using near and middle infrared reflectances. *Remote Sensing Environment*. 30: 43-54.
- IFAPA. (2004-2008). Publicaciones y patentes. Resultados de los ensayos con variedades de patatas: RAEA 2003, 2004, 2005, 2006 y 2007. Recuperado el 30 de marzo de 2017, de <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/web/ifapa/productos/publicacionesypatentes?palabra=patata>
- Im, H. W., Friedman, M., Kozukue, N., Lee, S. U., Levin, C. E., Ohnisi-Kameyama, M. & Suh, B. S. (2008). *Analysis of phenolic compounds by high-performance liquid chromatography and liquid chromatography/mass spectrometry in potato plant flowers, leaves, stems, and tubers and in home-processed potatoes*. *Journal Agricultural and Food Chemistry*. May 14;56(9): pp. 3341-33499.
- Iritani, W. M. & Weller, L. D. (1973a). The development of translucent end potatoes. *American Potato Journal*. 50: 223-233.
- Iritani, W. M. & Weller, L. D. (1973b). Differences in dry matter content of apical and basal portions of Russet Burbank potatoes. *American Potato Journal*. 20: 389-397.
- Iritani, W. M., Weller, L. D. & Russel, T. S (1973). Relative differences in sugar content of basal and apical portions of Russet Burbank potatoes. *American Potato Journal*. 50: 24-31.
- Israelsen, O. W. & Hansen, V. E. (1962). *Irrigation principles and practices*. (3rd Edition). New York, USA: John Willey and Sons, Inc.

- Ivins, J. D. & Bremmer, P. M. (1965). *Growth, Development and Yield in the Potato*. Department of Agriculture University of Nottingham, Inglaterra.
- Jackson, R. D. (1982). Canopy temperature and crop water stress. In: Hillel, D. (Ed.), *Advances in Irrigation*, vol. 1. Academic Press, pp. 43-85.
- Jackson, R. D., Choudhury, B. J. & Kustas, W. P. (1988). A reexamination of the crop water stress index. *Irrigation Science*. 307-309.
- Jackson, R. D., Idso, S. B., Pinter, P. J. & Reginato, R. J. (1981). Canopy temperature as a crop water-stress indicator. *Journal of Water Resources Research* 17, 1133-1138.
- Jefferies, R. A. (1993). Responses of potato genotypes to drought. 1. Expansion of individual leaves and osmotic adjustment. *Annals of Applied Biology*. 122: 93-104
- Jensen, L. & Simko, B. (1991). Malheur County crop survey of nitrogen and water use practices. pp. 187-198. In Malheur Experiment Station annual report 1990. Special Report 882. Oregon State University Agricultural Experiment Station, Corvallis.
- Jensen, M. E. (ed.). (1974). *Consumptive use of water and irrigation water requirements*. Report of ASCE committee on irrigation water requirements. American Society of Civil Engineers, New York.
- Jensen, M. E., Pratt, B. J. & Wright, J. L. (1971). Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. *Trans. ASAE* 14(5): 954-959.
- Johns, D., Beard, J. B. & van Bavel, C. H. M. (1981). Determination of the resistance to sensible heat flux density from turfgrass for estimation of its evapotranspiration rate. *Agricultural Meteorology*, 25: 15-25.
- Jones, H. G. (1999a). Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 95: 139-149.
- Jones, H. G. (1999b). Use of thermography for quantitative studies of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf surfaces. *Journal of Plant Cell and Environment* 22 (9): 1043-1055.
- Jones, H. G. (2004a). Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany, Water-Saving Agriculture Special Issue* 55 (407): 2427-2436.
- Jones, H. G. (2004b). Application of thermal imaging and infrared sensing in plant physiology and ecophysiology. *Advances in Botanical Research*, 41, 107-163.

- Jones, H. G. (2014). The use of indirect or proxy markers in plant physiology. *Plant, Cell Environ.* 37: 1270-1272.
- Jones, H. G., Chaves, M. M., de Sousa, C., Grant, O. M., Santos, T. & Stoll, M. (2002). Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. *Journal of Experimental Botany.* 53: 2249-2260.
- Jones, J. P. & Painter, C. G. (1974). Tissue analysis, a guide to nitrogen fertilizer of Idaho Russet Burbank potatoes. CIS N. ° 240 University of Idaho, Moscow.
- Jones, S. T. & Johnson, W. A. (1958). Effect of irrigation at different minimum levels of soil moisture and of imposed droughts on yield of onions and potatoes. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 71: 440-445.
- Junta de Andalucía. (2015). *Informe patata en Andalucía a la fecha 20 de marzo de 2015*. Recuperado el 9 de noviembre de 2017, de http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Informe_patata_2015.pdf
- Kikuta, S. B., Kyriakopoulos, E. & Richter, H. (1985). Leaf hygrometer v. pressure chamber: A comparison of pressure-volume curve data obtained on single leaves by alternating measurements. *Plant, Cell & Environment* 81: 363-367.
- King, B. A., Stark, J. C. & Taberna Jr., J. P. (1999). In-season spatial variability of potato petiole nitrogen. In: R. H. Rust, P. C. Robert, and W. E. Larson (eds.). *Precision agriculture. 4th International Precision Agriculture Conference. ASA–CSSA–SSSA, Madison, Wisconsin.*
- Kirda, C. (2002). Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. *Deficit Irrigation Practice. Water Rep.* 22. FAO, Rome, pp. 3-10.
- Kirkham, M. B. (1985). Techniques for water use measurements of crop plants. *Hortscience* 20: 993-1001.
- Kirkham, M. B. (2005). *Principles of soil and plant water relations.* Elsevier Academic Press, New York. p. 500.
- Kleinkopf, G. E. (1982). Potato. In I.D. Teare, I. D. & M. M. Peet, M. M. (ed.): *Crop water relations.* John Wiley & Sons, New York. p. 287-305.
- Kleinkopf, G. E., Westermann, D. T. & Dwelle, R. B. (1981). Dry matter production and nitrogen utilization by six potato cultivars. *Agronomy Journal.* 73: 799-802.
- Kriston-Vizi, J., Miyamoto, K. & Umeda, M. (2008). Assessment of the water status of mandarin and peach canopies using visible multispectral imagery. *Biosystems Engineering.* 100(3): 338-345.

- Koduvayur, S. F., Jacobsen, C. & Nielsen, N. S. (2010). Antioxidant activity of potato peel extracts in a fish-rape seed oil mixture and in oil-in-water emulsions. *JAACS, J. American Oil Chemical Society*, 87: p. 1319.
- Kowalski, B. R. (1980). *Analytical Chemistry*. 52, R112.
- Kunkel, R. (1957). Factor affecting the yield and grade of Russet Burbank potatoes. Technical Bulletin N. ° 62. Colorado State University, Fort Collins.
- Kunkel, R. & Gardner, W. H. (1959). Blackspot of Russet Burbank potatoes. *Proceedings of the American Society Horticultural Science* 73: 436-444.
- Larsen, D. C. (1984). Simplifying potato irrigation scheduling the Idaho program. *American Potato Journal*. 61:215-227.
- Lauer, D. A. (1985). Nitrogen uptake pattern of potatoes with high-frequency sprinkler-applied N fertilizer. *Agronomy Journal*. 77: 193-197.
- Lauer, D. A. (1986). Russet Burbank yield response to sprinkler-applied nitrogen fertilizer. *American Potato Journal*. 63: 61-69.
- Leinonen, I. & Jones, H. G. (2004). Combining thermal and visible imagery for estimating canopy temperature and identifying plant stress. *Journal of Experimental Botany*, 55: 1243-1231.
- Lelong, C. C. D., Pinet, P. C. & Poilvé, H. (1998). Hyperspectral imaging and stress mapping in agriculture: A case study on wheat in Beauce (France). *Remote Sensing of Environment*. 66(2): 179-191.
- Leo, L., Leone, A., Lombardi, D. A., Longo, C., Raimo, F. & Zacheo, G. (2008). Antioxidant compounds and Antioxidant activity in early potatoes. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 56 (11), pp. 4154-4163.
- Lesczynski, D. B. & Tanner, C. B. (1976). Seasonal variation of root distribution of irrigated, field grown Russet Burbank potato. *American Potato Journal*. 53: 69-78.
- Leung, J. & J. Giraudat. (1998). Abscisic acid signal transduction. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 49: 199-222.
- Li, P. H. (1985). *Potato physiology*. (Ed.). Academy Press, New York.
- Lindsay, W. L. & Norwell, W. A. (1978). Development of DTPA soil for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42, 421-428.
- Liu, F. L., Jensen, C. R. & Andersen, M. N. (2004). Pod set related to photosynthetic rate and endogenous ABA concentration in soybeans subjected to different water regimes and exogenous ABA and BA at early reproductive stages. *Annals of Botany*. 94, 405-411.

- Liu, R. H. (2013). Health promoting components of fruits and vegetables in the diet. *Advances in Nutrition*, 4 (3).
- Lo Guilhem. (2008). Mapa de localización del municipio sevillano de Alcalá del Río (Andalucía, España). [Mapa]. Recuperado el 23 de Diciembre de 2017, de [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alcal%C3%A1_del_R%C3%ADo_\(Sevilla\).PNG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alcal%C3%A1_del_R%C3%ADo_(Sevilla).PNG)
- López de Gómara, F. (1552). *Historia general de las Indias*. Espasa-Calpe, Madrid, España, 1941.
- Lorenz, O. A, Fullmer, F. S. & Tyler, K. B. (1964). Plant analysis for determining the nutritional status of potatoes. In C. Bould et al. (ed.) *Plant analysis and fertilizer problems*. American Society for Horticultural Science, Alexandria, VA. p. 226-240.
- Loudon, J. C. (1831). *Encyclopaedia of Agriculture*. London.
- Lugt, C. (1960). Second growth phenomena. *European Potato Journal*. 3: 307-325.
- Maas, E. V. (1986). Salt tolerance of plants. *Applied. Agricultural. Research*. 1, pp. 12-26.
- Malamud, O. S & Or, U. (1986). Micro-irrigation potential in potato cultivation. *American Potato Journal*. 63: 442-443.
- Martens, H. & Naes, T. (1989). *Multivariate calibration*. John Wiley and Sons Inc., Chichester, UK.
- Martin, M. W. & Miller, D. E. (1987). Advantages of water-stress resistance genotypes in the Northwest. *American Potato Journal*. 64: 448-449.
- Massart, D. L., Buydens, L. M. C., De Jong, S., Lewi, P. J., Smeyers-Verbeke, J. & Vandeginste, B. G. M. (1988). *Chemometrics: A textbook*. Vol.2. Amsterdam: Elsevier.
- Mateo, J. M. (1999). *La patata*. Rousselle, P., Robert, Y., Crosnier, J. C. (Coordinadores). Versión Española. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Merlot, S., Genty, B., Giraudat, J., Lefebvre, V., Mustilli, A. C., North, H., Sotta, B. & Vavasseur, A. (2002). Use of infrared thermal imaging to isolate Arabidopsis mutants defective in stomatal regulation. *The Plant Journal*. 30: 601-609.
- Meyer, D. R. & Marcum, D. B. (1998). Potato yield, petiole nitrogen, and soil nitrogen response to water and nitrogen. *Agronomy Journal*. 90: 420-429.

- Miller, D. E. & Martin, M. W. (1983). Effect of daily Irrigation rate and soil texture on Yield and quality of Russet Burbank potatoes. *American Potato Journal*. 60: 745-757.
- Miller, D. E. & Martin, M. W. (1987). Effect of declining or interrupted irrigation on yield and quality of three potato cultivars grown on Sandy soil. *American Potato Journal*. 64: 109-117.
- Miller, J. T. & Spooner, D. M. (1999). *Colapso de los límites de las especies en el complejo Solanum brevicaulle de patata silvestre* (Solanaceae, S. secta Petota): *datos moleculares*. *Plant Systematics and Evolution* 214: pp. 103-130.
- Moller, M., Alchanatis, V., Cohen, S., Cohen, Y., Meron, M., Naor, A., Ostrovsky, V., Sprintsin, M. & Tsipris, J. (2007). Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine. *Journal of Experimental Botany* 58 (4): 827-838.
- Moorby, J. & Milthorpe, F. L. (1975). Potato. In L.J Evans (ed.) *Crop physiology*. Cambridge University. Press, London. p. 225-227.
- Moorby, J., Munns, R. & Walcott, J. (1975). Effect of water deficit on Photosynthesis and tuber metabolism in potatoes. *Australian Journal Plant Physiology* 2: 323-333.
- Mulvaney, R. L. (1996). Nitrogen inorganic forms. In D.L. Sparks et al. (Eds.). *Methods of soil analysis*. Part 3. Chemical methods. SSSA Book Ser. 5. SSSA and ASA, Madison, WI, USA.
- Munns, R. & Pearson, C. J. (1974). Effect of water deficit on translocation of carbohydrate in *Solanum tuberosum*. *Australian Journal Plant Physiology* 1: 529-537.
- Munns, R. & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59: 651-681.
- Murphy, J. & Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 7, pp. 31-36.
- Murphy, P. A. (1936). Some effects of drought on potato tubers. *Empire Journal of Experimental Agriculture*. 4:230-246.
- Murray, I. (1986). Near infrared analysis of forages. In W. Haresign, and D.J.A. Cole (eds.). *Recent advances in animal nutrition. Studies in the agricultural and food sciences*. Butterworths, Reading, UK. p. 141-156.
- Musick, H. B. & Pelletier, R. E. (1986). Response of some thematic mapper band ratios to variation in soil water content. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 52: 1661-1668.

- Musick, H. B. & Pelletier, R. E. (1988). Response to soil moisture of spectral indexes derived from bidirectional reflectance in thematic mapper wavebands. *Remote Sensing of Environment*. 25: 167-184.
- National Agricultural Statistics Service. (2002). Census of Agriculture Historical Archive. Recuperado el 20 de Julio de 2017, de <http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/AgCensusImages/2002/01/51/1709/Table-25.pdf>
- Nelson, S. H. & Hwang, K. E. (1975). Water usage by potato plants at different stages of growth. *American Potato Journal*. 52:331-339.
- Nichols, D. F. & Ruf, R. H. (1967). Relation between moisture stress and potato tuber development. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*. 91: 443-447.
- Nielson, L. W. & Spark, W. C. (1953). Bottleneck tubers and jelly-end rot in the Russet Burbank potato. *Research Bulletin 23*. University of Idaho, Moscow.
- Nobel, P. S. (2004). *Physicochemical and Environmental Plant Physiology*. London: Academic Press.
- Norris, K. (1965). *Proceedings of the 1963 International Symposium on Humidity and Moisture, Principles and Methods of Measuring Moisture in Liquid and Solids*, vol. 4, Reinhold Publishing Corporation, New York, p.19.
- Núñez, M. N. (2003). Control de calidad de leche y queso de oveja mediante espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS). Universidad de Córdoba. p. 24.
- O'Rourke, J. (1875). *History of the Great Irish Famine*. cita Salaman, R. N. 1949. *The History and Social Influence of the Potato*. Cambridge University Press.
- O'Shaughnessy, S. A. & Evett, S. R. (2010). Canopy temperature based system effectively schedules and controls center pivot irrigation for cotton. *Agricultural Water Management*. 97: 1310-1316.
- Ochoa, C. M. (1979). Collection and taxonomy of Andean wild potato (Peru and Bolivia); En: *Report of the Planning Conference on the Exploration, Taxonomy, and Maintenance of Potato Germplasm III*. Lima, Perú, International Potato Center, p. 193.
- Ochoa, C. M. (1990). *The Potatoes of South America-Bolivia*. Cambridge University Press, p. 512.
- Ogilvie, D. D. (1943). *Envenenamientos de los cerdos con solanina*. *Revista de Medicina Veterinaria*. Recuperado el 20 de diciembre de 2017, de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:vdtH3DiRaXYJ:https://>

[/revistas.unal.edu.co/index.php/remezvez/article/download/53844/53281+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=es](http://revistas.unal.edu.co/index.php/remezvez/article/download/53844/53281+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=es)

- Ollinger, S. V. (2011). Sources of variability in canopy reflectance and the convergent properties of plants. *New Phytologist*. 189: 375-394.
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Dean, L. A. & Watanabe, F. S. (1954). Estimation of available phosphorous in soli by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ 939. Washington: US Gov Print Office.
- Oltra, M. A., Garmendia, I., Llopis, A. & Mangas, V. J. (2006a). *La nutrición mineral de la papa*. 25 aniversario de la Universidad de Alicante. Recuperado el 8 de noviembre de 2017, de <https://cipotato.org/wp-content/uploads/congreso%20ecuatoriano%202/MOltra.pdf>
- Oltra, M. A., Garmendia, I., Llopis, A. & Mangas, V. J. (2006b). Óptima fertilización para un alto rendimiento de patata (*Solanum tuberosum* L.). *Nutrición mineral: aspectos fisiológicos, agronómicos y ambientales*. Lamsfus, C. (editora-coordinadora); Aparicio, P.M. [et al.] (Editores). Pamplona: Universidad de Navarra. pp. 375-381.
- Oltra, M. A., Garmendia, I., Llopis, A., Mangas, V. J. & Martínez, J. (2006). La nutrición mineral de la papa. Recuperado el 8 de noviembre de 2017, de <https://cipotato.org/wpcontent/uploads/congreso%20ecuatoriano%202/O.CAMARA.doc>
- Ortuño, M. F., Biel, C., Bonany, J., Casadesus, J., Conejero, W., Domingo, R., Intrigliolo, D. S., Mellisho, C. D., Moreno, F., Moriana, A., Pérez, P. A., Ruiz, S. M. C. & Torrecillas, A. (2010). Could trunk diameter sensors be used in woody crops for irrigation scheduling? A review of current knowledge and future perspectives. *Agricultural Water Management*, vol. 97, no. 1, pp. 1-11, ISSN 0378-3774. doi: 10.1016/j.agwat.2009.09.008
- Osborne, B. G., Fearn, T. & Hindle, P. H. (1993). *Practical near infrared spectroscopy with applications in food and beverage analysis*. 227 p. 2nd ed. Longman Scientific and Technical, Essex, UK.
- Owings, T. R., Iritani, W. M. & Nagel, C. W. (1978). Respiration rates and sugar accumulation in normal and moisture stressed Russet Burbank potatoes. *American Potato Journal*. 55: 211-220.
- Padhi, J., Misraa, R. K. & Payerob, J. O. (2012). Estimation of soil water deficit in an irrigated cotton field with infrared thermography. *Field Crops Research*, 126: 45-55.
- Painter, C. G., Czernik, A., Gross, C. D., Everson, D. O., Henninger, W. A., Jaeger, J. R., Romanko, R. R. & Walz, A. J. (1975). Translucent-end potatoes in southwestern Idaho. *Miscellaneous Series N. ° 24*. University of Idaho, Moscow.

- Painter, C. G., Johnson, R. D., Jones, J. P., McDole, R. C. & Ohms, R. E. (1977). Idaho fertilizer guide for potatoes. University of Idaho Cooperative Extension Service Current Info. Ser. 261.
- Pasquini, C. (2003). *Near Infrared Spectroscopy: Fundamentals, Practical Aspects and Analytical Applications*. Journal of the Brazilian Chemical Society. Vol. 14, N.º. 2, 198-219.
- Pastor, F. (1953). *Cultivo de la patata. Hojas divulgadoras*. Número 22-53 H. (Gráficas Uguina). España, Madrid.
- Penman, F. (1929). Glassy end of potatoes. Journal Department of Agriculture. Victoria 27: 449-458.
- Peters, R. T. & Evett, S. R. (2007). Spatial and temporal analysis of crop stress using multiple canopy temperature maps created with an array of center-pivot-mounted infrared thermometers. Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers) 50: 919-927.
- Pethybridge, G. (1940). *The potato blights*. Royal Cornwall Polytechnic Society, vol IX.
- Pontificia Universidad Católica de Chile. (1998). *Crecimiento y desarrollo de la planta de papa*. Recuperado el 11 de noviembre de 2017, de http://www7.uc.cl/sw_educ/cultivos/papa/papa.htm
- Porter, G. A., Bradbury, W. B., McBurnie, J. C., Opena, G. B. & Sisson, J. A. (1999). Soil management and supplemental irrigation effects on potato. I. Soil properties, tuber yield, and quality. Agron. J. 91, 416-425.
- Porta, J. (1986). *Técnicas y Experimentos en Edafología*. Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Cataluña. Barcelona.
- Pou, A., Baluja, J., Diago, M. P., Medrano, H. & Tardaguila, J. (2014). Validation of thermal indices for water status identification in grapevine. Agricultural Water Management. 134: 60-72. doi: 10.1016/j.agwat.2013.11.010.
- Prunty, L. & Greenland, R. (1997). Nitrate leaching using two potato-corn N-Fertilizer plans on Sandy soil. Agronomy Ecosystems, Environ. 65: 1-13.
- Rapaport, T., Hochberg, U., Karnieli, A. & Rachmilevitch, S. (2014). The effect of differential growth rates across plants on spectral predictions of physiological parameters. PLoS One 9 (2). doi: 10.1371/journal.pone.0088930
- Rapaport, T., Hochberg, U., Karnieli, A., Rachmilevitch, S. & Shoshany, M. (2015). Combining leaf physiology, hyperspectral imaging and partial least squares regression (PLS-R) for grapevine water status assessment. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 109: 88-97.

- Reis, R. A. & Fontes, P. C. (1996). Qualidade de tubérculos da batateira em função de doses de adubação potássica. *Horticultura Brasileira* 14: 170-174.
- Ritter, W. F., Scarborough, R. W. & Williams, T. H. (1985). Water requirements for corn, soybeans and vegetables in Delaware. Agricultural Experiment Station, University of Delaware, Bulletin 463.
- Roberts, S. & Cheng, H. H. (1985). Advances in Nitrogen management for Russet Burbank potatoes, p. 41-47. In: Proceedings Wash State Potato Conference and Trade Fair, Pullman.
- Roberts, S. & Cheng, H. H. (1988). Estimation of critical nutrient range of petiole nitrate for sprinkler-irrigated potatoes. *American Potato Journal* 65: pp.119-124.
- Roberts, S., Cheng, H. H. & Farrow, F. O. (1989). Nitrate concentration in potato petioles from periodic applications of ¹⁵N-labeled ammonium nitrate fertilizer. *Agronomy Journal*. 81, pp. 271-274.
- Roberts, S., Qubrosi, R. N. & Rhee, J. K. (1991). Uptake and mobility of nutrients as influenced by potato irrigation. p. 57-63. In Proceedings Wash State Potato Conference and Trade Fair, Pullman.
- Robins, J. S. & Domingo, C. E. (1956). Potato yield and tuber shape as affected by severe soil moisture deficits and plant spacing. *Agronomy Journal*. 48: 488-492.
- Rodríguez De Sotillo, D., Hadley, M. & Wolf-Hall, C. (1998). Potato peel extract a nonmutagenic antioxidant with potential antimicrobial activity. *Journal of Food Science*, 63 (5), pp. 907-910.
- Ross, H. (1986). *Potato breeding-Problems and perspectives: Advances in plant breeding*. Journal of Plant Breeding. Supplement 13. Parey, Berlin.
- Ruf, R. H. (1964). The Influence of temperature and moisture stress on tuber malformation and respiration. *American Potato Journal*. 41: 377-381.
- Sadler, E. J., Camp, C. R., Evans, D. E. & Millen, J. A. (2002). Corn canopy temperatures measured with a moving infrared thermometer array. *Transactions of the ASAE (American Society of Agricultural Engineers)*. 45: 581-591.
- Saffigna, P. G. & Keeney, D. R. (1977a). Nitrogen and chloride in groundwater under irrigated agriculture in central Wisconsin. *Ground water*, 15: 170-177.
- Saffigna, P. G. & Keeney, D. R. (1977b). Nitrogen and chloride uptake by irrigated Russet Burbank potatoes. *Agronomy Journal*. 69: 258-264.
- Saffigna, P. G., Keeney, D. R. & Tanner C. B. (1977). Non-uniform infiltration under potato canopies caused by interception, stemflow and hilling. *Agronomy Journal*. 68: 337-342.

- Salaman, R. N. (1949). *The History and Social Influence of the Potato*. Cambridge University Press.
- Salisbury, F. B. & Ross, C. W. (1994). *Fisiología Vegetal*. México: Grupo Editorial Iberoamérica.
- Salomón, F. (2015). *Tecnología NIR, sus Usos y Aplicaciones*. Ponencia presentada en el V Congreso Argentino de Nutrición Animal CAENA 2015. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Saluzzo, J. A., Andrade, F., Echeverría, H. E., García, G. & Huarte, M. (1999a). Producción de materia seca y de tubérculos de papa (cv. Huinkul MAG) en respuesta a la fertilización nitrogenada en Balcarce (Argentina). *Revista Facultad de Agronomía, Universidad de La Plata* 70, pp. 81-89.
- Saluzzo, J. A., Andrade, F., Echeverría, H. E. & Huarte, M. (1999b). Nitrogen nutrition of potato cultivars differing in maturity. *J. Agronomy & Crop Science*. 183: pp. 157-165.
- Sammis, T. W. (1980). Comparison of sprinkler, trickle, subsurface and furrow irrigation methods for row crops. *Agronomy Journal*. 72: 701-704.
- Saxton, K. & Rawls, W. J. (2006). SPAW Model with Soil Water Characteristics. (Versión 6.02.75). [Programa de Computador]. Recuperado el 17 de octubre de 2017, de <https://hrsl.ba.ars.usda.gov/SPAW/SPAWDownload.html>
- Schlerf, M., Gerhards, M., Hoffmann, L., Lagueux, P., Rock, G., Ronellenfitch, F. & Udelhoven, T. (2012). A hyperspectral thermal infrared imaging instrument for natural resources applications. *Remote Sens.* 4, 3995-4009. doi:10.3390/rs4123995
- Scholander, P. F., Bradstreet, E. D., Hammel, H. T. & Hemmingsen, E. A. (1965). Sap pressure in vascular plants. *Science* 148: 339-346.
- Scholander, P. F., Bradstreet, E. D., Hammel, H. T. & Hemmingsen, E. A. (1966). Sap concentrations in halophytes and some other plants. *Plant Physiology* 41: 529-532.
- Serrano, L., Gonzalez-Flor, C. & Gorchs, G. (2010). Assessing vineyard water status using the reflectance based water index. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 139: 490-499.
- Serrano, L., Gonzalez-Flor, C. & Gorchs, G. (2012). Assessment of grape yield and composition using the reflectance based water index in Mediterranean rain fed vineyards. *Remote Sensing Environment*. 118: 249-258.

- Shenk, J. S. & Westerhaus, M. O. (1995a). Analysis of Agricultural and Food Products by Near Infrared Reflectance Spectroscopy. Monograph. NIRSystems Incorporated., Silver Spring, MD, USA.
- Shenk, J. S. & Westerhaus, M. O. (1995b). Routine operation, calibration, development and network system management manual. NIRSystems Inc., Silver Spring, MD, USA.
- Shenk, J. S. & Westerhaus, M. O. (1996). Calibration the ISI way. In: Near infrared spectroscopy: the future waves (eds.). Davies A.M.C. y Williams P. NIR Publications, Chichester, UK, pp: 198-202.
- Shalhevet, J., Shimshi, D. & Meir, T. (1983). Potato irrigation requirements in a hot climate using sprinkler and drip methods. *Agronomy Journal*. 75: 13-16.
- Shimshi, D., Shalhevet, J. & Meir, T. (1983). Irrigation regime effects on some physiological response of potato. *Agronomy Journal*. 75: 262-267.
- Shock, C. C., Burnett, D. S., Stieber, T. D. & Zalewski, J. D. (1992). Early season water deficits on Russet Burbank plant Development, yield and quality. *American potato Journal*. 69: 793-804.
- Shock, C. C., Eldredge, E. P., Holmes, Z. A., Stieber, T. D. & Zhang, P. (1993). The effect on timed water stress on quality, total solids and reducing sugar content of potatoes. *American Potato Journal*. 70: 227-241.
- Shock, C. C., Feibert, E. G. B. & Saunders, L. D. (1998). Potato yield and quality response to deficit irrigation. *Horticultural Science* 33: 655-659.
- Shock, C. C., Feibert, E. G. B. & Saunders, L. D. (2003). Umatilla Russet and Russet Legend potato yield and quality response to irrigation. *Horticultural Science* 38: 1117-1121.
- Shock, C. C., Shock, C. A., Jensen, L., Kimberling, K. & Saunders, L. D. (2003). Predicting the spread and severity of potato late blight (*Phytophthora infestans*). In Malheur Experiment Station annual report 2002. Special Report 882. Oregon State University Agricultural Experiment Station, Corvallis. p. 130-138.
- Shock, C. C. & Stieber, T. D. (1991). Nitrogen uptake and removal by selected crops. In Malheur Experimental Station annual report 1990. Special Report 882. Oregon State University Agricultural Experiment Station, Corvallis. p. 182-186.
- Siebold, E., Goic, L. & Matzner, M. (2002). *Alimentación de rumiantes con papa de desecho*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias-Centro Regional de Investigación Remehue. Boletín Técnico, N°88.
- SIGPAC. (2016). Mapa de situación del ensayo experimental en la finca del IFAPA Centro Las Torres-Tomejil. Recuperado el 30 de octubre de 2017, de <http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>

- Simonne, E., Caylor, A. & Ouakrim, N. (2002). Evaluation of an irrigation-scheduling model for drip irrigated potato in southeastern United States. *Horticultural Science* 37: 104-107.
- Singh, G. (1969). A review of the soil-moisture relationships in potatoes. *American Potato Journal*. 46: 398-403.
- Singh, N. & Rajini, P. S. (2008). Antioxidant mediated protective effect of potato peel extract in erythrocytes against oxidative damage. *Chemico-Biological Interactions*, 173(2): pp. 97-104.
- Sleper, D. A. & Poehlman, J. M. (2006). *Cría de cultivos de campo*. (5ª.ed.) Blackwell Publishing, Ames, IA.
- Smith, O. (ed.). (1968). *Potatoes: Production storing, processing*. AUI Publishing Company, Westport, CT.
- Spomer, L. A. (1985). Techniques for measuring plant water. *Hortscience* 20: 1021-1028.
- Spooner, D. M., Ballard, H. E., Jansky, S. H., Polgár, Z. & Rodríguez, F. (2008). Genomic origins of potato polyploids: GBSSI gene sequencing data. The plant genome. A Supplement to *Crop Science* 48(S1), S27-S36.
- Spooner, D. M., Bamberg, J., Hijmans, R. J., Lara-Cabrera, S., Rodríguez, A. & van den Berg, R. G. (2004). Wild potatoes (*Solanum* section *Petota*; of North and Central America). *Systematics Botany Monographs* 68, 1-209.
- Spooner, D. M., Bryan, G., del Rio, A. & van den Berg, R. G. (2003). Species concepts and relationships in wild and cultivated potatoes. *Acta Horticulturae* 619, 63-75.
- Spooner, D. M., Bryan, G., McLean, K., Ramsay, G. & Waugh, R. (2005). A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102, pp. 14694-14699.
- Spooner, D. M., Ghislain, M., Guzmán, F., Herrera, M., Núñez, J. & Trujillo, G. (2007). Extensive simple sequence repeat genotyping of potato landraces supports a major reevaluation of their gene pool structure and classification. *104(49)*, 19398-19403.
- Spooner, D. M. & Hetterscheid, W. L. (2005). Origins, evolution, and group classification of cultivated potatoes. In T. J. Motley, N. Zerega & H. Cross (Eds.), *Darwin's harvest: New approaches to the origins, evolution, and conservation of crops*. New York: Columbia University Press, pp. 285-307.

- Spooner, D. M. & Knapp, S. (2013). *Solanum tuberosum*. Recuperado el 8 de agosto de 2017, de <http://solanaceaesource.org/content/solanum-tuberosum>
- Spooner, D. M. & Lara-Cabrera, S. (2001). Sistemática molecular y evolución de plantas cultivadas. En: Hernández, H.M., García-Aldrete, A., Álvarez, F. y M. Ulloa (eds.). Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad. Instituto de Biología, UNAM; Fondo de Cultura Económica, México DF. pp. 57-114.
- Spooner, D. M. & Salas, A. (2006). Structure, biosystematics, and genetic resources. En: Gopal, J. y S.M.P. Khurana (eds.). Handbook of potato production, improvement, and postharvest management. Haworth's Press, Inc., Binghamton, NY. pp. 1-39.
- Steckel, J. R. A. & Gray, D. (1979). Drought tolerance in potatoes. Journal Agricultural Science. 92: 375-381.
- Stockle, C. O. & Hiller, L. K. (1994). Evaluation of on farm irrigation scheduling methods for potatoes. American Potato Journal. 71: 155-164.
- Struik, P. C. (2007). Desarrollo de planta sobre el suelo y bajo tierra. En D. Vreugdenhil, J. Bradshaw, C. Gebhardt, F. Govers, DKL MacKerron, Taylor MA, HA Ross, eds. *Biología y biotecnología de la papa: avances y perspectivas*. Elsevier Science BV, Amsterdam. pp. 219-236.
- Sukhotu, T., Kamijima, O. & Hosaka, K. (2006). Chloroplast dna variation in the most primitive cultivated diploid potato species *Solanum stenotomum* Juz. et Buk. and its putative wild ancestral species using high-resolution markers. Genetic Resources and Crop Evolution. 53, 53-63.
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2002). Plant physiology. Sunderland: Sinauer Associates, Incorporation, MA, USA.
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2006). Plant Physiology (4th ed.). Sinauer Associates, Sunderland, MA, USA.
- Tarazona, M. P. & Aguayo, E. (2012). *Aprovechamiento de subproductos procedentes de la industria de procesado en fresco* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cartagena, Murcia, España.
- testo. (2010). Academia online. Recuperado el 10 de abril de 2017, de <http://www.academiatesto.com.ar/cms/determinacion-de-la-e>
- The European Cultivated Potato Database. (2011). Recuperado el 20 de julio de 2017, de https://www.europotato.org/display_description.php?variety_name=Spunta
- Thenkabail, P. S., Gumma, M. K., Mohammed, I. A. & Teluguntla, P. (2014). Hyperspectral remote sensing of vegetation and agricultural crops. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (PE&RS). 80: 697-709.

- Thompson, A. L., Love, S. L., Shock, C. C., Sowokinos, J. R. & Thornton, M. K. (2008). Review of the sugar end disorder in potato (*Solanum tuberosum*, L.). *American Journal Potato Research*. 85: 375. doi: 10.1007/s12230-008-9034-2
- Thornton, R. E. & Sieczka, J. B. (1980). Commercial potato production in North America. *American Potato Journal*. 57: 1-36.
- Throssell, C. (1985). Canopy temperature irrigation scheduling and drought stress effects on cool season turfgrasses. Ph.D. Thesis, Kansas State University, Manhattan, KS.
- Tucker, B. M. (1954). The determination of exchangeable calcium and magnesium in carbonate soils. *Australian Journal of Agricultural Research*, 5: 705-715.
- Tucker, C. J. (1980). Remote sensing of leaf water content in the near infrared. *Remote Sensing of Environment*. 10: 23-32.
- Turner, N. C. (1981). Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and soil*, 58, pp. 339-336.
- Turner, N. C. (1987). The use of the pressure chamber in studies of plant water status. *Proceedings of the International Conference on Measurement of Soil and Plant Water Status*. Utah State University, Logan, Utah. Vol. 2: 13-24.
- Turner, N. C. (1988). Measurement of plant water status by the pressure chamber technique. *Irrigation Science*. 9: 289-308.
- Ugent, D. (1968). *La papa en México: geografía y cultura primitiva*. *Botánica económica* 22: pp. 109-123.
- Universidad de Sevilla. (2015). Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica. Departamento de Ciencias Agroforestales. Asignatura: Principios de la Producción Vegetal. Material disponible para los alumnos de la asignatura.
- Upchurch, D. R., Burke, J. J., Chapman, J. A., Mahan, J. R. & Wanjura, D. F. (1998). Irrigation system having sensor arrays for field mapping. U.S. Patent Application SN 09/153, 652.
- Urbina, V. (2015). *El medio ecológico en plantaciones frutales: monografías de fruticultura N.º 9. Capítulo 6. El Suelo. Propiedades químicas y otras características*. Recuperado el 21 de julio de 2017, de <http://ocw.udl.cat/ingenyeria-i-arquitectura/fruticultura/continguts-1/9/monografia-no-9-cap.-6.-el-suelo.-propiedades-quimicas-y-otras-caract>
- van den Berg, R. G., Miller, J. T., Ugarte, M. L., Kardolus, J. P., Villand, J., Nienhuis, J. & Spooner, D. M. (1998). *Colapso de especies morfológicas en el complejo*

- Solanum brevicaule de patata silvestre* (Solanaceae: sec. Petota). American Journal of Botany 85 (1): pp. 92-109.
- van der Zaag, P. E. & Burton, W. G. (1978). Potential yield of the potato crop and its limitations. In Survey Papers, 7th Triennial Conference European Association Potato Research, Warsaw, Poland. 26 June-1 July. Instytut Ziemniaka, Bonin, Poland. p. 7-22.
- Van Loon, C. D. (1981). The effect of water stress on potato growth, development and yield. American Potato Journal. 58: 51-69.
- Vitosh, M. L. (1984). Irrigation scheduling for potatoes in Michigan. American Potato Journal. 61: 205-213.
- Waddell, J. T., Gupta, S. C., Moncrief, J. F., Rosen, C. J. & Steele, D. D. (1999). Irrigation and Nitrogen management effects on potato yield, tuber quality and Nitrogen uptake. Agronomy Journal. 91: 991-997.
- Waddell, J. T., Gupta, S. C., Moncrief, J. F., Rosen, C. J. & Steele, D. D. (2000). Irrigation and nitrogen management impacts on nitrate leaching under potato. Journal Environmental Quality. 29:251-261.
- Walkley, A. & Black, C. A. (1934). *An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method.* Soil Science. 37 (1), pp. 29-38.
- Wang, M., Cousins, A. B., Ellsworth, P. Z., Sankaran, S. & Zhou, J. (2016). Evaluation of water use efficiency in foxtail millet (*Setaria italica*) using visible-near infrared and thermal spectral sensing techniques. Talanta 152: 531-539.
- Wang, X., Cooley, N., Moran, B., Wheaton, A. & Yang, W. (2010). Automated canopy temperature estimation via infrared thermography: A first step towards automated plant water stress monitoring. Computers and Electronics in Agriculture 73: 74-83.
- Wanjura, D. F., Mahan, J. R. & Upchurch, D. R. (1995). Control of irrigation scheduling using temperature-time thresholds. Transactions of the ASABE 38: 403-409.
- Ware, G. M. & McCollum, J. P. (1968). *Producing vegetable crops.* Interstate Printers Publ., Danville, Illinois.
- Westermann, D. T. & Kleinkopf, G. E. (1985a). Nitrogen requirements of potato. Agronomy Journal. 77: 616-621.
- Westermann, D. T. & Kleinkopf, G. E. (1985b). Phosphorus relationships in potato plants. Agronomy Journal. 77: 490-494.

- Westermann, D. T., Kleinkopf, G. E. & Porter, J. K. (1988). Nitrogen fertilizer efficiencies on potatoes. *American Potato Journal*. 65: 377-386.
- Whitley, K. M. & Davenport, J. R. (2003). Nitrate leaching potential under variable and uniform Nitrogen fertilizer management in irrigated potato systems. *HortTechnology* 13:605-609.
- Williams, P. & Norris, K. (2001). *Near Infrared Technology*. (2nd ed.). American Association of Cereal Chemistry, Inc.: St. Paul, MN, USA.
- Wright, J. L. (1981). Crop coefficients for estimates of daily crop evapotranspiration. In *Irrigation scheduling for water and energy conservation in the 80's*. ASAE, St Joseph, M.I. p. 18-26.
- Wright, J. L. (1982). New evapotranspiration crop coefficients. *J. Irrigation Drainage Div. American Society of Civil Engineers*. 108 (IR1): 57-74.
- Wright, J. L. (1985). Evapotranspiration and irrigation water requirements. In *Advances in evapotranspiration. Proceedings National Conference on advances in evapotranspiration*, Chicago, IL. 16-17. Dec. ASAE, St. Joseph, M.I. p. 105-113.
- Wright, J. L. & Stark, J. C. (1990). *Irrigation of Agricultural Crops*. In: Stewart, B.A and Nielsen, D.R. (eds.). *Agronomy Monograph n. 30*. Madison, WI 53711, USA.
- Youbiot. (2017). Qué daños provoca la solanina de las patatas. Recuperado el 20 de agosto de 2017, de <https://www.youbioit.com/es/article/23973/que-danos-provoca-la-solanina-de-las-patatas>
- Yu, G. R., Kon, H., Matsuoka, N., Miwa, T. & Nakayama, K. (2000). A proposal for universal formulas for estimating leaf water status of herbaceous and woody plants based on spectral reflectance properties. *Plant Soil* 227: 47-58.
- Zandonadi, R. S., Mantovani, E. C., Pinto, F. A. C., Queiroz, D. M., Sena, D. G. & Viana, P. A. (2005). Identification of lesser cornstalk borer-attacked maize plants using infrared images. *Biosystems Engineering*, 91: 433-439.
- Zarco-Tejada, P. J., Berjon, A., Cachorro, V., de Frutos, A., Lopez-Lozano, R., Martin, P. & Miller, J. R. (2005). Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. *Remote Sensing Environment*. 99: 271-287.
- Zarco-Tejada, P. J., Berni, J. A. J. & González-Dugo, V. (2012). Fluorescence, temperatura and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera. *Remote Sensing of Environment*. 117, 322-337. doi: 10.1016/j.rse.2011.10.007

Zhang, S. Q. & Outlaw, W. H. (2001). Abscisic acid introduced into the transpiration stream accumulates in the guard cell apoplast and causes stomatal closure. *Plant Cell and Environment*. 24: 1045-1054.

Zia-ur-Rehman, Habid, F. & Shah, W. H. (2004). Utilization of potato peels extract as a natural antioxidant in soy bean oil. *Food Chemistry*, 85(2), pp. 215-220.

Zúñiga, C. E., Jacoby, P., Khot, L. R. & Sankaran, S. (2016). Remote sensing based water use efficiency evaluation in subsurface irrigated wine grape vines. *Proceedings of SPIE - International Society Optical Engineering*. 9866, art. no. 98660O.

ANEXOS

ANEXO I. Crecimiento y desarrollo de la planta de patata.

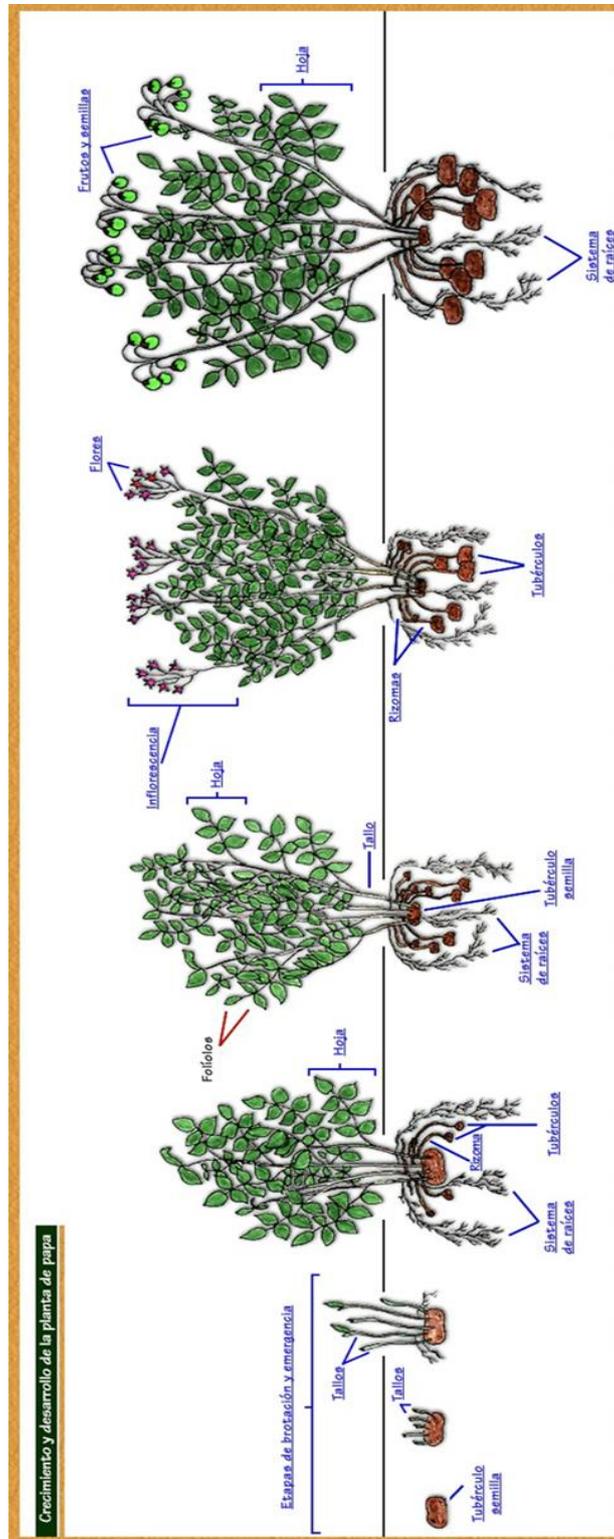


Figura 74. Crecimiento y desarrollo de la planta de patata (Pontificia Universidad Católica de Chile, 1998).

ANEXO II. Estudio climatológico.

Para el estudio climático, se han tomado los datos registrados en la Estación Meteorológica de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) situada en el Aeropuerto de Sevilla, cuyos datos referenciales se pueden visualizar en la posterior Tabla 63. Esta Estación Meteorológica, se encuentra situada a una distancia lineal de 11,50 km del recinto del IFAPA, donde se encuentra situado el ensayo de patatas.

Los valores medios de las variables correspondientes, durante un rango de tiempo de treinta años (1981 – 2010), mínimo de años requerido para elaborar un estudio climático, se pueden observar en la siguiente Tabla 62.

Tabla 62. Valores normales estadísticos básicos climatológicos, del periodo 1981-2010.

	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	10,9	16,0	5,7	66	71	6,1	0,0	0,4	2,7	1,8	11,2	183
Febrero	12,5	18,1	7,0	50	67	5,8	0,0	0,5	3,0	0,7	7,9	189
Marzo	15,6	21,9	9,2	36	59	4,3	0,0	0,6	2,3	0,0	8,6	220
Abril	17,3	23,4	11,1	54	57	6,1	0,0	1,4	1,4	0,0	6,0	238
Mayo	20,7	27,2	14,2	30	53	3,7	0,0	1,2	0,7	0,0	6,9	293
Junio	25,1	32,2	18,0	10	48	1,3	0,0	0,7	0,2	0,0	12,9	317
Julio	28,2	36,0	20,3	2	44	0,2	0,0	0,2	0,2	0,0	21,1	354
Agosto	27,9	35,5	20,4	5	48	0,5	0,0	0,4	0,2	0,0	18,7	328
Septiembre	25,0	31,7	18,2	27	54	2,4	0,0	0,8	0,5	0,0	10,3	244
Octubre	20,2	26,0	14,4	68	62	6,1	0,0	1,2	2,4	0,0	7,8	216
Noviembre	15,1	20,2	10,0	91	70	6,4	0,0	0,9	2,1	0,0	8,0	181
Diciembre	11,9	16,6	7,3	99	74	7,5	0,0	0,8	3,0	0,5	8,4	154
Promedio anual	19,2	25,4	13,0	44,8	59	4	0,0	0,8	1,6	0,3	10,7	243,1
Sumatorio anual	-	-	-	538	-	50	0	9	19	3	128	2917

Nota. Fuente de datos de la Estación Meteorológica de la AEMET del Aeropuerto de Sevilla. Leyendas. T: temperatura media mensual/anual (°C). TM: media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C). Tm: media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C). R: precipitación mensual/anual media (mm). H: humedad relativa media (%). DR: número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm. DN: número medio mensual/anual de días de nieve. DT: número medio mensual/anual de días de tormenta. DF: número medio mensual/anual de días de niebla. DH: número medio mensual/anual de días de helada. DD: número medio mensual/anual de días despejados. I: número medio mensual/anual de horas de sol. Elaboración propia.

Tabla 63. Datos referenciales de la Estación Meteorológica del AEMET del Aeropuerto de Sevilla.

Sistema de Referencia	EPSG:WGS 84 / UTM zone 30N
Coordenada X	235.047,7581
Coordenada Y	4.141.977,5921
Latitud	37° 25' 00" N
Longitud	5° 52' 45" W
Altitud	34 m
Referencia SIGPAC	
Provincia	41
Municipio	900
Polígono	20
Parcela	9005
Recinto	5

Nota. Fuente de datos de la AEMET y SIGPAC. Índice climatológico 5783. Elaboración propia.

1. Índices climáticos.

Mediante los índices climáticos podemos caracterizar de forma sencilla el clima de nuestra región del cultivo de patata, haciendo uso de las variables temperatura y precipitación. A continuación, hemos estudiado el clima de la región del ensayo, utilizando varios índices climáticos. Los datos de las variables climáticas para el cálculo y su posterior clasificación climática son tomados de la AEMET, anteriormente mencionada. Las leyendas de las variables dadas por la AEMET y de los índices climáticos son distintas, por lo que para poder unificarlas hay que considerar la información dada, al respecto, en cada índice climático.

1.1 Índice de pluviosidad de Lang (I_L).

$$I_L = P/T_{ma} = 538/19,2 = 28,02$$

P (R según la AEMET) = precipitación anual en mm.

T_{ma} (T según la AEMET) = temperatura media anual en °C.

Atendiendo al valor obtenido, la zona climática corresponde a **zona árida**.

1.2 Índice de aridez de “De Martonne” (I_M).

En primer lugar, este índice hace referencia a un índice de aridez anual.

$$I_M = P/T_{ma} + 10 = 538/19,2 + 10 = 18,42$$

La zona climática corresponde a **zona seca mediterránea, semiárido**.

En segundo lugar, este índice también considera un índice de aridez mensual, siendo sus valores y zonas climáticas mensuales los obtenidos a continuación, considerando las unificaciones de las leyendas de cada variable correspondiente.

P_i (R según la AEMET) = precipitación media mensual en mm.

T_m (T según la AEMET) = temperatura media mensual en °C.

Veamos los índices de aridez mensuales:

- $I_M(\text{enero}) = 12 \cdot P_i / T_{ma} + 10 = 12 \cdot 66 / 10,9 + 10 = 37,89$
Zona climática: **Zona húmeda.**
- $I_M(\text{febrero}) = 12 \cdot P_i / T_{ma} + 10 = 12 \cdot 50 / 12,5 + 10 = 26,67$
Zona climática: **Zona subhúmeda.**
- $I_M(\text{marzo}) = 12 \cdot P_i / T_{ma} + 10 = 12 \cdot 36 / 15,6 + 10 = 16,88$
Zona climática: **Zona seca mediterránea, semiárido.**
- $I_M(\text{abril}) = 12 \cdot P_i / T_{ma} + 10 = 12 \cdot 54 / 17,3 + 10 = 23,74$
Zona climática: **Zona subhúmeda.**
- $I_M(\text{mayo}) = 12 \cdot P_i / T_{ma} + 10 = 12 \cdot 30 / 20,7 + 10 = 11,73$
Zona climática: **Zona de desierto, árido, estepario.**
- $I_M(\text{junio}) = 12 \cdot P_i / T_{ma} + 10 = 12 \cdot 10 / 25,1 + 10 = 3,42$
Zona climática: **Desierto.**
- $I_M(\text{julio}) = 12 \cdot P_i / T_{ma} + 10 = 12 \cdot 2 / 28,2 + 10 = 0,63$
Zona climática: **Desierto.**
- $I_M(\text{agosto}) = 12 \cdot P_i / T_{ma} + 10 = 12 \cdot 5 / 27,9 + 10 = 1,58$
Zona climática: **Desierto.**
- $I_M(\text{septiembre}) = 12 \cdot P_i / T_{ma} + 10 = 12 \cdot 27 / 25,0 + 10 = 9,26$
Zona climática: **Zona de desierto, árido, estepario.**
- $I_M(\text{octubre}) = 12 \cdot P_i / T_{ma} + 10 = 12 \cdot 68 / 20,2 + 10 = 27,02$
Zona climática: **Zona subhúmeda.**
- $I_M(\text{noviembre}) = 12 \cdot P_i / T_{ma} + 10 = 12 \cdot 91 / 15,1 + 10 = 43,51$
Zona climática: **Zona húmeda.**
- $I_M(\text{diciembre}) = 12 \cdot P_i / T_{ma} + 10 = 12 \cdot 99 / 11,9 + 10 = 54,25$
Zona climática: **Zona húmeda.**

1.3 Índice termopluviométrico de Dantin y Revenga.

$$I_{DR} = 100 \cdot T_{ma} / P = 100 \cdot 19,2 / 538 = 3,57$$

P (R según la AEMET) = precipitación anual en mm.

T_{ma} (T según la AEMET) = temperatura media anual en °C.

La zona climática isóxera (de igual sequedad) corresponde a **zona semiárida.**

1.4 Cociente pluviométrico de Emberger.

$$Q = (100 \cdot P) / [(T_c^2 - t_f^2)] = (100 \cdot 538) / [(36,0)^2 - (5,7^2)] = 42,58$$

P (R según la AEMET) = precipitación anual en mm.

T_c = temperatura media de las máximas del mes más cálido (°C).

t_f = temperatura media de las mínimas del mes más frío (°C).

La escala climática según este índice es **Clima Semiárido**.

2. Clasificación climática.

Para la clasificación climática de la zona, al igual como hemos realizado anteriormente para los índices climáticos, nos hemos basados en las variables meteorológicas proporcionadas por la AEMET del Aeropuerto de Sevilla. Para el estudio de tal clasificación, se ha recurrido a los cuatro modelos más interesantes desde el punto de vista agrario: Thornthwaite, UNESCO-FAO (Gausson), Köppen y Papadakis.

2.1 Clasificación climática de Thornthwaite.

Para clasificar el clima según Thornthwaite, primeramente, se calcula la evapotranspiración potencial (ETP), mediante la fórmula $ETP = f [16 (10 \cdot T_m / I)]^a$, cuyos resultados y leyendas correspondientes, quedan detallados en la Tabla 64 que se puede observar a continuación.

Tabla 64. Parámetros meteorológicos, con sus respectivos valores, utilizados para el cálculo de la evapotranspiración potencia (ETP).

	f	T _m	I	a	ETP
Enero	0,86	10,9	3,254041829	2,088289466	18,1
Febrero	0,84	12,5	4,003881109	2,088289466	23,6
Marzo	1,03	15,6	5,599510397	2,088289466	45,9
Abril	1,10	17,3	6,548792253	2,088289466	60,9
Mayo	1,22	20,7	8,592875441	2,088289466	98,2
Junio	1,23	25,1	11,504438525	2,088289466	148,1
Julio	1,25	28,2	13,722605029	2,088289466	191,9
Agosto	1,17	27,9	13,502188825	2,088289466	175,7
Septiembre	1,03	25,0	11,435116317	2,088289466	123,0
Octubre	0,97	20,2	8,280592002	2,088289466	74,2
Noviembre	0,85	15,1	5,330040532	2,088289466	35,4
Diciembre	0,83	11,9	3,716528889	2,088289466	21,0
Sumatorio			95,490611148		

Nota. Fuente de datos de la AEMET. Leyendas: f: coeficiente para la corrección debida a la duración media de la luz solar. T_m: temperatura media del aire en °C. I: índice de calor anual = suma de los doce índices de calor mensual = (T_m/5)^{1,514}. a = 0,49239 + 0,01792 * I - 7,71 * 10⁻⁵ * I² + 6,75 * 10⁻⁷ * I³. Elaboración propia.

En segundo lugar, se realiza el **balance de humedad**, reflejado en la siguiente Tabla 65.

Tabla 65. Balance de humedad, para la clasificación climática de Thornthwaite.

	E	F	Mz	Ab	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	Total
ETP	18,1	23,6	45,9	60,9	98,2	148,1	191,9	175,7	123,0	74,2	35,4	21,0	1016,0
P	66,0	50,0	36,0	54,0	30,0	10,0	2,0	5,0	27,0	68,0	91,0	99,0	538,0
ETR	18,1	23,6	45,9	60,9	98,2	25,0	2,0	5,0	27,0	68,0	35,4	21,0	430,1
Reserva	100,0	100,0	90,1	83,2	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	55,6	100,0	543,9
Exceso	47,9	26,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,6	107,9
Déficit	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	123,1	189,9	170,7	96,0	6,2	0,0	0,0	585,9

Nota. Fuente de datos de la AEMET. Leyendas. ETR: evapotranspiración real. Datos en mm/mes. Elaboración propia.

En tercer y último lugar, se realiza los cálculos correspondientes para obtener los siguientes índices:

Índice de exceso de agua (I_e):

$$I_e = (\sum \text{exceso agua} / \sum \text{ETP}) * 100 = (107,9 / 1016,0) * 100 = 10,62$$

Índice de falta de agua (I_d):

$$I_d = (\sum \text{déficit agua} / \sum \text{ETP}) * 100 = (585,9 / 1016,0) * 100 = 57,66$$

Índice de humedad (I_h):

$$I_h = I_e - 0,6 * I_d = 10,62 - 0,6 * 57,66 = -23,98$$

Atendiendo a estos índices anteriores, el régimen hídrico de la zona es el siguiente:

- Basándonos en el I_h , el tipo climático es **semiárido** y cuya sigla es **D**.
- Para la “variación estacional de la humedad”, partiendo del anterior tipo climático semiárido, interesa determinar la existencia o no de algún periodo húmedo. Para ello nos basamos en el I_e , y el tipo climático correspondiente es **de moderado exceso de humedad en invierno** y cuya sigla es **s**.

Para la obtención del régimen térmico, en primer lugar, se calcula el “índice de eficacia térmica”, siendo este el valor del sumatorio de la ETP anual, la cual es 1.016,0 mm = 101,60 cm. Atendiendo al valor de este índice, el tipo climático correspondiente es **Mesotérmico** y cuya sigla es **B'4**. Seguidamente, se determina la “concentración de la eficacia térmica en verano”, usando la fórmula $C_v = \text{ETP meses de verano} / \text{ETP anual} = 515,7 / 1016,0 = 0,5075 = 50,75\%$. Fijándonos en este valor, el tipo climático correspondiente es de **Moderada concentración** y cuya sigla es **b'4**.

Por lo tanto, a modo de resumen, la clasificación climática según Thornthwaite es la correspondiente a las siguientes siglas: **D, s, B'4, b'4**.

2.2 Clasificación bioclimática de UNESCO-FAO (Gausсен).

Mediante las variables climatológicas de temperaturas medias, precipitaciones, número de días de lluvia, humedad relativa (estado higrométrico del aire), y el número de días de niebla y rocío, se realiza un estudio de tres características de la zona (régimen hídrico, aridez e índice xerotérmico), permitiéndose de este modo clasificar el clima de nuestra zona.

En relación con el régimen térmico, la temperatura media del mes más frío (T_{mf}) fue de 10,9 °C, siendo la correspondiente al mes de enero. La temperatura media de las mínimas del mes más frío (t_f) ha sido de 5,7 °C, perteneciendo esta temperatura al mes de enero. Según estos valores, la clasificación climática de la zona de estudio pertenece al **grupo 1: clima templado-cálido con invierno suave**.

Para estudiar la característica de la aridez, hay que determinar la duración del periodo seco mediante la expresión: $Precipitación < 2 * T_m$, basándose en los datos de las variables meteorológicas de precipitación (R) y temperaturas medias (T). El periodo seco de nuestra zona es el formado por los cinco meses secos, desde mayo a septiembre, como se puede observar detalladamente en siguiente Tabla 66. Debido a la existencia de un solo periodo seco, el clima se denomina **monoxérico**.

Tabla 66. Meses secos y su correspondiente periodo seco, de nuestra zona de estudio, para la clasificación bioclimática de UNESCO-FAO (Gausсен).

Mes	P [R]	T _m [T]	2*T _m	Periodo seco (aridez) $P \leq 2 * T_m$
Enero	66	10,9	21,8	-
Febrero	50	12,5	25,0	-
Marzo	36	15,6	31,2	-
Abril	54	17,3	34,6	-
Mayo	30	20,7	41,4	mes seco
Junio	10	25,1	50,2	mes seco
Julio	2	28,2	56,4	mes seco
Agosto	5	27,9	55,8	mes seco
Septiembre	27	25,0	50,0	mes seco
Octubre	68	20,2	40,4	-
Noviembre	91	15,1	30,2	-
Diciembre	99	11,9	23,8	-

Nota. Fuente de datos de la AEMET. Elaboración propia.

En último lugar, se estudia el índice xerotérmico mensual (X_m) de la zona, siendo este el número de días biológicamente secos (considerando las variables “número de días de lluvia”, “número de días de niebla y rocío” y la “humedad relativa media de la

atmosfera”), debido a que la simple ausencia de lluvia no es suficiente para poder considerar la existencia de sequía. Partiendo del sumatorio de los datos mensuales, se obtiene el índice xerotérmico del periodo seco (X). Estos índices con sus valores correspondientes, los podemos observar a continuación en la Tabla 67.

Tabla 67. Índice xerotérmico mensual e índice xerotérmico del periodo seco, utilizados para la clasificación bioclimática de UNESCO-FAO (Gausson), de la zona de estudio.

	N	n	b	K	H	Xm	X
Mayo	31	6,5	2,6	0,9	53	20,88	
Junio	30	3,6	2,0	0,9	48	22,86	
Julio	31	0,5	1,0	0,9	44	27,00	120,51
Agosto	31	1,0	0,0	0,9	48	27,00	
Septiembre	30	3,7	2,0	0,9	54	22,77	

Nota. Fuente de datos de la AEMET. Leyendas. N: número de días del mes. n: número de días de lluvia durante el mes. b: número de días de niebla más días de rocío en el mes. K: Coeficiente dependiente de la humedad relativa. H: humedad relativa media (%). Xm: Índice xerotérmico mensual. X: Índice xerotérmico del periodo seco = $\sum X_m$. Elaboración propia.

Analizando los datos de la Tabla 67, la clasificación bioclimática de UNESCO-FAO (Gausson) es de Tipo climático **Mediterráneo** y subtipo climático **Termomediterráneo atenuado**, estando en la región del olivo o eumediterránea.

2.3 Clasificación climática de Köppen.

En esta clasificación, primero comprobamos si el clima es o no tipo B, aplicando la expresión: $P \text{ (cm)} < 2 * T_{ma} \text{ (}^\circ\text{C)}$, siendo P la precipitación anual y T_{ma} la temperatura media anual. Partiendo de los datos de la AEMET y aplicando la expresión anterior, se obtiene el siguiente resultado: $53,8 \text{ (cm)} > 38,4 \text{ (}^\circ\text{C)}$, por lo que el clima no es tipo B.

Para el régimen térmico, nos basamos en la temperatura media del mes más frío (T_{mf}), la cual se da en enero, siendo de $10,9 \text{ }^\circ\text{C}$. Según la cual, estamos en un clima del grupo C, es decir, **clima húmedo templado y cálido (mesotérmico)**, al cumplirse la expresión ($-3^\circ\text{C} < T_{mf} < 18^\circ\text{C}$).

En cuanto a la distribución de las precipitaciones, consideramos la precipitación media del mes más seco ($P_{\min} = 2 \text{ mm}$), dándose en julio; la precipitación media del mes más húmedo ($P_{\max} = 99 \text{ mm}$), la cual se manifiesta en diciembre; y la existencia de un periodo seco en verano. Al cumplirse las expresiones ($P_{\min} < 30 \text{ mm}$ y $P_{\min} < P_{\max}/3$), nos encontramos en un **clima templado húmedo con verano seco Mediterráneo**, cuya sigla es Cs.

Para el estudio de la variación dentro de los doce tipos climáticos, partimos de la temperatura media del mes más cálido ($T_{mc} = 28,2$), producida en julio. Al cumplirse el condicionante ($T_{mc} > 22^\circ\text{C}$), nos encontramos en un **clima tipo a (verano caluroso)**.

En conclusión y atendiendo a las siglas, la clasificación climática de nuestra zona es, según Köppen, **C, Cs, a**.

2.4 Clasificación climática de Papadakis.

Esta clasificación agroecológica, basada en las distintas respuestas al clima de los diferentes cultivos, considera como principales características del clima en estudio y afectando a la variabilidad de los cultivos: el rigor invernal (tipo de invierno), el calor estival (tipo de verano), y la aridez y su variación estacional (régimen hídrico).

Los datos de partida necesarios son la temperatura media de las máximas (T), la temperatura media de las mínimas (t), la temperatura media de las mínimas absolutas (t') y la precipitación media (Pi). Las siglas de los datos de partida son las propuestas por Papadakis, las cuales son distintas a las de la AEMET. Según esta clasificación, utilizamos como valor de la ETP los de ET₀.

Las variables de partida con sus valores correspondientes se pueden visualizar en la Tabla 68 que se presenta seguidamente.

Tabla 68. Variables y valores agroclimáticos utilizados para la clasificación climática de Papadakis.

	E	F	Mz	Ab	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D
T (°C)	16,0	18,1	21,9	23,4	27,2	32,2	36,0	35,5	31,7	26,0	20,2	16,6
t (°C)	5,7	7,0	9,2	11,1	14,2	18,0	20,3	20,4	18,2	14,4	10,0	7,3
t' (°C)	1,1	1,4	3,8	6,1	8,6	11,2	14,7	14,3	13,4	8,1	5,2	1,2
P (mm/mes)	66	50	36	54	30	10	2	5	27	68	91	99
ETP (mm/día)	1,1	1,7	2,5	3,7	4,5	5,7	6,2	5,5	4,1	2,5	1,5	1,0
ETP (mm/mes)	34,2	47,7	77,5	111,1	139,6	171,1	192,3	170,6	123,1	77,6	45,1	31,1

Nota. Fuente de datos de la AEMET. Elaboración propia.

Para obtener el rigor invernal (tipo de invierno), consultamos la Tabla 68. Observando las variables y sus respectivos valores, se clasifica el tipo de invierno.

- Temperatura media de mínimas absolutas del mes más frío: t' = 1,1 °C (enero) > -2,5 °C.
- Temperatura media de mínimas del mes más frío: t_f = 5,7 °C (enero) < 8 °C.
- Temperatura media de máximas del mes más frío: T_f = 16,0 °C (enero) > 10 °C.

El tipo de invierno es **Citrus citrus**, siendo su respectiva sigla **Ci**. Nos indica que son zonas con invierno suficientemente suave para cítricos, pero no libres de heladas, sin dificultades de vernalización del trigo.

En cuanto al calor estival (tipo de verano), determinado por los límites térmicos y la estación libre de heladas, se obtiene lo siguiente:

- Estación media libre de heladas (EMLH): t' > 0 °C durante todo el año.
- Estación disponible libre de heladas (EDLH): t' > 2 °C desde marzo hasta noviembre.
- Estación mínima libre de heladas (EmLH): t' > 7 °C desde mayo hasta octubre.
- Temperatura media de las máximas (T) del semestre más cálido (desde mayo a octubre): 31,4 °C > 25 °C.

- Temperatura media de las máximas del mes más cálido (julio): $36,0\text{ }^{\circ}\text{C} > 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El tipo de verano es **Gossypium cálido** con su respectiva sigla **G**. Nos informa de un clima con un verano lo suficientemente largo y cálido como para cultivar algodón.

Atendiendo al tipo de invierno y al tipo de verano, el **régimen térmico** es **subtropical cálido**, al cual le corresponde la sigla **SU**.

En relación con la aridez y su variación estacional (régimen hídrico), se realiza un balance hídrico según Papadakis, presentado en la siguiente Tabla 69.

Tabla 69. Variables y valores necesarios para el cálculo del balance hídrico, según Papadakis.

	E	F	Mz	Ab	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	Total
ETP	34,2	47,7	77,5	111,1	139,6	171,1	192,3	170,6	123,1	77,6	45,1	31,1	1.221,0
P	66,0	50,0	36,0	54,0	30,0	10,0	2,0	5,0	27,0	68,0	91,0	99,0	538,0
R*	100,0	100,0	58,5	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,9	100,0	
ETR	34,2	47,7	77,5	111,1	31,3	10,0	2,0	5,0	6,2	68,0	45,1	31,1	
Ih _i	4,9	3,1	1,8	1,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,9	2,0	4,7	
mes	H	H	PH	PH	S	S	S	S	S	I	H	H	
Ln _i	31,8	2,3									45,9	67,9	147,9

Nota. Fuente de datos de la AEMET. Datos en mm/mes. Leyenda. ETP: Evapotranspiración potencial, aunque corresponde a los datos de ET_0 . P: precipitación media mensual. R*: Reserva a final de mes. ETR: evapotranspiración real. Ih_i: índice de humedad mensual. Ln_i: lluvia de humedad mensual. Elaboración propia.

En base a los datos de la Tabla 69, se obtienen los siguientes valores, a partir de los cuales se determina el régimen hídrico de la zona:

- Índice de humedad anual (Ih), siendo su valor el siguiente: $Ih = P_{\text{anual}} / ETP_{\text{anual}} = 538,0 / 1.221,0 = 0,44$
- $Ln / ETP_{\text{anual}} = 147,9 / 1.221,0 = 0,12$
- $Ln < 0,2 * ETP \rightarrow 0,12 < 244,2$
- $0,22 < Ih < 0,88 \rightarrow 0,22 < 0,44 < 0,88$
- En uno o más meses con media de máximas $T > 15^{\circ}\text{C}$ se cumple que $P_i + R_{i-1} > ETP_i$, indicando la “i” el mes en cuestión e “i-1” el mes anterior.

Por lo tanto, el **régimen hídrico** corresponde a **Mediterráneo seco** con su sigla **(Me)**.

En función del régimen térmico (SU) y el régimen hídrico (Me), la **unidad climática** correspondiente es **Mediterráneo**.

A modo de resumen, la clasificación climática de Papadakis es la siguiente:

- Invierno **Citrus citrus (Ci)**. Con inviernos suficientemente suave para el cultivo de cítricos, pero no libre de heladas. Sin dificultades de vernalización para el trigo.

- Verano **Gossypium cálido (G)**. Verano suficientemente largo y cálido para el cultivo del algodón.
- Régimen térmico **Subtropical cálido (SU)**.
- Régimen hídrico **Mediterráneo seco (Me)**.
- Unidad climática **Mediterráneo**.

Habiéndose estudiado los diferentes índices climáticos y clasificaciones climáticas correspondientes, queda adecuadamente clasificado el clima de la zona donde se ha desarrollado el ensayo experimental del cultivo de la patata variedad Spunta.

ANEXO III. Ensayos de la RAEA de patatas de la variedad Spunta.

Las Comarcas donde se han experimentado con esta variedad, son campos de ensayos establecidos en fincas representativas de las zonas agrícolas correspondientes, denominadas fincas colaboradoras de la RAEA. Con estas y las propias de la Administración en los respectivos IFAPA, se pretende dar respuesta al sector agrario regional y las áreas agrícolas de influencia, fomentando la investigación y el desarrollo. Estas Comarcas y Centros IFAPA, se reflejan en la siguiente Tabla 70.

Tabla 70. Comarca, Centro del IFAPA y RAEA en las diferentes campañas, donde los ensayos de patata de la variedad Spunta se han experimentado.

Comarca o IFAPA	RAEA				
	2003	2004	2005	2006	2007
Comarca de Antequera (Málaga)	X	X	X	X	X
Comarca de Cartaya (Huelva)	X				
Comarca de Jerez de la Frontera. El Torno (Cádiz)	X				
Comarca de la Palma del Condado (Huelva)	X		X	X	X
Comarca de Ronda (Málaga)	X	X	X	X	X
Comarca de Sanlúcar de Barrameda (Cádiz)		X		X	
Comarca de Sanlúcar la Mayor (Sevilla)	X	X	X		
Comarca de Villamartín (Cádiz)		X	X	X	X
Comarca de Lebrija. El Cuervo (Sevilla)	X	X	X		
IFAPA Centro Alameda del Obispo (Córdoba)		X	X	X	X
IFAPA Centro Camino de Purchil (Granada)	X	X	X	X	X
IFAPA Centro de Cabra (Córdoba)				X	
IFAPA Centro de Chipiona (Cádiz)	X	X	X		
IFAPA Centro Las Torres-Tomejil. Alcalá del Río (Sevilla)	X	X	X	X	X
IFAPA Centro Los Palacios (Sevilla)			X	X	X
IFAPA Centro Rancho de la Merced. Jerez de la Frontera (Cádiz)	X	X	X	X	X

Nota. Datos obtenidos de la RAEA de Patata. Resultados de los ensayos con variedades de patatas. (IFAPA, 2004, 2008). Elaboración propia.

ANEXO IV. Rendimientos obtenidos para los tubérculos de calibre mayor a 45 mm con los abonados A1 y A2.

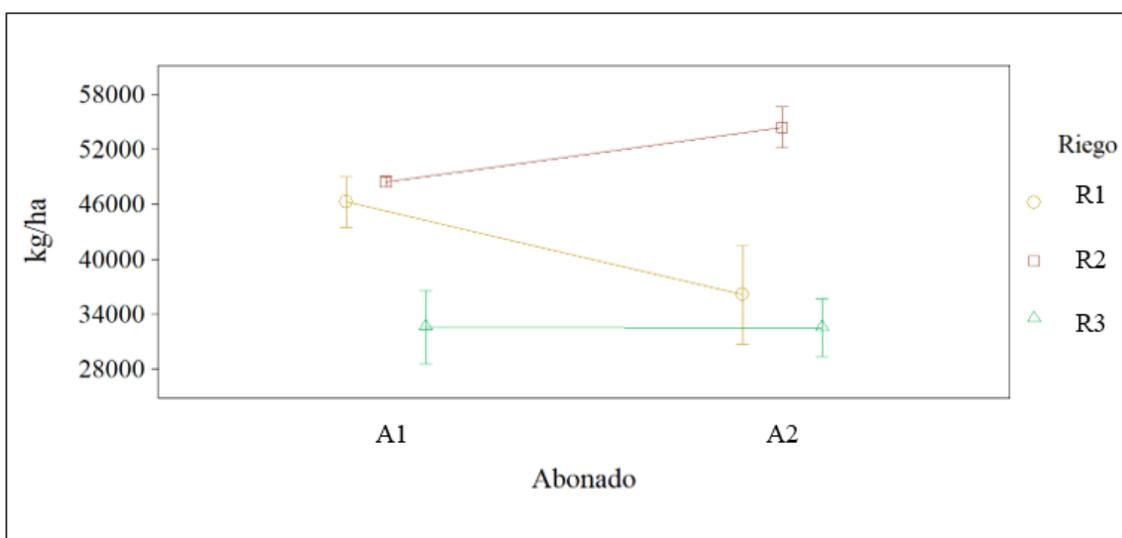


Figura 75. Rendimientos medios (kg/ha) en recolección para los tubérculos de calibre mayor a 45 mm, mediante los tratamientos de riegos (R1, R2, R3) con los abonados (A1, A2), y el error estándar.

Tratamientos de riegos (R1 = 80% dosis potencial; R2 = 100% dosis potencial; R3 = 120% dosis potencial). Tratamiento de abonado 1 (A1 = 189 kg N/ha) y abonado 2 (A2 = 260 kg N/ha). La dosis potencial fue calculada como ETc-P.

Analysis of Variance Table for RtoM45					
Source	DF	SS	MS	F	P
Bloque	2	6.456E+07	3.228E+07		
Riego	2	1.079E+09	5.393E+08	32.27	0.0034
Error Bloque*Riego	4	6.684E+07	1.671E+07		
Abonado	1	8783638	8783638	0.19	0.6756
Riego*Abonado	2	1.983E+08	9.916E+07	2.18	0.1941
Error Bloque*Riego*Abonado	6	2.727E+08	4.546E+07		
Total	17	1.690E+09			
Grand Mean 41706					
CV(Bloque*Riego) 9.80					
CV(Bloque*Riego*Abonado) 16.17					

Figura 76. Resultados estadísticos del ANOVA correspondiente a la Figura 75.

En la siguiente Figura 77, se observa las variables riego (R1, R2, R3) que son las que han producido diferencias significativas de los rendimientos medios de patata en kilogramos por hectárea en recolección para calibre mayor a 45 milímetros. En el riego R2 es donde se obtendría un mayor rendimiento (51.440 kg/ha) y en donde el error estándar sería menor, con un valor crítico de comparación de 8.415,2 kg/ha, según el test de Tukey, como se puede visualizar en la posterior Figura 78.

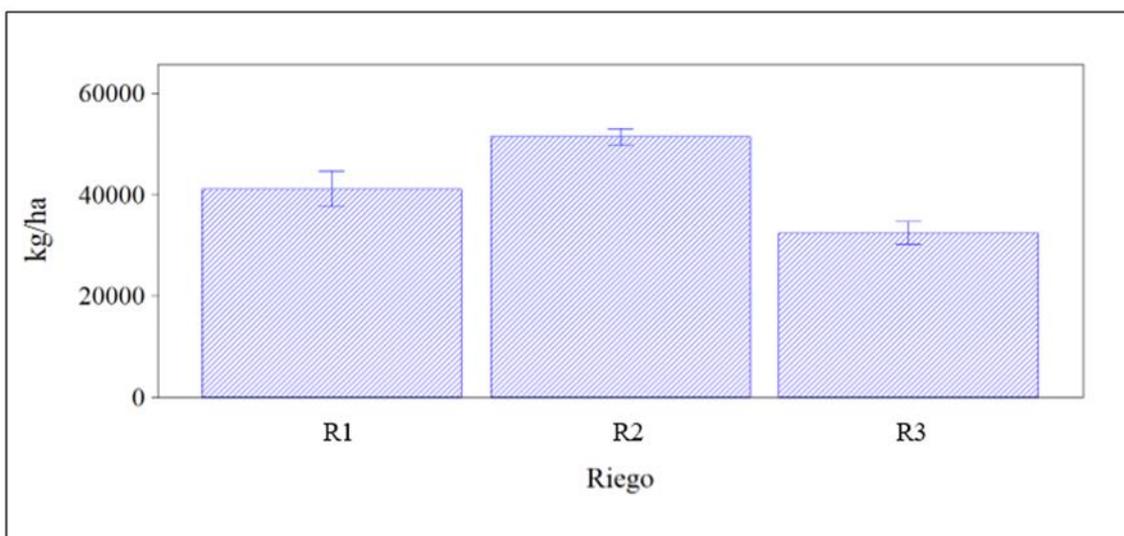


Figura 77. Rendimientos medios (kg/ha) en recolección para los tubérculos de calibre mayor a 45 mm, mediante los tratamientos de riegos (R1, R2, R3) con un abonado intermedio (A1 A2), y el error estándar. Tratamientos de riegos (R1 = 80% DP; R2 = 100% DP; R3 = 120% DP). La dosis potencial (DP) fue calculada como ETC-P.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of RtoM45 for Riego			
Riego	Mean	Homogeneous Groups	
2	51440	A	
1	41175	B	
3	32501	C	
Alpha	0.05	Standard Error for Comparison	2360.1
Critical Q Value	5.043	Critical Value for Comparison	8415.2
Error term used: Bloque*Riego, 4 DF			
All 3 means are significantly different from one another.			

Figura 78. Resultados estadísticos del test de Tukey, en relación con los riegos R1, R2 y R3, correspondiente a la Figura 75.

ANEXO V. Matriz de correlaciones.

Tabla 71. Matriz de correlaciones entre los parámetros estudiados durante el cultivo de la patata.

R ² (A1)	Altura planta (cm)	n° tallos/planta	n° tubérculos/ha	Peso m. tubérc. (g)	Rto. (kg/ha)	Calibre tubérc. (mm)	(%) MS tubérc.	% Prof. tubérc.	MS tubérc. (kg/ha)	MS raíz (kg/ha)	MS tallos (kg/ha)	MS peciolos (kg/ha)	MS hojas (kg/ha)	H (%) raíz 8 h	H (%) raíz 12 h	H (%) tallos 8 h	H (%) tallos 12 h	H (%) peciolos 8 h	H (%) peciolos 12 h	H (%) hojas 8 h	H (%) hojas 12 h	Hojas (°C) 8 h	Hojas (°C) 12 h	Cubierta (°C) 8 h	Cubierta (°C) 12 h	Ψx (bar) 8 h	Ψx (bar) 12 h	
Altura planta (cm)	1																											
n° tallos/planta		1																										
n° tubérculos/ha			1																									
Peso m. tubérc. (g)				1																								
Rto. (kg/ha)					1																							
Calibre tubérc. (mm)						1																						
(%) MS tubérc.							1																					
% Prof. tubérc.								1																				
MS tubérc. (kg/ha)									1																			
MS raíz (kg/ha)										1																		
MS tallos (kg/ha)											1																	
MS peciolos (kg/ha)												1																
MS hojas (kg/ha)													1															
H (%) raíz 8 h														1														
H (%) raíz 12 h															1													
H (%) tallos 8 h																1												
H (%) tallos 12 h																	1											
H (%) peciolos 8 h																		1										
H (%) peciolos 12 h																			1									
H (%) hojas 8 h																				1								
H (%) hojas 12 h																					1							
Hojas (°C) 8 h																						0,8						
Hojas (°C) 12 h																							0,7					
Cubierta (°C) 8 h																							0,8					
Cubierta (°C) 12 h																								0,7				
Ψx (bar) 8 h																											1	
Ψx (bar) 12 h																												1

ANEXO VI. Sensibilidad térmica en las hojas y en los folíolos.

Tabla 72. Resultados estadísticos de las diferencias significativas a la sensibilidad térmica en las hojas y en los folíolos estudiados en la planta de patata, en los tratamientos de riego con el abonado 1 (A1).

Días Después de la Plantación		DDP 91				DDP 98				DDP 105				DDP 112				DDP 119									
Riegos (A1)		R0	R1	R2	R3	R4	R0	R1	R2	R3	R4	R0	R1	R2	R3	R4	R0	R1	R2	R3	R4	R0	R1	R2	R3	R4	
Parámetros	Hora																										
HB	8																										
HB	12																										
HM	8																										
HM	12	a		b			a		b																		
HS	8																										
HS	12																										
HB1	8																										
HB1	12																										
HB2	8																										
HB2	12																										
HB3	8																										
HB3	12																										
HM1	8																										
HM1	12																										
HM2	8																										
HM2	12	a		b								a		b													
HM3	8																										
HM3	12	a	a	b																			a	b			
HS1	8																										
HS1	12																										
HS2	8																										
HS2	12																										
HS3	8																										
HS3	12																										

Nota. Leyendas: HB (hoja base). HM (hoja media). HS (hoja superior). HB1 (hoja base folíolo 1). HB2 (hoja base folíolo 2). HB3 (hoja base folíolo 3). HM1 (hoja media folíolo 1). HM2 (hoja media folíolo 2). HM3 (hoja media folíolo 3). HS1 (hoja superior folíolo 1). HS2 (hoja superior folíolo 2). HS3 (hoja superior folíolo 3). Medidas realizadas con el termómetro infrarrojo ("láser").

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nutrientes de la patata	9
Figura 2. Evolución de la superficie cosechada y la producción de patatas en el Mundo.....	11
Figura 3. Proporción de la producción de patatas en el Mundo.	11
Figura 4. Evolución de la superficie cosechada y la producción de patatas en España.....	12
Figura 5. Evolución de la superficie y la producción de patatas en Andalucía.....	13
Figura 6. Evolución del rendimiento de patatas en Andalucía.....	13
Figura 7. Distribución de la superficie cultivada para las diferentes categorías de patata en las provincias de Andalucía en el año 2014.....	14
Figura 8. Distribución de la producción en toneladas para las diferentes categorías de patata en las provincias de Andalucía en el año 2014.....	15
Figura 9. Hoja de la planta de patata.....	20
Figura 10. Estructura de la flor de la patata.	21
Figura 11. Diagrama de la progresión estacional en la distribución de materia seca de la parte superior (tallos y hojas), de los tubérculos, y del total (tallos, hojas y tubérculos), y el índice de área foliar (LAI) de la patata, con las etapas de crecimiento indicado.....	23
Figura 12. Curva de absorción de nitrógeno por la patata.	26
Figura 13. Rango de medición infrarroja de la tecnología termográfica en el espectro electromagnético.....	35
Figura 14. Espectro NIR en el rango de la luz en función de la longitud de onda.	39
Figura 15. Mapa de localización del municipio de Alcalá del Río (Sevilla).....	47
Figura 16. Mapa de localización de la parcela del ensayo en el Término Municipal de Alcalá del Río (Sevilla).	48
Figura 17. Mapa de situación del ensayo experimental en la finca del IFAPA Centro Las Torres-Tomejil.....	48
Figura 18. Diagrama Ombrotérmico o climograma de Gaussen.	51
Figura 19. Propiedades físicas y químicas del suelo de la parcela de ensayo.	58

Figura 20. Croquis del diseño experimental de los diferentes tratamientos de riegos y abonados.	73
Figura 21. Imagen térmica de la hoja de la patata.	82
Figura 22. Selección en la imagen térmica, de un foliolo de la hoja de patata.	82
Figura 23. Histograma obtenido de la imagen térmica.	83
Figura 24. Selección en la imagen térmica, de la zona de la cubierta deseada de la planta de patata.	84
Figura 25. Histograma obtenido de la imagen térmica de la cubierta de la planta de patata.	84
Figura 26. Detalle de la medición NIRS en los foliolos de la hoja de patata.	86
Figura 27. Diagrama del proceso del análisis con NIRS.	87
Figura 28. Temperaturas registradas diariamente durante el ciclo del cultivo de la patata.	90
Figura 29. Humedad relativa registrada diariamente durante el ciclo del cultivo de la patata.	91
Figura 30. Pluviometría y evapotranspiración de referencia (ET_0) registradas diariamente durante el ciclo del cultivo de la patata.	92
Figura 31. Rendimientos medios (kg/ha) en recolección para los tubérculos de calibre mayor a 30 mm, mediante los tratamientos de riegos (R1, R2, R3) con los abonados (A1, A2), y el error estándar.	93
Figura 32. Resultados estadísticos del ANOVA correspondiente a la Figura 31.	93
Figura 33. Rendimientos medios (kg/ha) en recolección para los tubérculos de calibre mayor a 30 mm, mediante los tratamientos de riegos (R1, R2, R3) con un abonado intermedio (A1 A2), y el error estándar.	94
Figura 34. Resultados estadísticos del test de Tukey, en relación con los riegos R1, R2 y R3, correspondiente a la Figura 31.	95
Figura 35. Curva predictiva del rendimiento en recolección en función del riego y abonado.	96
Figura 36. Dinámica del contenido volumétrico del agua en el suelo (m^3/m^3).	99
Figura 37. Evolución de la altura de la planta de patata en centímetros.	100
Figura 38. Evolución del número de tallos por planta de patata.	101

Figura 39. Evolución del IAF (Índice de Área Foliar) de la planta de patata.	102
Figura 40. Evolución del número de tubérculos de patata por hectárea.	103
Figura 41. Evolución del peso medio del tubérculo de patata en gramos.	104
Figura 42. Evolución del rendimiento de patata en kilogramos por hectárea.	105
Figura 43. Evolución del calibre promedio del tubérculo de patata en milímetros.	107
Figura 44. Evolución porcentual de la materia seca de los tubérculos de patata.	108
Figura 45. Evolución porcentual del contenido en proteínas en los tubérculos de patata.	109
Figura 46. Evolución del contenido en materia seca de los tubérculos de patata en kilogramos por hectárea.	110
Figura 47. Evolución del contenido en materia seca de la raíz de la planta de patata en kilogramos por hectárea.	111
Figura 48. Evolución del contenido en materia seca de los tallos de la planta de patata en kilogramos por hectárea.	112
Figura 49. Evolución del contenido en materia seca de los peciolos de la planta de patata en kilogramos por hectárea.	113
Figura 50. Evolución del contenido en materia seca de las hojas de la planta de patata en kilogramos por hectárea.	115
Figura 51. Evolución de la materia seca total de la planta de patata en kilogramos por hectárea.	116
Figura 52. Evolución de la distribución de la materia seca entre los distintos órganos de la planta de patata.	117
Figura 53. Evolución del porcentaje de humedad de la raíz de la planta de patata, muestreado a las 8 horas de la mañana.	118
Figura 54. Evolución del porcentaje de humedad de la raíz de la planta de patata, muestreado a las 12 horas de la mañana.	119
Figura 55. Evolución del porcentaje de humedad de los tallos de la planta de patata, muestreado a las 8 horas de la mañana.	120
Figura 56. Evolución del porcentaje de humedad de los tallos de la planta de patata, muestreado a las 12 horas de la mañana.	121
Figura 57. Evolución del porcentaje de humedad de los peciolos de la planta de patata, muestreado a las 8 horas de la mañana.	122

Figura 58. Evolución del porcentaje de humedad de los peciolo de la planta de patata, muestreado a las 12 horas de la mañana.	123
Figura 59. Evolución del porcentaje de humedad de las hojas de la planta de patata, muestreado a las 8 horas de la mañana.	125
Figura 60. Evolución del porcentaje de humedad de las hojas de la planta de patata, muestreado a las 12 horas de la mañana.	126
Figura 61. Evolución de los valores del porcentaje humedad de los distintos órganos de la planta de patata, medidas a las 8 horas de la mañana.	127
Figura 62. Evolución de los valores del porcentaje humedad de los distintos órganos de la planta de patata, medidas a las 12 horas de la mañana.	127
Figura 63. Evolución de la temperatura mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) en las hojas de la planta de patata, registrada a las 8 horas de la mañana.	128
Figura 64. Evolución de la temperatura mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) en las hojas de la planta de patata, registrada a las 12 horas de la mañana.	129
Figura 65. Evolución de la temperatura mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) en la cubierta de la planta de patata, registrada a las 8 horas de la mañana.	130
Figura 66. Evolución de la temperatura mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) en la cubierta de la planta de patata, registrada a las 12 horas de la mañana.	132
Figura 67. Temperatura en las hojas de la planta de patata a las 8 horas y 12 horas de la mañana, con la cámara termográfica.	133
Figura 68. Temperatura en la cubierta de la planta de patata a las 8 horas y 12 horas de la mañana, con la cámara termográfica.	134
Figura 69. Dispersión de la temperatura en las hojas mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) y la cámara termográfica (termografía), registradas a las 8 horas y 12 horas de la mañana.	136
Figura 70. Dispersión de la temperatura en la cubierta mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) y la cámara termográfica (termografía), registradas a las 8 horas y 12 horas de la mañana.	137
Figura 71. Dispersión de la temperatura en las hojas y en la cubierta, mediante el termómetro infrarrojo (“láser”).	138

Figura 72. Evolución del potencial hídrico xilemático en las hojas de la planta de patata, medido a las 8 horas de la mañana.	141
Figura 73. Evolución del potencial hídrico xilemático en las hojas de la planta de patata, medido a las 12 horas de la mañana.	142
Figura 74. Crecimiento y desarrollo de la planta de patata.....	179
Figura 75. Rendimientos medios (kg/ha) en recolección para los tubérculos de calibre mayor a 45 mm, mediante los tratamientos de riegos (R1, R2, R3) con los abonados (A1, A2), y el error estándar.	193
Figura 76. Resultados estadísticos del ANOVA correspondiente a la Figura 75.....	193
Figura 77. Rendimientos medios (kg/ha) en recolección para los tubérculos de calibre mayor a 45 mm, mediante los tratamientos de riegos (R1, R2, R3) con un abonado intermedio (A1 A2), y el error estándar.....	194
Figura 78. Resultados estadísticos del test de Tukey, en relación con los riegos R1, R2 y R3, correspondiente a la Figura 75.	194

INDICE DE FOTOS

Foto 1. Patata de la variedad Spunta en el momento de la recolección.	67
Foto 2. Planta de patata de la variedad Spunta en el laboratorio.	68
Foto 3. Portalaterales y llaves de riego (manuales).	72
Foto 4. Patatas desenterradas en recolección, de los tres lineos de la mitad de una parcela elemental.	76
Foto 5. Sacos clasificados de patata en la recolección.	77
Foto 6. Cámara termográfica testo.	81
Foto 7. Termómetro infrarrojo Raytek.	81
Foto 8. Instrumento de medida NIRS portátil.	85
Foto 9. Detalle del lector NIR portátil.	85
Foto 10. Detalle de la medida en el foliolo de la hoja de patata con el lector NIRS portátil.	86
Foto 11. Cámara de Scholander en la parcela de ensayo de patatas, en el IFAPA Las Torres-Tomejil.	88

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de <i>Solanum tuberosum</i> L.....	17
Tabla 2. Extracciones en kilogramos de los elementos por cada tonelada de patata cosechada, según varios autores.....	24
Tabla 3. Datos referenciales de la situación de la parcela experimental del ensayo de patata.....	49
Tabla 4. Datos referenciales de la Estación Meteorológica del IFAPA Centro Las Torres-Tomejil.....	49
Tabla 5. Resultados del análisis granulométrico en la fracción del suelo inferior a 2 mm.	53
Tabla 6. Resultados del análisis fisicoquímico del suelo del ensayo de patatas, y su valor promedio.	54
Tabla 7. Valores calculados de la densidad aparente (d_a) por cada bloque y a distintas profundidades, valor medio por cada bloque y valor promedio de los tres bloques (Bloque I, Bloque II y Bloque III).....	57
Tabla 8. Propiedades físicas de los suelos (Israelsen & Hansen, 1962; FAO, 1979).....	58
Tabla 9. Resultados e interpretación de las propiedades del suelo analizado.	59
Tabla 10. Análisis químico del agua de riego.	60
Tabla 11. Concentración de calcio corregida (Ca^0) en el agua del suelo.....	62
Tabla 12. Directrices para interpretar la calidad de las aguas para el riego.	63
Tabla 13. Interpretación del tipo de agua (dureza).....	64
Tabla 14. Interpretación del Índice de saturación de Langelier (Is).	64
Tabla 15. Procedimiento para calcular el pHc del agua de riego.	65
Tabla 16. Resumen de la evaluación e interpretación de la calidad del agua de riego, según las directrices de la FAO (1987).....	66
Tabla 17. Características de la planta de patata y del tubérculo variedad Spunta.	69
Tabla 18. Tipo de abonado de fondo o sementera y cuantía aportado, para el abonado 1 (A1).....	70
Tabla 19. Tipo de abonado de fondo o sementera y cuantía aportado, para el abonado 2 (A2).....	70

Tabla 20. Tratamientos fitosanitarios realizados en el cultivo de la patata variedad Spunta.	71
Tabla 21. Material de riego utilizado durante el cultivo de la patata.....	72
Tabla 22. Fertilizantes aplicados mediante fertirriego durante el cultivo de la patata.....	73
Tabla 23. Tratamientos de riego aplicados.....	74
Tabla 24. Tratamientos de abonado aplicados durante en el ensayo en kg/ha.	75
Tabla 25. Datos y distribución del abonado 1 (A1).....	75
Tabla 26. Datos y distribución del abonado 2 (A2).....	76
Tabla 27. Variables y valores agroclimáticos registrados durante los meses del ensayo de la patata.....	89
Tabla 28. Riego total aportado (en milímetros y en metros cúbicos por hectárea) en el ciclo de cultivo de la patata variedad Spunta, y su correspondiente rendimiento medio obtenido en kilogramos por hectárea.	97
Tabla 29. Resultados estadísticos del rendimiento en recolección en kilogramos por hectárea.	97
Tabla 30. Resultados estadísticos de la evolución de la altura de la planta de patata en centímetros.	100
Tabla 31. Resultados estadísticos de la evolución del número de tallos por planta de patata.....	101
Tabla 32. Resultados estadísticos de la evolución del número de tubérculos de patata por hectárea.....	103
Tabla 33. Resultados estadísticos del peso medio del tubérculo en gramos.	104
Tabla 34. Resultados estadísticos de la evolución del rendimiento de patatas en kilogramos por hectárea.....	105
Tabla 35. Resultados estadísticos del calibre promedio de los tubérculos de patata en milímetros.....	107
Tabla 36. Resultados estadísticos de la evolución porcentual de la materia seca de los tubérculos de patata.	108
Tabla 37. Resultados estadísticos de la evolución porcentual del contenido en proteínas en los tubérculos de patata.	109

Tabla 38. Resultados estadísticos de la evolución del contenido en materia seca de los tubérculos de patata en kilogramos por hectárea.	111
Tabla 39. Resultados estadísticos de la evolución del contenido en materia seca de la raíz de la planta de patata en kilogramos por hectárea.	112
Tabla 40. Resultados estadísticos de la evolución del contenido en materia seca de los tallos de la planta de patata en kilogramos por hectárea.	113
Tabla 41. Resultados estadísticos de la evolución del contenido en materia seca de los peciolos de la planta de patata en kilogramos por hectárea.	114
Tabla 42. Resultados estadísticos de la evolución del contenido en materia seca de las hojas de la planta de patata en kilogramos por hectárea.	115
Tabla 43. Resultados estadísticos de la evolución de la materia seca total de la planta de patata en kilogramos por hectárea.	116
Tabla 44. Resultados estadísticos de la evolución del porcentaje de humedad de la raíz de la planta de patata, a las 8 horas de la mañana.	118
Tabla 45. Resultados estadísticos de la evolución del porcentaje de humedad de la raíz de la planta de patata, a las 12 horas de la mañana.	119
Tabla 46. Resultados estadísticos de la evolución del porcentaje de humedad de los tallos de la planta de patata, a las 8 horas de la mañana.	120
Tabla 47. Resultados estadísticos de la evolución del porcentaje de humedad de los tallos de la planta de patata, a las 12 horas de la mañana.	121
Tabla 48. Resultados estadísticos de la evolución del porcentaje de humedad de los peciolos de la planta de patata, a las 8 horas de la mañana.	123
Tabla 49. Resultados estadísticos de la evolución del porcentaje de humedad de los peciolos de la planta de patata, a las 12 horas de la mañana.	124
Tabla 50. Resultados estadísticos de la evolución del porcentaje de humedad de las hojas de la planta de patata, a las 8 horas de la mañana.	125
Tabla 51. Resultados estadísticos de la evolución del porcentaje de humedad de las hojas de la planta de patata, a las 12 horas de la mañana.	126
Tabla 52. Resultados estadísticos de la evolución de la temperatura mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) en las hojas de la planta de patata en grados centígrados, a las 8 horas de la mañana.	129
Tabla 53. Resultados estadísticos de la evolución de la temperatura mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) en las hojas de la planta de patata en grados centígrados, a las 12 horas de la mañana.	130

Tabla 54. Resultados estadísticos de la evolución de la temperatura mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) en la cubierta de la planta de patata en grados centígrados, a las 8 horas de la mañana.	131
Tabla 55. Resultados estadísticos de la evolución de la temperatura mediante el termómetro infrarrojo (“láser”) en la cubierta de la planta de patata en grados centígrados, a las 12 horas de la mañana.	132
Tabla 56. Resultados estadísticos de la temperatura en grados centígrados medida en la planta de patata para cada DDP, tecnología y muestreado señalado, a las 8 horas de la mañana.....	135
Tabla 57. Resultados estadísticos de la temperatura en grados centígrados medida en la planta de patata para cada DDP, tecnología y muestreado señalado, a las 12 horas de la mañana.....	135
Tabla 58. Resultados correlacionales obtenidos con la medición NIRS, para los parámetros señalados.	139
Tabla 59. Resultados estadísticos de la evolución del potencial hídrico xilemático en las hojas de la planta de patata, a las 8 horas de la mañana.	141
Tabla 60. Resultados estadísticos de la evolución del potencial hídrico xilemático en las hojas de la planta de patata, a las 12 horas de la mañana.	142
Tabla 61. Resumen de las diferencias significativas de los parámetros medidos durante la evolución del cultivo de la patata para los diferentes tratamientos de riego con el abonado A1.....	144
Tabla 62. Valores normales estadísticos básicos climatológicos, del periodo 1981-2010.	181
Tabla 63. Datos referenciales de la Estación Meteorológica del AEMET del Aeropuerto de Sevilla.	182
Tabla 64. Parámetros meteorológicos, con sus respectivos valores, utilizados para el cálculo de la evapotranspiración potencia (ETP).....	184
Tabla 65. Balance de humedad, para la clasificación climática de Thornthwaite.	185
Tabla 66. Meses secos y su correspondiente periodo seco, de nuestra zona de estudio, para la clasificación bioclimática de UNESCO-FAO (Gausson).	186
Tabla 67. Índice xerotérmico mensual e índice xerotérmico del periodo seco, utilizados para la clasificación bioclimática de UNESCO-FAO (Gausson), de la zona de estudio.	187

Tabla 68. Variables y valores agroclimáticos utilizados para la clasificación climática de Papadakis.....	188
Tabla 69. Variables y valores necesarios para el cálculo del balance hídrico, según Papadakis.	189
Tabla 70. Comarca, Centro del IFAPA y RAEA en las diferentes campañas, donde los ensayos de patata de la variedad Spunta se han experimentado.	191
Tabla 71. Matriz de correlaciones entre los parámetros estudiados durante el cultivo de la patata.	195
Tabla 72. Resultados estadísticos de las diferencias significativas a la sensibilidad térmica en las hojas y en los folíolos estudiados en la planta de patata, en los tratamientos de riego con el abonado 1 (A1).	197